



Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie

Vol. 44 No. 1 2025

ISSN: 0254-3486



**Genetiese argitektuur van skisofrenie:
Wat weet en sê ons nou?**
Johannes L. Roos

**Homogene katalitiese CO₂-opraping deur
epoksiede: kineties-meganistiese studie van
gepaardgaande siklokarbonaatvorming**
Shaun Redgard, Johan A Venter, Andreas Roodt

**Globale Biodiversiteitsraamwerk vir vars-
watervleilande van Suid-Afrika: Voorlopige
berekening van die vordering om Doelwit 2 te
bereik**
*Heidi van Deventer, François Durand,
Piet-Louis Grundling*

Suid-Afrikaanse Tydskrif vir
Natuurwetenskap en Tegnologie



Medpharm Publikasies

Grondvloer, Centurion Wyn en Kuns Sentrum, Lyttelton, Amkorweg 123, Centurion
0157, Suid-Afrika
Tel: +27 12 664 7460
Epos: info@medpharm.co.za
Webtuiste: <https://www.medpharm.co.za>

Joernaaltitel: Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie
Webtuiste: Algemene inligting: <https://www.akademie.co.za/projekte/vaktydskrifte>
Publikasie: <https://www.akademie.co.za/projekte/vaktydskrifte>
Algemene navrae: info@medpharm.co.za

ISSN: 0254-3486 (print)
ISSN: 2222-4173 (online)

Produksiespan

Ina du Toit
Robyn Marais

Drukkers

Uitleg, druk- en bindwerk deur V&R Drukkery (Edms) Bpk
Navrae: elzabe@vrprinting.co.za

Disclaimer

The title owner and publisher accepts no responsibility for any statement made or opinion expressed in this publication. Consequently, the publishers and copyright holder will not be liable for any loss or damage sustained by any reader as a result of his or her action upon any statement or opinion in this work. Links by third party websites are provided by Medpharm Publications in good faith and for information only. Medpharm Publications disclaims any responsibility for the materials contained in any third party website referenced in this work.

Copyright

Copyright on published articles is retained by the author(s). Licensee: Medpharm Publications (Pty) Ltd. This work is licensed under the Creative Commons Attribution License. Every effort has been made to protect the interest of copyright holders. Should any infringement have occurred inadvertently, the publisher apologises and undertakes to amend the omission in the event of a reprint.

Hoofredakteur

Hannes Rautenbach
Academia, Suid-Afrika

Nasionale Redaksie Raad

Nic Beukes
Universiteit van Johannesburg
Suid-Afrika

Paul Brink
Stellenbosch Universiteit
Suid-Afrika

Leslie Brown
Universiteit van Suid-Afrika
Suid-Afrika

Cassie Carstens
NECSA
Suid-Afrika

Eugene Cloete
Stellenbosch Universiteit
Suid-Afrika

Francois du Randt
Universiteit van Johannesburg
Suid-Afrika

Ian Dubery
Universiteit van Johannesburg
Suid-Afrika

Japie Engelbrecht
Nelson Mandela Universiteit
Suid-Afrika

Stephan Heyns
Universiteit van Pretoria
Suid-Afrika

Ewert Kleynhans
Noordwes-Universiteit
Suid-Afrika

Lise Korsten
Universiteit van Pretoria
Suid-Afrika

Annemarie Oldewage
Universiteit van Johannesburg
Suid-Afrika

Rudi Pretorius
Universiteit van Suid-Afrika
Suid-Afrika

Caroos Reinecke
Noordwes-Universiteit
Suid-Afrika

Frederick Roelofse
Universiteit van die Vrystaat
Suid-Afrika

Reinette Snyman
Cape Peninsula University of
Technology
Suid-Afrika

Antoinette Swart
Agricultural Research Council
Suid-Afrika

Kobus van der Walt
Noordwes-Universiteit
Suid-Afrika

Wouter van Hoven
Universiteit van Pretoria
Suid-Afrika

Inhoudsopgawe

Oorspronklike Navorsing

- Genetiese argitektuur van skisofrenie: Wat weet en sê ons nou?
JL Roos, C Kotzé
- Die gebruik van slimbrille in die gesondheidsorgmetaversum: 'n Sistematiese oorsig
L Malungana, B Chimbo
- Infrarooi analise van Al_xGa_{1-x}As-epilagies
JAA Engelbrecht, ME Lee, JR Botha, WE Goosen, EG Minnaar, V Wagener
- Geïntegreerde raamwerk vir gesondheidsorgpraktisyns se werklike kennisdelingsgedrag
L Malungana, L Motsi
- Homogene katalitiese CO₂-vasvanging deur epoksiede: kineties-meganitiese studie van gepaardgaande siklokarbonaatvorming
S Redgard, JA Venter, A Roodt
- Globale biodiversiteitsraamwerk vir varswatervleilande van Suid-Afrika: Voorlopige berekening van die vordering om die restourasiemikpunt van Doelwit 2 te bereik
H van Deventer, F Durand, PL Grundling
- Statistiese kartering van faktorverwantskappe vir leerdervordering in SA openbare hoërskole
E Becker, L Venter
- 3D-modellering as fasiliteerder by die konteksuitbeelding van topografiese integrasie van petrogliewe
A Lamprecht, L Boardman, T de Klerk, C Yates
- Die probleem van nikotien- en alkoholgebruik tydens swangerskap: Opsomming van die bevindings van die Veiligegeboortestudie
HJ Odendaal
- Faktore wat die prestasie van die Johannesburgse aandeelbeurs beïnvloed het, 2010-2022
Ivan van der Merwe, Nico Keyser
- Die ontdekking van 'n nuwe lid van die Akidnognathidae, die karnivore wat die bestaan van Pangea bevestig
J Lloyd, F Durand
- Geraamde voorkoms en koste van verkeersongelukke vir gebruik in die aanvanklike beplanning van buitestedelike paaie in Suid-Afrika
WJ Pienaar
- Bou van digitale brûe: Ondersoek na die impak van vennootskappe met verskeie belanghebbers op die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur
O Selebi, K Mashele

Referaat opsommings

- Humanisering van eerstejaar chemie praktiese sessies: Die pad na inklusiwiteit
L (Lu-Nita) Berrange, C Mundy
- Die groeipotensiaal van *Hibiscus cannabinus* op steenkooloorskot in Suid-Afrika
CWEC (Bianca) Boshoff, JM Berner

Linda van Ryneveld
Universiteit van Pretoria
Suid-Afrika

Alex Visser
Universiteit van Pretoria
Suid-Afrika

Internasionale Redaksie Raad

Herman Potgieter
Manchester Metropolitan
University
United Kingdom

Ronette Gehring
Utrecht Universiteit
Nederland

Ex Officio

Anne-Marie Beukes
SA Akademie van Wetenskap en
Kuns
Suid-Afrika

- 150 Eerste aanmelding van *Puccinia striiformis f. sp. tritici* ras 142E30A+ op koring in Suid-Afrika
A (Amy) Coetzer, A Maré, WHP Boshoff
- 151 Numeriese simulاسie van bloedvloei deur slagare met stenoses
J (Jana) de Jongh, GJF Smit, M Cloete
- 152 'n Ondersoek na die gebruik van biokool as 'n grondbehandelingsmiddel om plantegroei te bevorder
A (Ami) Janse van Rensburg, Y Isa, H Potgieter
- 153 Herkouerrebelle: Uitdaging van die lineêre verhouding tussen morfofisiologiese eienskappe en dieetnissie
C (Chanel) Lewis, D Codron
- 154 Verbetering van koste-effektiewe $\text{SrB}_5\text{O}_{10}:\text{Sm}^{2+}$ -fosformateriale vir die gebruik in sonsspektrumomskakeling en lumiserende sonkonsentreerders
GJ (Juane) Odendaal, LJB Erasmus, RE Kroon, HC Swart
- 155 Outomatiese assessering van eerstejaar HTML- en CSS- werkopdragte
J (Jocelyne) Smith, E Kotzé, L Nel
- 156 Geoutomatiseerde bespeuring van valle voor impak
M (Mia) Swanepoel, J Coetzer
- 157 Uiterste resultate vir twee grafiekindexe
E (Elize) Swartz, T Vetrik, ECM Maritz
- 158 Ondersoek na die potensiaal van ouderdomsverwante weerstand van beeste teen bosluise vir bosluisbeheer
E (Elizna) Terblans-Molony, EMS van Dalen, L Kruger, L van der Mescht
- 159 Effektiviteit verifikasie van nie-liniêre Bewys-van-Werk blokskakel konsensus-algoritmes
JDP (Johandré) Bothma, W Nel, RC Fouché
- 160 Ontwikkeling van 'n intelligente dinamiese ontlaaibeheermeganisme om batterywanbalans te verbeter
A (Ashleigh) Townsend, R Gouws
- 161 Formulering van kosmeseutiese produkte met die gebruik van aminosuurgebasseerde surfaktante vir verbeterde produkwerking
C (Carli) van der Merwe, A Wessels, EH Wiese, FJ Smit
- 162 Hulpbronsbenuttingspatrone van groot soogdierherbivore in klein reservate
R (Runè) van der Merwe, D Codron, H Oloff
- 163 Om 'n beeld van die resonante effek rondom Sgr A* te skep
C (Corlé) van der Walt, J Brink
- 164 Wiskundige modellering van die drukval in 'n biofilter
RJ (Rocco) van Velden, S Fidder
- 165 Grootte-afhanklikheid studie van water geadsorbeerde ysteroksied nanodeeltjies en hul toksisiteit: 'n Modellerings- en eksperimentele studie
D (Danell) van Wyk, S Cronjé, M Gulumian, V Wepener, RA Harris
- 166 Ringkaperjolle
JG (Gerhard) Venter, JM Maritz
- 167 Ontwikkeling van 'n nuwe kwantum chemiemodel vir die programmatiese analise van elektroniese struktuur
O (Otto-Louis) Venter, JH de Lange
- 168 Die toksisiteit van kubusvormige anatase titaandioksied nanodeeltjies gebaseer op die pH van oplossings: 'n Gekombineerde studie met rekenaarmodellering, simulاسie en eksperimentele werk
SG (Shanaaz) Witbooi, S Cronjé, M Gulumian, V Wepener, RA Harris

169 **Inligting vir Outeurs en Lesers**

170 **Erkenning aan Evalueerders**

Genetiese argitektuur van skisofrenie: Wat weet en sê ons nou?

JL Roos, C Kotzé

Departement Psigiatrie, Fakulteit Gesondheidswetenskap, Universiteit van Pretoria, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Carla Kotzé **E-pos:** erna.fourie@up.ac.za; carla.kotze@up.ac.za

Tien jaar gelede is bevindinge oor die genetiese argitektuur van skisofrenie en die bydrae van studies onder Afrikaners gerapporteer. In hierdie oorsigsartikel word gekyk na wat ons nou weet en watter inligting ons aan pasiënte en familie kan oordra. Genetiese oorvleueling by psigiatriese steurnisse word uitgelig. Daar word beklemtoon dat die kliniese gebruik van poligeniese risikotellings (PRT) vir skisofrenie tentatief is. Daar word ook verwys na die nut van die uitsonderlike gebruik van PRT in kombinasie met kopiegetalvariante-toetsing (KGV-toetsing) word genoem. Tydens genetiese raadgewing vir skisofrenie word pasiëntgesentreerde psigoterapeutiese benadering gevolg. In hierdie proses word die pasiënt bemagtig om leefstylveranderinge aan te bring wat onder andere omgewingsrisikofaktore die hoof sal bied. Skisofrenie is poligeniese steurnis, waar die kumulatiewe effek van verskeie gene wat onafhanklik reageer tot die uiteindelijke effek lei. Daar is tans geen genetiese toets beskikbaar om diagnose van skisofrenie te bevestig nie. Die individuele voorspelling van risiko om skisofrenie te ontwikkel bly uitdaging. Algemene en seldsame DNA-variante betrokke by skisofrenie word gebruik om die komplekse aard van die siektepatogenese te verduidelik. Epigenetika in genetiese raadgewing word beklemtoon. Hopelik sal hierdie inligting die onrealistiese verwagtinge, stigma en diskriminasie teenwerk wat met onvoldoende begrip van genetiese bevindinge in skisofrenie verband hou.

Sleutelwoorde: genetiese argitektuur, skisofrenie

Genetic architecture of schizophrenia: What do we know and say now?: Ten years ago findings on the genetic architecture of schizophrenia and the contribution of findings in Afrikaners were reported. In this review article the latest findings on this topic are discussed, as well as the information that we can now communicate to patients and family members. Genetic overlap among psychiatric illnesses is highlighted. It is emphasised that polygenic risk scores (PRS) for schizophrenia is tentative in clinical practice. The rare use of PRS in combination with copy number variant (CNV) testing is also referred to. During genetic counselling for schizophrenia a patient-centred psychotherapeutic approach is followed. In this process the patient is empowered to make lifestyle changes that will address environmental risk factors, inter alia. Schizophrenia is a polygenic disorder, where the cumulative effect of several genes reacting independently will lead to the end result. At present there is no genetic test available to confirm a diagnosis of schizophrenia. The individual prediction of risk to develop schizophrenia remains a challenge. Common and rare DNA variants involved in schizophrenia are used to explain the complex nature of the pathogenesis of illness. Epigenetics in genetic counselling is emphasised. Hopefully this information will help to combat unrealistic expectations, stigma and discrimination related to misunderstanding of the genetic findings in schizophrenia.

Keywords: genetic architecture, schizophrenia

Inleiding

Die genetiese argitektuur van skisofrenie en die bydrae van studies onder Afrikaners is tien jaar gelede gerapporteer (Roos, 2014). In hierdie oorsigsartikel word gekyk na wat ons nou weet, en ook wat ons vir pasiënte en hul families sê.

Alvorens psigiatriese genetiese raadgewing by skisofrenie bespreek word, word twee aspekte van belang eers uitgelig, naamlik genetiese oorvleueling by psigiatriese versteurings en poligeniese risikotelling.

Genetiese oorvleueling by psigiatriese steurnisse

Verskillende psigiatriese siektes kan ooreenstemmende risikofaktore hê wat tot die ontwikkeling van siekte toestand bydra.

Tweelingstudies word algemeen gebruik om te bepaal in watter mate twee oorerflike steurnisse dieselfde genetiese invloed deel. Sodoende is aangetoon dat aandaggebrek-hiperaktiwiteitsteuring (AGHS) en outismespektrumsteuring (OSS) 'n hoë genetiese korrelasie toon (Ronald, Simonoff & Kuntsi, 2008). Genetiese korrelasie is soos 'n normale korrelasie en kan varieer tussen -1 en 1. Dit dui op die graad van gedeelde genetiese invloede tussen twee fenotipes, soos AGHS en OSS. Dit is onafhanklik van die grootte of sterkte van oorerflikheid van elke fenotipe in die betrokke populasie (Ronald & Pain, 2022).

Resultate dui daarop dat psigiatriese steurnisse grootliks veroorsaak word deur dieselfde genetiese loci, maar dis die effekgrootte en die rigting van die effek van elke lokus wat sal bepaal watter spesifieke steurnis 'n persoon sal ontwikkel (Ronald & Pain, 2022).

Die ouderdom van aanvang van siekte kan varieer tussen persone met psigiatriese steurnisse met verskille in die genetiese bydrae in die verskillende groepe. Daar is bevind dat die genetiese korrelasie tussen kinderaanvang-AGHS en -OSS hoër is as die genetiese korrelasie tussen laataanvang-AGHS en -OSS (Rajagopal, Duan, Vilar-Ribo et al., 2022).

Die kombinasie van genetiese en omgewingsinvloede beïnvloed alle psigiatriese steurnisse. Die genetiese korrelasie tussen psigiatriese steurnisse wat saam voorkom, varieer as 'n funksie van kovariërende omgewingsrisikofaktore.

'n Genetiese korrelasie tussen twee psigiatriese steurnisse word bepaal op 'n multidimensionele vlak. Dit sluit in ouderdom van aanvang van siekte, omgewingsfaktore en die lokalisasie en rigting van effek van genetiese variante (Ronald & Pain, 2022).

Dit is bekend dat daar lokusspesifieke, ontwikkelingspesifieke, omgewingsgedrewe invloede en variantgedrewe genetiese korrelasie bestaan (Ronald & Pain, 2022).

Met hierdie kennis kan ons raadgeving aan families en pasiënte meer spesifieke ondersteuning bied. Daar is ook verwagtinge dat dit in die toekoms tot ontwikkeling van meer spesifiek gerigte behandeling sal bydra.

In die Afrikaner-skisofreniestudie is hierdie ontwikkelingspesifieke en meer persoonlike benadering tot pasiënte ook beklemtoon (Roos & Kotze, 2022). Aangesien objektiewe biologiese meetinstrumente in psigiatrie afwesig is, is simptome-dimensies nagegaan om 'n meer persoonlike benadering moontlik te maak. Vroeë afwykende niepsigotiese gedrag is geïdentifiseer as 'n moontlike voortdurende simptome-dimensiekenmerk en endofenotipe in skisofrenie. Waardevolle inligting kan ingewin word deur navraag te doen oor vroeë afwykende gedrag en om dit as 'n voortdurende simptome-dimensiekenmerk tydens die psigiatriese onderhoud te identifiseer (Roos & Kotze, 2022). Dit sou inpas by die begrip dat daar 'n genetiese oorvleueling tussen skisofrenie en neuro-ontwikkelingsteurnisse is (Owen, O'Donovan, Tapar, et al., 2011).

Poligeniese risikotelling

Poligeniese risikotelling (PRT) het die gonswoord geword in genetiese raadgeving. Pasiënte nader psigiaters oor hierdie telling om te bepaal wat hul risiko is om skisofrenie te ontwikkel. Waar staan ons met PRT wat betref psigiatriese steurnisse?

Die idee van 'n poligeniese bydrae deur genetiese variante bestaan al lank – selfs voor molekulêre genetiese studies toegelaat het om spesifieke merkers te identifiseer wat met 'n steurnis geassosieer word. Genoomwye assosiasiestudies (GWAS) ondersoek genetiese verskille tussen gevalle en kontrolepersone. In die proses is duisende genetiese variante geïdentifiseer wat met siekte geassosieer word. Hierdie variante van 'n spesifieke siekte, soos skisofrenie, kan nou in 'n PRT gekombineer word. Dit verskaf op 'n individuele vlak 'n enkele maatstaf van 'n genetiese lading vir byvoorbeeld skisofrenie. Poligeniese argi-

tektuur vorm die basis van die meeste psigiatriese steurnisse en het die dominante paradigma geword (Lewis & Vassos, 2022).

PRT verskaf 'n statisties beduidende maar matige vlak van voorspelling vir 'n enkele steurnis. Dit kan die algemene genetiese bydrae van twee of meer steurnisse vasstel. Die gebruik van PRT in kliniese sorg is voorgestel. Studies oor die gebruik daarvan in die voorspelling van hartsiektes en kanker word tans gedoen.

Wat is die gebruik en toepassing van PRT in kliniese psigiatrie? Die kennis oor die genetiese bydrae tot psigiatriese siekte is onvolledig en beperk. Verder moet in gedagte gehou word dat omgewingsfaktore ook 'n belangrike rol speel.

Die voorspellingspotensiaal van PRT vir skisofrenie in die algemene bevolking is onvoldoende ten opsigte van die resultate van skisofrenie-GWAS.

Die vraag wat ontstaan is, waarop sal die kliniese toepassing van PRT dan fokus? Dit gaan hier oor subgroepe met breër psigopatologie. Dit sou insluit persone met prodromale simptome of waar daar 'n positiewe familiegeskiedenis van byvoorbeeld skisofrenie bestaan. By pasiënte in die vroeë siektefase kan PRT moontlik gebruik word vir die maak van 'n diagnose, en om prognose en behandelingsrespons te voorspel (Lewis & Vassos, 2022).

By pasiënte met 'n eerste episode van psigose ontstaan die vraag dikwels of dit die aanvang van skisofrenie is en of die psigose deur substansgebruik veroorsaak is en moontlik heeltemal kan opklaar. By hierdie pasiënte kan PRT die pasiënte wat skisofrenie gaan ontwikkel van dié met ander tipes psigosies skei (Vassos, Di Forti, Coleman et al., 2017). Verder kan die kombinasie van PRT vir skisofrenie en PRT vir gemoedsteurnis die onderskeid tussen die twee toestande verbeter (Rodriguez, Almeda, Quattione et al., 2022).

Jong persone met neuro-ontwikkelingsteurnisse word roetinegewys met mikrochromosoomondersoek vir kopiegetalvariante (KGV's) gesif. Dis 'n soort strukturele variasie waar 'n stuk DNA gedupliseer of weggelaat word (Savatt & Myers, 2021).

Een weglatingsindroom wat skisofrenie betrek, is die 22q11.2-mikro-uitwissingsindroom. Persone met hierdie indroom het 'n 20 maal hoër risiko om skisofrenie te ontwikkel. Die vraag is dan, wat sou die kliniese gebruik van PRT in pasiënte met 22q11.2-mikro-uitwissingsindroom wees? 'n Hoë skisofrenie-PRT kan daarop dui dat die risiko van skisofrenie in draers van 22q11.2-mikro-uitwissing nog hoër is (Cleynan, Engchuan, Hestand et al., 2021). Hierdie persone word geassosieer met kognitiewe agteruitgang, psigopatologie en verkleining van die hippokampale volume (Alver, Mancini, Lall et al., 2022).

Uit die voorafgaande kan gesien word dat die kliniese gebruik van PRT tans tentatief is. Dit is meer realisties om genetica met ander risikofaktore in 'n geïntegreerde model te kombineer. Dit

sluit aan by risikomodelle vir kardiovaskulêre siekte (Lewis & Vassos, 2022).

Daar moet gewaak word teen stigmatisering van persone met 'n hoë PRT vir psigiatriese steurnis waar 'n psigiatriese diagnose nie met 'n evaluasie bevestig is nie.

Genetiese bevindings moet as 'n deurlopende maatstaf beskou word. Dit mag nie bepalend wees vir sover dit risikobepaling betref nie. Verder is dit belangrik dat enige kliniese toepassing relevant moet wees vir almal, ongeag kultuur, etnisiteit en herkoms. Om dit te bereik sal daar nog baie navorsing in globale en plaaslike populasies gedoen moet word (Lewis & Vassos, 2022).

PRT is nog nie gereed vir kliniese toepassing in psigiatrie nie, behalwe in uitsonderlike gevalle van kombinasie-KGV-toetsing, soos hierbo genoem.

Genetiese raadgewing en skisofrenie

Hierdie raadgewing moet gebaseer word op 'n pasiëntge-sentreerde benadering. Opvoeding en raadgewing moet foutloos verskaf word. Indien genetiese toetsresultate beskikbaar is, moet daar met die resultate gehandel word. Dit is net so belangrik dat interpersoonlike of ander emosionele gebeure wat mag ontstaan, sinvol hanteer word. Dit sluit in gevoelens van skaamte, skuld en blaam. In die proses verbeter psigiatriese sorg en word wanopvatting oor die komplekse aard van skisofrenie en die variërende risiko van herhaling uit die weg geruim (Eeltink, Van der Horst, Zinkstok et al., 2021).

Dit gaan hier oor die versameling van inligting en verskaffing van ondersteuning. In die proses word behoeftes geïdentifiseer, familiegeskiedenis ingewin en detail van die siekte bepaal (Eeltink et al., 2021).

Indien daar op genetiese toetsing besluit word, moet die potensiële impak daarvan vooraf bespreek word. Inligting wat verskaf word, behoort met die oorsaak, herhalingsrisiko en ondersteuning tydens besluitneming te handel. Daar behoort ondersteuning en hulp beskikbaar te wees ná toetsing en met die vertolking van toetsresultate (Spencer-Transley, 2016).

Die terapeut moet wegdoen met hoogdrawende mediese terminologie, en op 'n verstaanbare en ondersteunende manier, op die vlak van die pasiënt en familie, die inligting wat ingewin is, verduidelik. In hierdie psigoterapeutiese proses word die pasiënt bemagtig om leefstylveranderinge aan te bring wat onder andere met omgewingsrisikofaktore sal handel (Roos, 2011; Austin, 2018).

Inligting rakende die genetiese argitektuur van skisofrenie

Patrone van oorerwing

Skisofrenie het 'n hoë graad van oorerflikheid. As 'n familiêel gediagnoseer word met skisofrenie, verhoog dit die risiko van ander familieleden om dit te ontwikkel. Die oorvleueling van

genetiese vatbaarheidsmerkers wat algemeen voorkom tussen psigiatriese steurnisse is reeds genoem. Daar moet ook in ag geneem word dat individue 'n hoër risiko mag hê om skisofrenie te ontwikkel as gevolg van spesifieke genetiese mutasies of polimorfismes, sonder dat hulle 'n familiegeskiedenis van skisofrenie het (Nurnberger, Austin, Berettini et al., 2018; McMahon, 2021).

By pasiënte met skisofrenie volg daar 'n niemenseliese patroon van oorerwing. Daar is gene wat met mekaar en met 'n verskeidenheid van omgewingsfaktore in interaksie is. Hierdie genetiese heterogeniteit maak dat die fenotipe nie deur die genotipe bepaal word nie. So kan verskeie genetiese meganismes soos mutasies by verskillende lokusse of verskillende mutasies by 'n enkele lokus tot soortgelyke fenotipes lei (Ghosh, 2014). By skisofrenie, wat 'n poligeniese steurnis is, sal die steurnis die gevolg wees van 'n kumulatiewe effek van verskeie gene wat onafhanklik reageer om die uiteindelige effek te hê (Nurnberger et al., 2018).

Die poligenisiteit en die feit dat skisofrenie geneties heterogeen is, moet beklemtoon word. Die variante wat skisofrenie beïnvloed, kan wydverspreid wees in die algemene bevolking. Verskeie omgewingsfaktore het regdeur die lewensiklus 'n invloed op die moontlikheid om skisofrenie te ontwikkel. Die invloed van gene, tesame met omgewingsfaktore, moet 'n sekere drempel oorskry voor 'n persoon skisofrenie sal ontwikkel. Hierdie omgewingsfaktore is nie die primêre veroorsakende faktore nie. Die omgewingsfaktore kan groepeer word as: vroeëontwikkelingsfaktore, aanvang-van-siekte-faktore en proksimale faktore. Vroeëontwikkelingsfaktore sluit in obstetriese komplikasies en gevorderde vaderlike ouderdom met spontane mutasies. Proksimale faktore verwys na aspekte soos migrasie of verstedeliking, soos ervaar deur 'n individu, en sosiale diversiteit. Die aanvang van skisofrenie kan veroorsaak word deur substansgebruik of -misbruik, trauma en sosiale ongunstigheid (Stilo & Murray, 2019).

Genetiese toetsing vir risikovoorspelling

Daar is tans geen genetiese toets beskikbaar om 'n diagnose van skisofrenie te bevestig nie. Nogtans kan familieleden van pasiënte met skisofrenie moontlik versoek rig vir genetiese toetsing met die oog op risikovoorspelling. So 'n versoek kan deel uitmaak van gesinsbeplanning by jonger familieleden.

Daar is merkwaardige vordering gemaak ten opsigte van die genetica van skisofrenie. Wat betref die maak van aanbevelings aangaande genetiese toetsing vir risikovoorspelling of vir diagnostiese redes, raak die besluite kompleks. Tans is daar geen kliniese riglyne in dié verband nie (Hoehe & Morris-Rosendahl, 2018).

Daar is verskeie gene wat in interaksie met die omgewing 'n invloed uitoefen. Al word verskeie gene van belang in 'n persoon geïdentifiseer, kan die diagnostiese waarde daarvan moontlik beperk wees. Die neem van 'n goeie geskiedenis waar familiebesonderhede ingesluit word, sowel as 'n psigiatriese evaluering, bly noodsaaklik (Ghosh, 2014; Hoehe & Morris-Rosendahl, 2018).

Ons moet fokus op ontwikkeling tydens die kinderjare, en op vroeë sosiale en omgewingsinvloede (McMahon, 2022; Austin, 2000; Roos & Kotze, 2022). Die klem moet val op 'n neuro-ontwikkelingsperspektief. Die multifaktormodel van omgewing, in interaksie met genetica, moet verduidelik word op 'n manier wat vir die pasiënt en familie verstaanbaar is. Die konteks van 'n spesifieke familie se geskiedenis kan gebruik word om komplekse konsepte te verduidelik. Hier kan verwys word na aangetaste en nieaangetaste familieledede om te verduidelik hoe steurnis kan oorvleuel en hoekom sommige persone 'n steurnis kan ontwikkel en ander nie (Resta, Biesecker, Bennett et al., 2006; Austin, 2020).

Indien 'n persoon individuele en familiële herhalingsrisiko en presipiterende faktore beter verstaan, kan dit bydra tot sinvolle besluitneming by gesinsbeplanning en ander belangrike leefstylkeuses. In hierdie proses kan risiko verminder en geestesgesondheid bevorder word in pasiënte met en sonder skisofrenie (Austin & Honer, 2007; Costain & Basset, 2012).

Die besluit om 'n genetiese toets te laat doen moet 'n persoon se eie keuse wees, en die persoon wat die toets aanvra, moet oor besluitnemingsbevoegdheid beskik. Individuele en kulturele waardes moet in ag geneem word – alles teen die agtergrond van persoons- en bewysgebaseerde kliniese sorg (Crepaz-Keay, Austin, Weeks et al., 2021).

Die kompleksiteit van die interaksie tussen pasiënte en hul families kom gou na vore as genetiese toetsing oorweeg word. Die moontlikheid van diskriminasie op grond van kliniese inligting moet altyd 'n oorweging wees en waar genetiese resultate onduidelik is, moet dit pertinent so gestel word (Appelbaum & Benson, 2017; Nurnberger et al., 2018).

Die risiko van insidentele bevindings moet vooraf bespreek word en daar moet besluit word of individue daarvoor ingelig moet word. Sover moontlik behoort families deel te neem aan enige besluite wat hulle moontlik kan beïnvloed. Voortdurende

opvoeding in kombinasie met 'n dinamiese proses van inligtingsverskaffing sal ingeligte toestemming sinvol bevorder (Appelbaum & Benson, 2017).

Epigenetika en skisofrenie

Epigenetika is die studie van chemiese verandering op 'n sellulêre vlak wat genetiese uitdrukking verander sonder dat die genetiese kode verander word. Dié aspek word beklemtoon in genetiese raadgewing (Kaverne & Binders, 2020; Jones, Park, Gamby et al., 2021; Richetto & Meyer, 2021). Gene kan op 'n positiewe en negatiewe manier verander word deur die interaksie van 'n persoon met sy omgewing. Omgewingsfaktore soos stres, rook van tabak, cannabisgebruik en voeding kan die uitdrukking van gene beïnvloed. Dit verander op sy beurt selaktiwiteit en gevolglike gedragsfenotipes. By pasiënte met skisofrenie kan hierdie nadelige omgewingsinvloede bydra tot 60% van skisofreniegevalle. Hierdie buigsaamheid van epigenetika en geenuitdrukking moet tydens genetiese raadgewing beklemtoon word. Dit kan bydra tot hoop by die pasiënt, kan ongunstige invloede teenwerk en kan sodoende 'n gesonder omgewing en aktiwiteite bevorder (Jones et al., 2021; Meoney, Szyf, Secki et al., 2007).

Herhalingsrisiko vir skisofrenie

'n Individu of familielid sal moontlik wou weet wat die waarskynlikheid is dat hulle skisofrenie kan ontwikkel. Die herhalingsrisikobepaling word gebaseer op empiriese risiko en statistiese moontlikhede van 'n spesifieke studiepopulasie (sien Tabel I). Hierdie bepaling kan moeilik en kompleks wees.

Die interaksie met omgewingsfaktore kan die herhalingsrisiko verhoog of verlaag. Die gegewens in Tabel I is dalk dan nie noodwendig van pas vir 'n spesifieke familie nie. Tydens genetiese raadgewing moet hierdie voorspellingsproblematiek uitgelig en verduidelik word. Daar moet beklemtoon word dat verskeie gene in interaksie met omgewingsfaktore is (Ghosh, 2014; Nurnberger et al., 2018).

Tabel I: Herhalingsrisiko vir skisofrenie gebaseer op verwantskap met aangetaste individu

Herhalingsrisiko	Verwantskap	Persentasie
Empiriese risiko vir ontwikkeling van skisofrenie vir familieledede van 'n persoon met skisofrenie	Algemene populasie	1%
Eersterangse familieledede	Twee aangetaste ouers	45%
	MS-tweeling	40–48%
	DS-tweeling	10–17%
	Kinders	13%
	Ouers	6–13%
	Sibbe	6–9%
Tweederangse familieledede	Halfsibbe	3–6%
	Kleinkinders	3–5%
	Ooms/tantes	2–3%
	Neefs/niggies	2–4%
	Sibbe se kinders	2–3%

Bronne: Harper (1998); McGuffin, Owen & Gottesman (2002)

Die aantal familieledede met skisofrenie sal die herhalingsrisiko verhoog. Die geslag van die familielid met skisofrenie, vroeë aanvang van die siekte en vroeë afwykende gedrag in die kinderjare kan dus ook op 'n hoër genetiese lading dui (Ghosh, 2014; Roos & Kotze, 2022).

Die individuele voorspelling van risiko om skisofrenie te ontwikkel bly 'n uitdaging. Die risiko om skisofrenie te ontwikkel vermeerder agtvoudig vir persone met 'n eersterangse familielid (kyk Tabel I) met skisofrenie (Mortensen, Pedersen & Pedersen, 2010). Die meeste mense het nie 'n eersterangse familielid met skisofrenie nie, en gevolglik is familiegeskiedenis by persone met skisofrenie nie insiggewend nie. Selfs waar daar 'n familiegeskiedenis van skisofrenie is, sal die meeste persone nie die siekte ontwikkel nie (Biernacka, 2023).

Algemene en seldsame DNA-variante

Daar is breedvoerig daaroor debat gevoer of die onderliggende biologiese prosesse betrokke by skisofrenie die gevolg is van algemene of seldsame DNA-variante. Navorsing toon dat gene wat voorkeur geniet by algemenevariantanalise van skisofrenie verryk word deur seldsamevariantrisiko. Dit suggereer dat algemene en seldsame genetiese risikofaktore ten minste gedeeltelik uitloop op dieselfde onderliggende biologiese proses (Singh, Poterba, Curtis et al., 2020). Huidige bewyse beklemtoon dat beide algemene en seldsame genetiese variante 'n belangrike rol in skisofrenie speel (Bergen, Pioner, Harrigan et al., 2019). Hierdie navorsing het ons insig in die biologie van skisofrenie verryk en die komplekse aard van siektepatogenese het duidelik geword.

Op 'n sellulêre vlak is bevind dat neuronale selsubtypes nou geassosieer word met die ontwikkeling van skisofrenie (Iyegbe

& O'Reilly, 2022). Privaat beskadigende mutasiegene, wat kritiek is in sinaptiese funksionering, het 'n beduidend hoër voorkoms getoon (Gulsener, Stein, Susser et al., 2020). Dit is beskadigende mutasiegene wat spesifiek by die persoon wat ondersoek word, geïdentifiseer is. Daar was ook 'n oormaat van ultraseldsame koderende variante (UKV's) – wat die grootste uitdrukking vind in die sentrale senuweestelsel – met uiteenlopende molekule funksies (Braff & Bigdeli, 2022). Verder is daar 'n assosiasie gevind met spesifieke N-metiel-D-aspartaatsubeenhede, wat die hipotese van 'n disfunksionering in die glutaminergiese sisteem in skisofrenie sou ondersteun (Singh et al., 2022). Daar was ook seldsame ontwrigtende koderingsvariante wat neuronale funksionele prosesse beïnvloed. Dit sou differensiasie, sinaptiese organisering en oordrag insluit (Truberskoy, Pardini, Qi et al., 2022).

Daar is met geenposisionering 120 gene (106 proteïenkoderend) geïdentifiseer wat ook 'n rol speel in die veroorsaking van skisofrenie. Dit is algemene variantassosiasiebevindings. So is daar funksionele allele wat die mees beduidende GWAS-lokus onderlê binne die major histoveroensbaarheidskompleks-lokus (MHK-lokus) op chromosoom 6. Hierdie lokus is bekend vir sy rol in immuniteit en bevat menslike leukosietantigeen-gene (MLA-gene). Allele is geïdentifiseer van MLA-gene wat met skisofrenie verband hou (Sekar, Bialas, De Rivera et al., 2016). Hierdie allele verhoog kompliment-4A-(KUA)-RNS-vlakke in die brein, wat lei tot die verhoogde besnoeiing van sinapse. Kompliment-4 (K4) is 'n ingeboude immuniteitstelselbaan wat patogene en sellulêre oorskot vinnig herken en elimineer.

Tabel II gee 'n opsomming van die 10 seldsame gene volgens hulle vyf breë definiërende funksionele kategorieë. Dit sluit in transkripsieregulering, ionvervoer, ibikitiëligasie, neuromigrasie/-groei en kernvervoer.

Tabel II: Tien gene wat as seldsame variante geïdentifiseer is volgens vyf funksionele kategorieë met wesenlike risiko vir skisofrenie (Singh et al., 2020)

Transkripsieregulering	(SETD1A, SP4, RBICC1)
Ionvervoer	(CACNA1G, GRIA3, GRIN2A)
Ibikitiëligasie	(CUL1, HERC1)
Neuromigrasie en -groei	(TRIO)
Kernvervoer	(XP07)
1. SETD1A	SET-gebiedbevattende 1A-histoonlisienetieltransferase
2. SP4	Transkripsiefaktor bind aan promotorgebied van verskeie gene
3. RB1CC1	Interreageer met seinpaaie wat selgroei reguleer
4. CACNA1G	Kalsiumspanning – helekanaalsubeenheid-alfa-1G, binnegang van kalsiumione in prikkelbare selle
5. GRIA3	Glutamaationotropiese reseptor AMPA-tipe subeenheid 3 eksitatoriese-neurotransmitterreseptor
6. GRIN2A	Glutamaationotropiese reseptor-NMDA-tipe subeenheid 2A, reseptore laat kalsiumione deur
7. CUL1	Dit laat ubikitiëproteïenligasebinding-aktiwiteit plaasvind, asook ubikitiëproteïenligase-aktiwiteit
8. HERC1	Ubikitiëproteïenligase-familielid 1
9. TRIO	Rho-kwanienukleotied-uitruilfaktor funksioneer as 'n GDP-na-STP("CTP")-uitruilfaktor
10. XP07	Betrokke by vervoer van proteïene en groot RNS'e deur kernporiekomplekse

Daar was slegs een enkele geen, SETD1A, wat duidelik met skisofrenie geassosieer was. Hierdie SETD1A-geen is reeds in 2014 in die Afrikaanse-skisofreniestudie gerapporteer (Takata, Xu, Ionita-Laza et al., 2014).

Kopienommervariante (KNV's) en enkelnukleotiedvariante (ENV's) mag oorgeërf word of spontaan voorkom. Hierdie aspek moet duidelik uiteengesit word tydens genetiese raadgeving. KNV's stel 'n persoon bloot aan 'n verskeidenheid van psigiatriese steurnisse. Die voorkoms daarvan het beperkte diagnostiese spesifisiteit. KNV's neig om uitdrukking te vind in die ontwikkelende brein en sou moontlik kon dui op 'n algemene neuro-ontwikkelingsoorsprong vir verskeie psigiatriese steurnisse. Om hierdie rede behoort primêre voorkoming reeds in die kinderjare te begin (Nurnberger et al., 2018; McMahan, 2022).

Slotopmerking

Dit is belangrik dat psigiaters op hoogte moet bly van die jongste ontwikkelings in die genetica en genomika van skisofrenie. Raadgeving kan nie bloot aan gespesialiseerde genetiese raadgewers oorgelaat word nie.

Tydens genetiese raadgeving oor skisofrenie moet daar beklemtoon word dat die aanvang van skisofrenie bepaal word deur biologiese, omgewings- en sosiale risikofaktore. Hierdie faktore is in werking gedurende ontwikkeling. Sommige pasiënte toon 'n verlies aan sosiale en kognitiewe funksie, wat toegeskryf kan word aan die bedreigings wat die siekte inhou vir pasiënte en is nie 'n direkte gevolg van 'n genetiese predisposisie nie. Daar moet wegbeweeg word van 'n negatiewe, stigmatiserende siening van skisofrenie as 'n progressiewe breinsiekte wat gepaard gaan met agteruitgang (Murray, Bora, Modinos et al., 2022).

Tydens genetiese raadgeving moet 'n gebalanseerde benadering gevolg word wat genetiese en omgewingsfaktore in ag neem. Sodoende word pasiënte bemagtig om sinvolle, ingeligte besluite te neem oor genetiese toetsing. Dit moet onrealistiese verwagtinge, stigma en diskriminasie, wat verband hou met onvoldoende begrip van genetiese resultate in die psigiatriese konteks, vooruitloop.

Psigiaters moet nooit uit die oog verloor dat dit 'n persoon is wat voor hulle sit en nie 'n siekte (skisofrenie) nie. Menslike veerkragtigheid hou nie op by die maak van 'n diagnose nie. Psigiaters behandel mense en nie siektes nie (Deegan, 2022).

ORCID

JL Roos <https://orcid.org/0000-0001-7289-7599>
C Kotzé <https://orcid.org/0000-0002-5015-9293>

Bibliografie

Alver, M., Mancini, V., Lall, K., et al., 2022, Contribution of schizophrenia polygenic burden to longitudinal phenotype variance in 22q11.2 deletion syndrome, *Molecular Psychiatry* 27, 4191-4200. <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01674-9>.
Appelbaum, P.S., Benson, S., 2017, Anticipating the ethical challenges in psychiatric genetic testing, *Current Psychiatry Reports* 19(7), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s11920-017-0790-x>.

Austin, J.C., 2018, Genetics in the clinical setting: The role of psychiatric genetic counselling, *Psychiatric Time* 353(3).
Austin, J.C., 2020, Evidence-based genetic counselling for psychiatric disorders. A road map, *Cold Spring Harbor perspectives in Medicine* 10(6):a036608. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a036608>.
Austin, J.C., Honer, W.G., 2007, The genomic era and serious mental illness: a potential application for psychiatric genetic counselling, *Psychiatric Services* 58(2), 254-61. <https://doi.org/10.1176/appi.ps.58.2.254>.
Bergen, S.E., Ploner, A., Howrigan, D., et al., 2019, Joint contributions of rare copy number variants and common SNPs to risk for schizophrenia, *American Journal of Psychiatry* 176, 29-35. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2018.17040467>.
Biernacka, J.M., 2023, Do polygenic scores inform psychiatric disease risk after considering family history? *American Journal of Psychiatry* 180(4), 256-258. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.20230116>.
Bruff, D.L., Bigdeli, T.B., 2022, Ultrarare coding variants and cognitive function in schizophrenia - unravelling the mysteries of Neuropsychiatric Genetics, *JAMA Psychiatry* 79(10), 946-948. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2022.2030>.
Cleyeney, I., Engchuan, W., Hestand, M.S., et al., 2021, Genetic contributors to risk of schizophrenia in the presence of a 22q11.2 deletion, *Mol Psychiatry* 26, 4496-4510. <https://doi.org/10.1038/s41380-020-0654-3>.
Costain, G., Basset, A.S., 2012, Clinical applications of schizophrenia genetics: genetic diagnosis, risk and counselling in the molecular era, *The Application of Clinical Genetics* 5, 1-18. <https://doi.org/10.2147/TACG.S21953>.
Crepaz-Keay, D., Austin, J., Weeks, L., 2021, Journey into genes: Cultural values and the (near) future of genetic counselling in mental health. In Stoyanov, D., Fulford, B., Stangkelini, G., et al. (eds.). *International Perspectives in Value-Based Mental Health Practice: Case studies and commentaries*. Cham: Springer International Publishing. p245-55. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47852-0_28.
Deegan, P.E., 2022, I am a person, not an illness, *Schizophrenia Research* 246,74. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2022.06.004>.
Eeltink, E., Van der Horst, M.Z., Zinkstok, J., et al., 2021, Polygenic risk scores for genetic counselling in psychiatry. Lessons learned from other fields of medicine, *Neuroscience & Behavioral Reviews* 121, 119-27. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.11.021>.
Ghosh, P., 2014, Genetic counselling in psychiatry: Scope and challenges, *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 3, 12007-18. <https://doi.org/10.14260/jemds/2014/3584>.
Gulsener, S., Stein, D.J., Susser, E.S., et al., 2020, Genetics of schizophrenia in the South African Xhosa, *Science (New York)* 367(6477), 569-73. <https://doi.org/10.1126/science.aay8833>.
Harper, P.S., 1998, *Practical genetic counselling*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
Hoehe, M.R., Morris-Rosendahl, D.J., 2018, The role of genetics and genomics in clinical psychiatry, *Dialogues in Clinical Neuroscience* 20(3), 169-177. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2018.20.3/mhoehe>.
Iyegbe, C.O., O'Reilly, P.F., 2022, Genetic origins of Schizophrenia find common ground, *Nature: International Weekly Journal of Science*, 604(7906), 433-435. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00773-5>.
Jones, D.E., Park, J.S., Gamby, K., et al., 2021, Mental health epigenetics: A primer with implications for counsellors, *Professional Counsellor* 11(1), 102-21. <https://doi.org/10.15241/dej.11.1.102>.
Kaverne, J., Binder, E.B., 2020, A review of epigenetics in psychiatry focus on environmental risk factors, *Medizinische Genetik* 32(1), 57-64. <https://doi.org/10.1515/medgen-2020-2004>.
Lewis, C.M., Vassos, E., 2022, Polygenic scores in psychiatry: On the road from discovery to implementation, *American Journal of Psychiatry* 179, 11. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.20220795>.
McGuffin, P., Owen, M.J., Gottesman I.I., 2002, *Psychiatric genetics and genomics*, Oxford University Press, New York. <https://doi.org/10.1093/oso/9780192631480.001.0001>.
McMahon, F.J., 2022, Putting genetics to work in the psychiatric clinic, *American Journal of Psychiatry* 179(3), 182-8. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2021.22010024>.
Meoney, M.J., Szyf, M., Secki, J.R., 2007, Epigenetic mechanisms of perinatal programming of hypothalamic-pituitary-adrenal function and health, *Trends in Molecular Medicine* 13(7), 269-77. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2007.05.003>.
Mortensen, P.B., Pedersen, M.G., Pedersen, C.B., 2010, Psychiatric family history and schizophrenia risk in Denmark: which mental disorders are relevant? *Psychological Medicine* 40, 201-210. <https://doi.org/10.1017/S0033291709990419>.
Murray, R.M., Bora, E., Modinos, G., et al., 2022, Schizophrenia: a developmental disorder with a risk of non-specific but avoidable decline, *Schizophrenia Research* 243,181-186. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2022.03.005>.
Nurnberger Jr., J.L., Austin, J., Berettini, W.H., et al., 2018, What should a psychiatrist know about genetics? Review and recommendations from the residency education committee of the International Society of Psychiatric Genetics,

- Journal of Clinical Psychiatry* 80(1), 17nr12046. <https://doi.org/10.4088/JCP.17nr12046>.
- Owen, N.J., O'Donovan, M.C., Tapar, A., et al., 2011, Reappraisal: Neurodevelopmental hypothesis of schizophrenia, *British Journal of Psychiatry* 198(3), 173-175. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.110.084384>.
- Rajagopal, U.M., Duan, J., Vilar-Ribo, L., et al., 2002, Differences in the genetic architecture of common and rare variants in childhood persistent and later diagnosed attention-deficit-hyperactivity disorder, *Nature Genetics* 54, 1117-1124. <https://doi.org/10.1038/s41588-022-01143-7>.
- Resta, R., Biesecker, B.B., Bennett, R.L., et al., 2006, A new definition of genetic counselling: National Society of Genetic Counsellors' Task Force Report, *Journal of Genetic Counselling* 15, 77-83. <https://doi.org/10.1007/s10897-005-9014-3>.
- Richetto, J., Meyer, U., 2021, Epigenetic modification in schizophrenia and related disorders: molecular scars of environmental exposures and source of phenotypic variability, *Biological Psychiatry* 89(3), 215-226. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2020.03.008>.
- Rodriguez, V., Almeda, L., Quattione, D., et al., 2022, Use of multiple polygenic risk scores for distinguishing schizophrenia-spectrum disorder and affective psychosis categories in a first-episode sample: the EU-GEI Study, *Psychology Medicine* 1-10. <https://doi.org/10.1017/S0033291721005456>.
- Ronald, A., Pain, O., 2022, A revolution is brewing in how we understand the shared genetic causes of psychiatric disorders, *American Journal of Psychiatry*, 179, 11. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.20220777>.
- Ronald, A., Simonoff, E., Kuntsi, J., et al., 2008, Evidence for overlapping genetic influences on autistic and ADHD behaviours in a community twin sample, *J Child Psychol Psychiatry* 49, 505-542. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2007.01857.x>.
- Roos, J.L., 2014, Nuwe bevindings oor genetiese argitektuur van skisofrenie: Die bydrae van studies onder Afrikaners, *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 33(1), 396. <https://doi.org/10.4102/satnt.v33i1.396>.
- Roos, J.L., 2011, Genetics of schizophrenia: Communicating scientific findings in the clinical setting, *African Journal of Psychiatry* 14(2). <https://doi.org/10.4314/ajpsy.v14i2.1>.
- Roos, J.L., Kotze, C., 2022, Early deviant behaviour as a dimension trait and endophenotype in schizophrenia, *South African Journal of Psychiatry* 28(0), 1-6. <https://doi.org/10.4102/sajpsy.v28i0.1747>.
- Savatt, J.M., Myers, S.M., 2021, Genetic testing in neurodevelopmental disorders, *Front Pediatr* 9, 526779. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.526779>.
- Sekar, A., Bialas, A.R., De Rivera, H., et al., 2016, Schizophrenia risk from complex variation of complement component, *Nature* 530(7589), 177-183. <https://doi.org/10.1038/nature16549>.
- Singh, T., Poterba, T., Curtis, D., et al., 2022, Rare coding variants in ten genes confer substantial risk for schizophrenia, *Nature* 604(7906), 509-16. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04556-w>.
- Spencer-Transley, R.E., 2016, Exploring the application of psychiatric genetic counselling within the UK: Bournemouth University. 2016.
- Stilo, S.A., Murray, R.M., 2019, Non genetic factors in schizophrenia, *Current Psychiatry Reports* 21(10), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1091-3>.
- Takata, A., Xu, B., Ionita-Laza, I., et al., 2014, Loss of function variants in schizophrenia risk and SETD1A as a candidate susceptibility gene, *Neuron* 82(4), 773-780. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.04.043>.
- Trubetskoy, V., Pardinas, A.F., Qi, T., et al., 2022, Mapping genetic loci implicates genes and synaptic biology in schizophrenia, *Nature* 604(7906), 502-8. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04434-5>.
- Vassos, E., Di Forti, M., Coleman, J., et al., 2017, An examination of polygenic score risk prediction in individuals with first-episode psychosis, *Biol Psychiatry*, 81, 470-477. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2016.06.028>.

Die gebruik van slimbrille in die gesondheidsorgmetaversum: 'n Sistematiese oorsig

L Malungana, B Chimbo

Kollege vir Wetenskap, Ingenieurswese en Tegnologie, Universiteit van Suid-Afrika, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: L Malungana **E-pos:** Emalun1@unisa.ac.za

Agtergrond: In onlangse tye was die bespreking van die gebruik van virtuele realiteit en geougmenteerde realiteit vir die gesondheidsorgmetaversum nogal verwarrend. Die gebruik van hierdie tegnologieë kan moeilik wees in 'n besige gesondheidsorgomgewing, aangesien gesondheidsorgpersoneel noodgedwonge hul hande daarvoor moet gebruik. Nogtans raak slimbrille al hoe gewilder as gevolg van die voordele daarvan, soos dat dit wel 'n groot mate handvrye gebruik daarvan toelaat en ook videogebaseerde konsultasies wat 'n lewende perspektief moontlik maak. Daar is wel vorige studies wat slimbrille in verskeie gesondheidsorgomgewings ondersoek het.

Doel: Die navorsing het ten doel gehad om die gebruik van slimbrille in virtuele realiteit en geougmenteerde realiteit vir die gesondheidsorgmetaversum te bestudeer.

Metodes: Ons het 'n soektog deur drie databasisse gedoen wat navorsing in beide die gesondheidsorg- en rekenaarwetenskapveld insluit. Ons het die PRISMA-benadering gevolg om 'n oorsig van referate te doen. Die soektog het op gepubliseerde artikels tussen 2019 en 2023 gefokus.

Resultate: Die studie het bevind dat 28 uit 81 publikasies wat in die oorsig gebruik is, kommersieel beskikbare slimbriltoestelle en videokonferensieprogrammatuur benut het, wat 'n hoë vlak van tegnologiese gereedheid vir die praktiese toepassing en gebruik van slimbrille in die gesondheidsorgomgewing demonstreer. Die navorsing het tipiese stelselkenmerke soos video- en audiostreaming, annotasie, geougmenteerde realiteit en handvrye interaksies ondersoek.

Gevolgtrekking: Slimbrille en optiese koptegemonteerde skerms met slimfoonkenmerke transformeer die gesondheidsorgbedryf deur handvrye kommunikasie sowel as die onmiddellike deling van inligting tussen gesondheidsorgpersoneel moontlik te maak. Hierdie tegnologie maak samewerking op 'n afstand en inligtingsdeling moontlik deur oudio en video te versend en sodoende die gehalte van pasiëntsorg te verbeter.

Slutelwoorde (slegs Engels is gebruik): Smart glasses; virtual reality, augmented reality; healthcare metaverse; healthcare professionals

The use of smart glasses in the healthcare metaverse: A systematic review:

Background: In recent times, discussion of the use of virtual reality and augmented reality for healthcare metaverse has remained confusing. In a busy healthcare setting, use of these technologies may be burdensome as they necessitate manual operation by healthcare professionals. Yet at the same time, smart glasses are becoming increasingly popular because of their benefits, such as allowing a degree of hands-free operation and enable video-based consultations that provide a live perspective. There have been studies that examined the use of smart glasses in various healthcare environments.

Aim: The research aimed to study the use smart glasses in virtual reality and augmented reality for the healthcare metaverse.

Methods: We searched three databases that encompass research in both the healthcare and computer science fields. We employed the PRISMA approach to conduct a review of papers. The search focused on articles published between 2019 and 2023.

Results: The findings of the study revealed that 28 out of the 81 publications reviewed utilised commercially available smart glass devices and videoconferencing software, demonstrating a high level of technological preparedness for the practical application and use of smart glasses in the healthcare environment. The research investigated typical system features, such as video and audio streaming, annotation, augmented reality and hands-free interactions.

Conclusion: Smart glasses and optical head-mounted displays with smartphone features are transforming the healthcare industry by enabling hands-free communication as well as instant information sharing among healthcare professionals. This technology enables remote cooperation and information sharing by transmitting audio and video, thus enhancing the quality of patient care.

Keywords: Smart glasses; virtual reality, augmented reality; healthcare metaverse; healthcare professionals

Inleiding

Gesondheidsorg behels die evaluering en voorspelling van pasiënte se fisieke, geestes- en kognitiewe welstand. In hierdie studie verwys gesondheidsorgmetaversum na die konvergensie van baie tegnologieë, soos kunsmatige intelligensie (KI), virtuele realiteit (VR), geougmenteerde realiteit (GR), internet van mediese dinge (IMD (Engels IMT)), en so meer. Die gebruik van slimbril- in gesondheidsorgmetaversum-tegnologieë maak voorsiening vir die monitering en verbetering van pasiënte se gesondheidsfiksheid (Bibri & Jagatheesaperumal, 2023). As gevolg hiervan fasiliteer dit chirurgiese simulase, diagnostiese beelding, rehabilitasie en pasiëntgesondheidsbestuur (Kadem *et al.*, 2023). Daarbenewens word pasiënte die bevoorreedes in die gesondheidsorgmetaversum van GR en VR, aangesien dit hulle byvoorbeeld in staat stel om konsekwent die nodige fisieke oefeninge uit te voer wat in hul behandelingsprotokolle uiteengesit word. Die voordele kan verder byvoorbeeld gesien word in die gebruik van VR en GR waar gesondheidswerkers behandelings voorsien volgens 'n niefarmakologiese benadering om angs wat met trauma geassosieer word, die hoof te bied.

Die huidige gesondheidsorgstelsel gebruik die gesondheidsorgmetaversum vir die stoor van data in óf 'n private óf 'n openbare wolkstoorruimte. Die verbandhoudende intelligente besluite wat geneem word, gebaseer op VR en GR, word gedoen op grond van die data wat tussen die individuele nodusse uitgeruil word. Die tradisionele gesondheidsorgstelsel verskaf dienste aan pasiënte deur die daarstelling van mediese beleide, byvoorbeeld die Verenigde State se Health Insurance Portability and Accountability Act van 1996 (die "HIPAA"), 'n wet van die USA se Kongres, en die beleide van die Wêreldgesondheidsorganisasie (WGO). Toestelle wat gedra kan word ("drabare toestelle"), soos slimbrille, wat in die klas van GR en VR val, laat 'n breër vertolking vir simulasedoeleindes toe, wat tot die voordeel van gesondheidsorgwerkers strek. Hierbenewens bied GR en VR geleenthede vir datamonitering, wat gesondheidsorgwerkers tot verdere voordeel kan strek (Azodo *et al.*, 2020). Om die verbeterings in doeltreffendheid wat gesondheidsorgpraktisyns deur gebruik van slimbrille kan bereik te illustreer, kan 'n mens maar net dink aan aktiwiteite soos inligtingherwinning, rekordhouding en interpersoonlike uitruiling van inligting (Romare *et al.*, 2022).

Hierdie artikel het die gebruik van slimbrille in die gesondheidsorgmetaversum in VR en GR vir gesondheidsorgpersoneel ondersoek. Slimbrille beskik oor 'n magdom eienskappe met die potensiaal om 'n revolusionêre transformasie in die gesondheidsorgsektor teweeg te bring (Pramanik *et al.*, 2020). Hierdie gevorderde tegnologie sal verskeie take fasiliteer, wat insluit die vaslegging van pasiëntinligting, die opneem en ontleding van pasiëntinteraksies deur stemherkennings- en opnameprogrammatuur, die toediening van medikasie en die voorlopige diagnose van pasiënte. Hierbenewens sal die stelsel gesigsherkennings-tegnologie gebruik om pasiënte akkuraat te identifiseer en hul omvattende mediese geskiedenis te verkry, met inbegrip van inligting oor allergieë en ander toepaslike aspekte. Hierdie kenmerke is veral nuttig in situasies waar die

pasiënt onresponsief is of nie in staat is om verbaal te kommunikeer nie. In hierdie navorsing word slimbrille beskou as 'n tipe drabare rekenaar toegerus met 'n optiese koggemonteerde vertoonbeeld (OKGV) (Baashar *et al.*, 2023). Die doel daarvan was om 'n wyd beskikbare gerekenariseerde bril vir die publiek te skep. Die toestel bied data in 'n handvrye formaat wat soortgelyk aan 'n slimfoon is, en gebruikers kommunikeer met die internet via stemopdragte in natuurlike spraak (Chengoden *et al.*, 2023).

Literatuuroorsig oor die gesondheidsorgmetaversum

Hierdie artikel ondersoek die aanvaarding van die gesondheidsorgmetaversum vir VR en GR. In die verlede het die gebruik van die internet van dinge-stelsels (IvD-stelsels) in die mediese en gesondheidsorgbedryf daartoe gelei dat pasiënte bykomende tyd en finansiële hulpbronne aan kliniekverwante dienste bestee het (Akkaş, Sokullu & Ertürk Çetin, 2020). Die aanvaarding van VR is gemotiveer deur die kommersialisering van VR. Daar was egter onlangse vordering in die gebruik van GR- en VR-tegnologieë wat verbetering met die oog op kwaliteitgesondheidsorg moontlik gemaak het, veral in die diagnose en verstaan van die erns van pasiënte se siektes.

Volgens Habibzadeh *et al.* (2020) moet meer omvattende erkenning in gesondheidsorg nie net op een aspek van IoT-benutting konsentreer nie, maar moet dit eerder daarna streef om verbeterde gesondheidsorgdienste aan pasiënte deur professionele gesondheidsorgpersoneel (Habibzadeh *et al.*, 2020) te verskaf. Taimoor en Rehman (2022) beweer egter dat IvD-gebaseerde gesondheidsorg en mediese stelsels, wat moderne tegnologieë soos groot data, KI en vyfdegenerasie-mobiele tegnologie kan benut, 'n beduidende impak op die gesondheidsorgbedryf wêreldwyd gehad het (Mafabi *et al.*, 2017). Hierdie tegnologieë bied 'n menigte voordele aan pasiënte, hospitale en mediese sentrums, soos geoutomatiseerde gesondheidsmonitering en samewerkende mediese diagnose op 'n afstand.

Virtuele realiteit en geougmenteerde realiteit

Die studie verduidelik dat IvD-gebaseerde gesondheidsorgstelsels baie vorme van gesondheidsorg en mediese data versamel, wat insluit sekwensiële data soos elektro-ensefalogramme, hoëdimensiedata soos ultraklankbeelde, en dokumente soos elektroniese gesondheidsrekords. Dit sal die gebruik van sulke versamelde data deur intelligente sensorgedrewe toestelle moontlik maak, met inbegrip van biosensors, drabare toestelle, slimtoestelle en mediese toerusting, wat almal onderling via die internet verbind is (Cilliers, 2020; Pramanik *et al.*, 2020). Die data word aanvanklik op 'n lokale toestel gehou, waarna 'n gerepliseerde kopie na die datasentrum gestuur word vir wolkstoring, met die voorbehoud dat die data regstreeks vanaf toestelle verkry word. Die data word in die datasentrum verwerk en geëvalueer deur gebruik te maak van 'n reeks KI-tegnologieë, waaronder kenmerkgeniëring en masjienleer-algoritmes, om beduidende en pertinente inligting outonoom te onttrek (Rathore *et al.*, 2021).

Die resultate wat deur KI in diensgeoriënteerde rekenaarkonstruksies verkry word, word uiteindelik aan óf die individuele pasiënte óf die gesondheidsdiensverskaffers gekommunikeer. Spesifieke fundamentele resultate kan dokters en gesondheidswerkers help om 'n definitiewe mediese diagnose te bereik en die mees geskikte behandelingsregime te formuleer. Sekuriteitsmaatreëls is noodsaaklik in alle stadiums, wat waarneming, dataversameling en -verwerking insluit om sensitiewe gesondheidsdata, vertroulike inligting en diagnostiese uitkomst teen kuberbedreigings te beskerm (Butpheng, Yeh en Xiong (2020). Hierdie tegnieke moet die fisiese laag insluit, sowel as die diens- en die toepassingslaag om die beskerming van sensitiewe data te versterk.

Die gesondheidsorgmetaversum ervaar groei in verskeie sektore en bied 'n veelheid van vooruitsigte (Chengoden *et al.*, 2023). Dit gebruik die jongste tegnologie, soos KI, VR, GR, die internet van dinge, die intelligente wolk, samewerkende robotika, randrekenaarkunde en kwantumrekenaars om gesondheidsorg te transformeer en uitsonderlike ervarings te bied. Om 'n akkurate omskrywing van die gesondheidsorgmetaversum te verskaf, moet 'n mens VR/GR-brille insluit, wat deur die internet van mediese/gesondheidsdinge gefasiliteer word (Damar, 2022). Geougmenteerde realiteit gebruik visuele komponente en grafiese karakters om die fisiese wêreld te verander, wat gebruikers in staat stel om hul driedimensionele omgewing te sien deur gebruik te maak van GR-toestelle, soos slimbrille. VR-tegnologie skep 'n ten volle rekenaargegenereerde virtuele omgewing waarmee gebruikers interaksie kan hê, deur gebruik te maak van VR-kopstukke, -handskoene, -kontroles en ander digitale sensors. Geougmenteerde realiteit is 'n tegnologie wat 'n interaktiewe omgewing skep deur virtuele voorwerpe op 'n werklike plek in 2D of 3D te plaas, soos uitgelig deur Javaid en Haleem (2020).

As gevolg van die vatbaarheid van gesondheidsorg en mediese data vir diefstal, meestal omdat dit op gesentraliseerde bedieners gestoor word, het diensverskaffers die noodsaaklikheid daarvan ingesien om 'n sterk en veilige gesondheidsdiagnostiese platform te skep om die toenemende getalle van sulke gebeurtenisse te bekamp. Daar is 'n aansienlike hoeveelheid werk wat gedoen moet word. Ingesluit in hierdie spesifieke paradigma toon die gesondheidsorgmetaversum reeds aansienlike voordele op die gebied van digitale gesondheidsorg, aangesien dit VR- en GR-tegnologie gebruik om mediese toepassings en dienste te verbeter. Dit word bewerkstellig deur gebruik te maak van haptiese sensors en 3-D-interaksie (Azodo *et al.*, 2020).

Die gesondheidsorgmetaversum bied talle wesenlike voordele wat die vermoë het om 'n fundamentele revolusie in die gesondheidsorgsektor teweeg te bring, soos in mediese opleiding en onderwys. Diensverskaffers het suksesvolle interaksie met pasiënte en klinici op 'n afstand om mediese toestande gesamentlik te diagnoseer, die doeltreffendheid van 'n aanbevole behandeling te versterk en verpersoonlike tegnologieë soos VR, GR, telegeneeskundeplatforms en ander pasgemaakte tegnologieë vir verbeterde diagnose te benut (Hartasanchez *et*

al., 2022). Die benutting van die gevolglike tegnologieë en benaderings kan doeltreffende interaksie tussen diensverskaffers en pasiënte in die gesondheidsorgmetaversum fasiliteer. Pasiënte gebruik VR-kopstukke en GR-brille om 'n virtuele kliniek binne die metaversum binne te gaan, waar hulle 'n dokter vir mediese leiding kan raadpleeg.

Intydse afstandbegeleiding en -interaksie in GR en VR

GR en VR laat chirurgie toe om driedimensionele (3-D-) voorstellings van 'n pasiënt se skeletbene en organe waar te neem. Hierdie tegnologie vergemaklik die noukeurige organisering en akkurate implementering van chirurgiese prosedures deur 'n presiese voorstelling van die liggaam se anatomie te voorsien. AccuVein is 'n gevorderde toestel wat die vermoë van gesondheidsorgpersoneel verbeter om are op te spoor, wat lei tot minder ongemak en verbeterde akkuraatheid wanneer naalde in are ingestek word. Die InnerOptic-program help om abnormaliteite in die menslike liggaam op te spoor, die grootte van gewasse te meet, die vordering van siektes te monitor en die respons op behandeling te voorspel. InnerOptic bied presiese kategorisering van organe en weefsels, wat deeglike beelding van die menslike liggaam moontlik maak. Mediese studente en opleidings kan 'n deeglike begrip van menslike fisiologie kry deur interaktiewe holografiese voorstellings binne die gesondheidsorgmetaversum te benut (Song & Qin, 2022).

Gefedereerde leer van die gesondheidsorgmetaversum

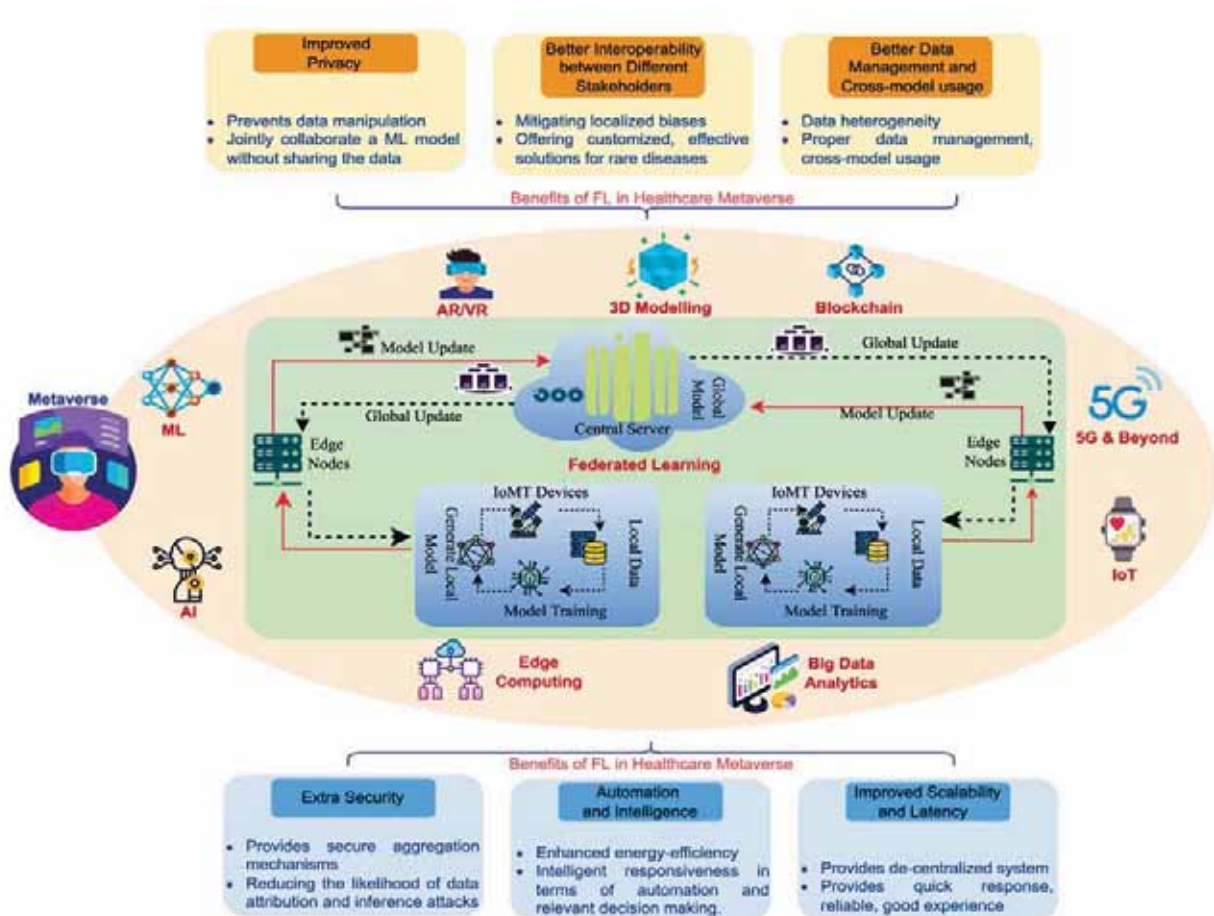
Die primêre veiligheidshindernisse in die gesondheidsorgmetaversumomgewing sluit gebruikersidentiteitvervalsing en inbreek op rekeninge in, wat lei tot die ongemagtigde oornames van die avatar deur buitstanders. In die konteks van 'n gesondheidsorgmetaversum is dit van kardinale belang om te verhoed dat indringers toegang verkry tot data wat van hospitale, pasiënte en ander gesondheidsorgverskaffers versamel is en dit eksploiteer. Data kan gemanipuleer word om siektediagnoses en besluite wat met medisyne verband hou te verander. Die gebruik van gefedereerde leer soos weergegee in Figuur 1, help na bewering deur veilige die aggregeer algoritmes daarvan aan te wend om die vertroulikheid van opdaterings op randtoestelle te handhaaf (Song & Qin, 2022). Daarbenewens word die ware waarde of oorsprong van modelopdaterings beskerm deur die waarskynlikheid van datatoeskrywing en inmengingsaanvalle te minimaliseer. Gefedereerde leermetodes kan addisionele sekuriteit verskaf in die outomatisering en kognitiewe vermoëns van die gesondheidsorgmetaversum.

Die gesondheidsorgmetaversum fasiliteer die lewering van mediese dienste van hoë gehalte aan pasiënte, en voorkom vorige uitdagings wat deur geografiese beperkings gestel is. As gevolg van die vordering wat gemaak is met groot instaatstellende tegnologieë soos GR/VR, KI, digitale tweelingskepping (DT) en blokkettings kan outomatisering nou op verskeie gesondheidsorggebiede binne die metaversum geïmplementeer word (Bashir *et al.*, 2023).

Revolusionêre vooruitgang: intelligente brille

Soos in Figuur 2 getoon, kombineer slimbrille die fisiese wêreld naatloos met virtuele data wat op 'n gebruiker se gesigsveld gesuperponeer of daarin geïnkorporeer word. Die belangrikste voorbeelde sluit in Google Glass, Elbit/EverySight Raptor, Microsoft HoloLens en Epson Moverio. Slimbrille gebruik baie sensors, soos GPS, mikrofone en kameras, om die gebruiker se omgewing te ontleed en 'n begrip daarvan te vorm (Dulishkovych *et al.*, geen datum nie).

Die integrasie van virtuele inligting deur middel van internettegnologieë op mobiele toestelle kan 'n gebruiker se ervaring van die werklike wêreld verbeter. Google Glass sluit byvoorbeeld 'n prisma in wat voor die gebruiker se oog geplaas word. Slimbrille bied 'n reeks beheeropsies, waaronder spraakherkenning, raakpaneel- (touchpad) invoer op die toestel, kopbeweging of virtuele skerms (bv. holografiese knoppies), waartoe toegang deur eksterne toestelle soos slimfone verkry kan word (Kim & Choi, 2021).



Figuur 1: Voordele van die gebruik van gefedereerde leer in die gesondheidsorgmetaversum [oorspronklike figuur in Engels en so behou] (Bashir *et al.*, 2023)



Figuur 2: Voorbeeld van 'n slimbril

Verbetering van kommunikasie en data-toegang deur die aanwending van slimbrille in die gesondheidsorgstelsel

In hierdie studie erken die artikels waarvan 'n oorsig gedoen is die potensiaal van hierdie baanbrekertegnologie, maar beklemtoon ook verskeie struikelblokke wat die hoof gebied moet word voordat dit wyd in komplekse gesondheidsorgstelsels in gebruik geneem kan word (Zhang *et al.*, 2023). Hierdie uitdagings hou hoofsaaklik verband met datasekureit, gebruikersopleiding en aanvaarding van die tegnologie. Eksplisiete protokolle moet daargestel word om die veilige inkorporering van slimbrille in die transformerende gesondheidsorgbedryf te verseker.

Invloed op pasiëntsorg

Verbetering van diagnose en behandeling deur die gebruik van intelligente brille

'n Studie deur Bui *et al.* (2021) noem dat slimbrille geïmplementeer is as 'n ingryping by drie gesondheidsklinieke wat in landelike gebiede geleë is. Regdeur die projek is slimbrille telkens tydens gesondheidsentrumkonsultasies vir telegeneeskunde aangewend. Individue wat betrokke was, was meestal gesondheidswerkers wat in hospitale gewerk en leiding, diagnose en behandeling vir kuratiewe konsultasies gebied het. In die loop van die studie was daar 'n beduidende toename in die gebruik van slimbrille vir buitepasiëntkonsultasies by die drie landelike gesondheidsinstellings. Die toename in belangstelling was hoofsaaklik te wyte aan die passie vir en die nuuskierigheid wat deur die uitreikprogramme gegenereer is, wat daarop gemik was om die gemeenskap oor die projek op te voed. Ná 'n paar maande het die getal konsultasies gestabiliseer, hoewel dit hoog gebly en 'n styging vergeleke met die tydperk voor die inisiatief getoon het (Diaka *et al.*, 2021).

Gebruikerservaring en opleiding van gesondheidswerkers in die gebruik van slimbrille

Gesondheidsorgpersoneel het soms 'n gebrek aan ervaring met nuwe tegnologieë, maar hulle kan geleer word hoe om slimbrille effektief te gebruik (Popov *et al.*, 2022). Die kliniese voorbeelde wat gebruik word, behoort 'n beduidende vlak van tevredenheid te illustreer. Wanneer gesondheidsorgpersoneel in die gebruik van slimbrille opgelei word, is dit noodsaaklik om tekens van subjektiewe en/of objektiewe sentiment van angs of bekommernis te monitor.

Daar was oorwegend goeie konsensus oor die gerief van slimbrille (Herz & Rauschnabel, 2019). Een uitdaging om die gebruik van slimbrille sonder haakplekke te inkorporeer was dat sommige gesondheidsorgpersoneel 'n voorskryfbril gedra het, maar dit kon oorkom word.

Om aanvaarding te vergemaklik, kan 'n slimbril gebruik word om die proses van die verkryging van kennis en vaardighede te demonstreer. Gevolglik moet verskeie toetsenscenario's geïmplementeer word om slimbrille se voordele te illustreer wanneer daar na werklike situasies oorgeskakel word, soos uitgelig deur Caria *et al.* (2020).

In hierdie navorsingstudie illustreer Figuur 3 'n gesondheidswerker (verpleegster) wat 'n slimbril dra wat vir konsultasie en pasiëntveiligheid gebruik word. Slimbrille word aanbeveel as 'n aanvulling van bestaande moniteringstoerusting en pasiëntroetines, byvoorbeeld wanneer pasiënte roetineondersoeke vir 'n siekte soos hipertensie ondergaan. Benewens konsultasies in gesondheidsorg, word slimbrille ook gebruik vir opleiding van gesondheidsorgpersoneel. Die behoefte aan gebruikersopleiding in komplekse gesondheidsorgomgewings vir die suksesvolle integrasie van slimbrille is belangrik, aangesien dit bydra tot die voorsiening van hoëgehaltebehandeling en pasiëntveiligheid (Romare *et al.*, 2022).



Figuur 3: 'n Gesondheidswerker wat besig is om 'n slimbril te gebruik

Metodes

'n Sistematiese literatuuroorsig (SLR) is 'n metode wat gevolg word om alle bestaande navorsing wat verband hou met 'n spesifieke navorsingsvraag, onderwerpgebied of verskynsel van belang te ontdek, te evalueer en te ontleed (Mutunhu et al., 2024). Aanvanklik is navorsingsvrae (NV's) geformuleer om die bestaande navorsing oor slimbrille te ondersoek. Die tweede fase het die skepping behels van 'n soekstrategie om artikels te versamel wat geskikte antwoorde op die navorsingsvrae kan bied. Die derde stap het drie kriteria gestel, afgesien van die eerste fase, om studies te kies wat geskik is vir hierdie navorsing. Tydens die vierde fase is die opsommings van die gekose referate hersien om te bepaal of die navorsing relevante inligting kon bied wat met die doelstellings van die studie verband gehou het. Die studie het ten doel gehad om die volgende drie navorsingsvrae te hanteer:

- NV1 Watisdieuitwerkingoppasiëntsorgvandieinkorporering van slimbrille in gesondheidsorgomgewings, wat aspekte soos diagnose, behandeling en algehele tevredenheid omvat?
- NV2 Wat is die impak van slimbrille op infeksiebestuur en die potensiele vermindering van kruiskontaminasie in gesondheidsorgfasiliteite?
- NV3 Wat is die verskillende strategieë wat aangewend kan word om die aanvaarding en gebruik van slimbrille onder gesondheidsorgpersoneel in die gesondheidsorgstelsel te bevorder?

Om die jongste navorsing oor die gebruik van slimbrille in VR en GR in die gesondheidsorgmetaversum te begryp, is 'n navorsingsvraag spesifiek vir hierdie studie geformuleer. NV1 toon die huidige navorsingstatus deur die uitwerking op pasiënte van die inkorporering van slimbrille in gesondheidsorgomgewings deur hul algehele tevredenheid te identifiseer, wat aspekte behels het soos die hantering van kwessies soos diagnose, pasiëntbehandeling en kwaliteit van dienste wat gelewer word. NV2 het die impak van slimbrille op die opsporing en bestuur van infeksie bepaal terwyl kruiskontaminasie in gesondheidsorgfasiliteite verminder is. Laastens het NV3 verskeie strategieë ondersoek wat aangewend kan word om die aanvaarding en gebruik van slimbrille deur gesondheidswerkers in die gesondheidsorgstelsel te bevorder.

Soekmetodes

Die navorsers het die voorgenoemde soekfrases gebruik om 'n oorsig van die onderwerp te doen, met die fokus op navorsing wat met slimbrille verband hou (Klinker, Wiesche & Krcmar, 2020; Özdemir-Güngöret al., 2020). Die Engelse sleutelwoorde wat gebruik is, was "smart glasses", "virtual reality and 'augmented reality' in health care" en "metaverse." In hierdie navorsing is die drie mees algemene soekenjins gebruik, naamlik PubMed, Google Scholar en Web of Science. Hierdie soektog was gemik op die gepubliseerde artikels van 1 Januarie

2019 tot Desember 2023. Die fokus op nuwe gebruike van slimbrille vir VR en GR het 28 oorsigartikels opgelewer.

Seleksiekriteria

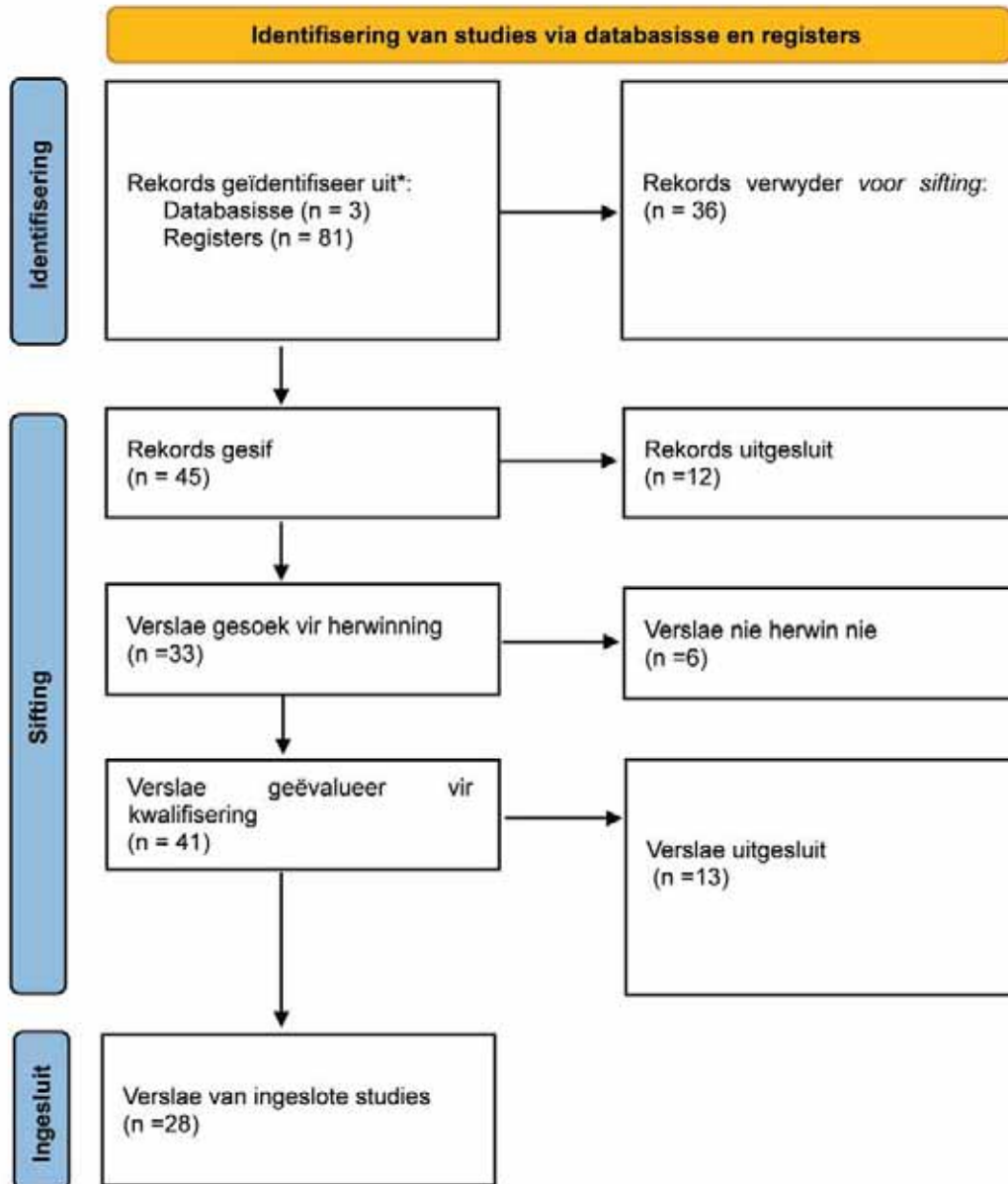
Die navorsing het die seleksiekriteria gebruik om daardie studies wat nie toepaslik was nie, uit te skakel. Engels is as algemene taal gebruik om na konferensieaanbiedings, gepubliseerde boeke en geakkrediteerde tydskrifartikels te soek. Ander tale is nie vir die soekfrase oorweeg nie, weens die moeilikheid om inligting te assimileer in tale wat nie deur die outeurs gepraat word nie. Deur hierdie filterproses het die navorser ontdek dat sommige van die studies op ander gesondheidsorgtegnologieë gebaseer is, soos telegeneeskunde in die besonder, terwyl sommige slegs op VR-beelding gefokus het. Sulke studies was nie geskik vir hierdie studie nie en is uitgeskakel. Die drie relevante soekitems, naamlik slimbrille, VR en gesondheidsorgmetaversum, is gevind. Sommige meta-versum-onderwerpe was van algemene relevansie in ander studieverdele, maar is ook vir hierdie studie oorweeg omdat daar algemene lesse daaruit te leer was. Die meeste referate in die oorsig is uitgesluit omdat hulle te wyd was en oor veelvuldige produkte gehandel het, asook om verskeie ander redes. Dit alles het uiteindelik 28 referate opgelewer wat direk op die studie van toepassing was, soos aangebied in Figuur 4 (gebaseer op die PRISMA-benadering).

Resultate

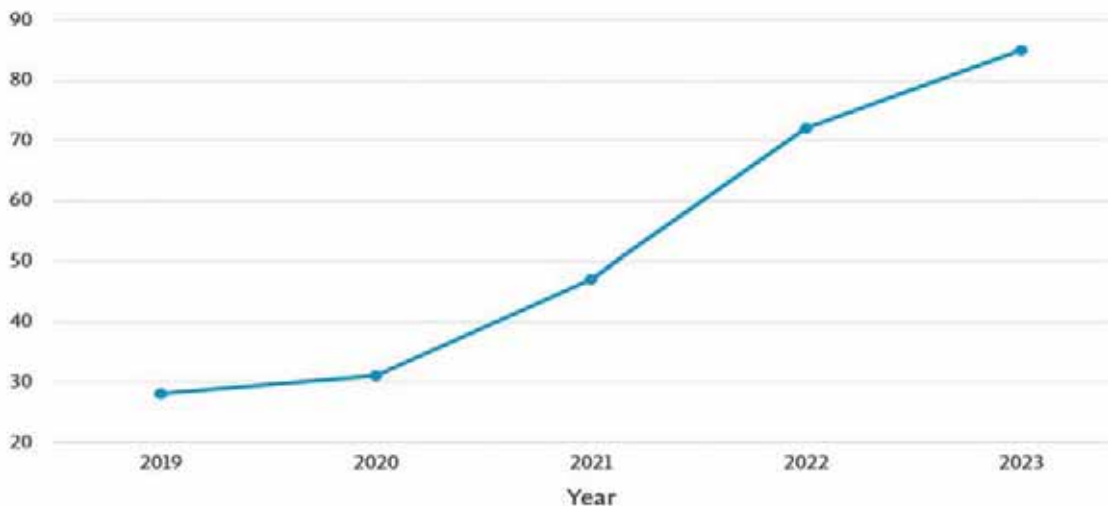
Die jaarlikse navorsingspublikasiekoers oor die onderwerpe van VR en GR in gesondheidsorg is bestudeer om neigings te bepaal. Hierdie studie het bevind dat in die konteks van die gesondheidsorgmetaversum, waar studies kognitiewe behandeling en rehabilitasiedienste geïntegreer het, 'n nuwe era besig was om aan te breek. Figuur 5 toon die getal referate wat oor die vyfjaar tydperk van Januarie 2019 tot Desember 2023 gepubliseer is. Navorsing oor VR oor die algemeen het gegroei, en nog meer so oor VR in gesondheidsorg, met 'n bestendige toename gedurende hierdie tydperk (Rojas-Sánchez et al., 2023). Altesaam 263 artikels is oor VR en GR gepubliseer, wat die voortdurende ontwikkeling op hierdie gebiede illustreer. 'n Totaal van 81 referate is vir moontlike relevansie vir die studie geselekteer. 'n Kriterium is gestel dat publikasie binne die vyf jaar van Januarie 2019 tot Desember 2023 moes plaasgevind het. Van die 45 referate wat oorgebly het, was vyf duplikate, 12 is op ander gronde uitgesluit, en die oorblywende 28 is geselekteer.

Bespreking

Die gesondheidsorgmetaversum het die potensiaal om pasiëntkwessies op te los, terwyl dit gesondheidsorgwerkers in staat stel om met gevorderde tegnologie, soos slimbrille, te kommunikeer. GR en VR word gebruik vir die gesimuleerde omgewing om hierdie toepassing van tegnologie in staat te stel om met die virtuele 3D-wêreld te kommunikeer. Dit word gedoen deur middel van die gesimuleerde skerm om die 3D-omgewing waar te neem en daarin betrokke te raak (Javaid



Figuur 4: PRISMA-benadering toegepas



Figuur 5: Grafiek van toename in publikasie oor die betrokke jare

& Haleem, 2020). Daarom ontwikkel en implementeer professionele gesondheidswerkers die tegnologie in opleiding, wat dit moontlik maak om diagnose of virtuele behandeling met gebruik van die slimbril op pasiënte uit te voer (Bhugaonkar et al., 2022). Die VR-toepassing word gebruik om die opleidingsproses te bespoedig omdat daar niks is waarvoor gebruikers hoef bang te wees of wat vir hulle gevaar inhou nie. Hierbenewens word dit ook in die werklike mediese veld gebruik om 'n verskeidenheid siektetoestande te behandel. Hierdie tegnologie is van kardinale belang om die doeltreffendheid van die mediese bedryf te verbeter (Dulishkovych et al., geen datum nie). Verder is dit 'n voordelige en funksionele tegnologie wat leerder- en pasiëntgerief verbeter. VR en GR bly tegnologie wat van deurslaggewende belang in die ontwikkelingsproses is, waarin daar van doelgemaakte en gesofistikeerde programmatuur en apparatuur gebruik gemaak word.

Die resultate van die studie het getoon dat slimbrille baie suksesvol was om die deel van inligting en visuele kommunikasie tussen mediese spanne wat op verskillende plekke geleë was te fasiliteer. Verder het die navorsingsonderzoek die spesifieke doelwit van die nodige behandeling gedefinieer en pertinente agtergrondinligting versamel. Uiteenlopende apparatuur- en programmatuurtegnieke word aangewend om gesimuleerde 3D-data te produseer, wat uitloop op die vorming van 'n virtuele 3D-omgewing (Dean et al., 2020). Die nodige mediese data word presies geproduseer en geïdentifiseer in 'n VR-omgewing deur die mees doeltreffende tegniek te benut (Chang et al., 2022). Hierdie prosedure word aangewend om behandeling te formuleer en uiteindelik die uitvoering van die werklike operasie te vergemaklik. VR is noodsaaklik om die doeltreffendheid van die mediese veld te verbeter. Hierdie tegnologie word tans aangewend om spiëre, senuwees, vel, bene en bloedvate te ondersoek. Mediese studente kan nou in effek 'n rekord van 'n pasiënt se inligting opstel en uiteenlopende mediese toestande evalueer (Azodo et al., 2020). Die tegnologie verbeter byvoorbeeld die ervaring van knieartroskopies-opleiding. Dit word ook aangewend om 'n chirurg se vaardigheid te evalueer en te ontleed. Die literatuurstudie het op die jaar van die studie, die sleutelwoorde, metodologie, gevolgtrekkings en leemtes in die navorsing gekonsentreer ten einde die navorsingsbevindinge op te som.

Opsommend het hierdie studie bevind dat VR 'n ontwikkelende driedimensionele rekenaartegnologie is wat toepassing vind in 'n wye verskeidenheid mediese prosedures en terapieë. VR word byvoorbeeld in kardiologie gebruik om chemoterapie toe te dien. 'n Chirurg kan nou maklik been, bloedvate en ander anatomiese strukture visualiseer. Hierdie tegnologie word vir die strategiese beplanning van diagnoses en vermindering van risiko's in ingewikkelde chirurgiese prosedures gebruik (Chang et al., 2022). Dokters kan elke behandelingsprosedure sowel as gesondheidstoestande in fyn besonderhede waarneem. Dit help om 'n pasiënt se anatomie te begryp en hartchirurgie met presisie te bepaal. Dit skep 'n virtuele 3D-omgewing vir doeltreffende interaksie (Bhugaonkar, et al., 2022). VR word ook gebruik om ongemak tydens gesondheidsorg en chirurgie te verlig. 'n Ontleding van die toepassing van VR in die mediese sektor word hier aangebied, wat die belangrike voordele

daarvan beklemtoon. Die prosedures en prosesse tydens aanneming daarvan in die mediese profesie is bespreek en ontleed (Rejeb et al., 2021).

Gevolgtrekking

Die studie se bevindinge dui daarop dat slimbrille binne die gesondheidsorgbedryf 'n lewensvatbare en doeltreffende hulpmiddel is om visuele kommunikasie en inligtinguitruiling te verbeter tussen mediese spanne wat op 'n afstand van mekaar geleë is. Ten spyte van hierdie innoverende tegnologie se beduidende potensiaal, het die navorsing waarvan 'n oorsig gedoen is sekere kwessies onderstreep wat die toepassing van slimbrille in VR en GR binne die gesondheidsorgsektor bemoeilik. Gesondheidsorgpersoneel het omvattende opleiding nodig voordat hulle VR en GR kan gebruik (Chang et al., 2022). In hierdie studie was strategiese stelselontwerp wat eindgebruikers van die begin af ingesluit het en van verbeterde en betroubare apparatuur en programmatuur gebruik gemaak het noodsaaklike aspekte om die doeltreffendheid sowel as gebruikersvriendelikheid van slimbrille vir gesondheidsorgpersoneel te verbeter. Meer gebruikergesentreerde ontwerp- en evalueringsnavorsing is nodig om die eise en persepsies van professionele mediese persone te ontleed en te evalueer, en om te identifiseer hoe om slimbriltegnologie te ontwikkel wat in hul behoeftes te voorsien. Verder is bykomende navorsing nodig om die impak van slimbrille op die werkvloei van professionele persone in gesondheidsorg in ingewikkelde versorgingsomgewings te verklaar. Dit moet ook die gesondheidsorgmetaversum in detail insluit.

ORCID

L Malungana <https://orcid.org/0000-0001-5981-6774>
B Chimbo <https://orcid.org/0000-0003-1916-0090>

Bronnelys

- Akkaş, M.A., Sokullu, R. and Ertürk Çetin, H. (2020) 'Healthcare and patient monitoring using IoT', *Internet of Things*, 11, p. 100173. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100173>.
- Azodo, I. et al. (2020) 'Opportunities and Challenges Surrounding the Use of Data From Wearable Sensor Devices in Health Care: Qualitative Interview Study', *Journal of Medical Internet Research*, 22(10), p. e19542. Available at: <https://doi.org/10.2196/19542>.
- Baashar, Y. et al. (2023) 'Towards Wearable Augmented Reality in Healthcare: A Comparative Survey and Analysis of Head-Mounted Displays', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), p. 3940. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph20053940>.
- Bashir, A.K. et al. (2023) 'Federated Learning for the Healthcare Metaverse: Concepts, Applications, Challenges, and Future Directions', *IEEE Internet of Things Journal*, 10(24), pp. 21873–21891. Available at: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3304790>.
- Bhugaonkar, K., Bhugaonkar, R. and Masne, N. (2022) 'The Trend of Metaverse and Augmented & Virtual Reality Extending to the Healthcare System', *Cureus [Preprint]*. Available at: <https://doi.org/10.7759/cureus.29071>.
- Bibri, S.E. and Jagatheesaperumal, S.K. (2023) 'Harnessing the Potential of the Metaverse and Artificial Intelligence for the Internet of City Things: Cost-Effective XReality and Synergistic AIoT Technologies', *Smart Cities*, 6(5), pp. 2397–2429. Available at: <https://doi.org/10.3390/smartcities6050109>.
- Bui, D.T., Barnett, T., Hoang, H.T. and Chinthammit, W., 2021. Tele-mentoring using augmented reality technology in healthcare: A systematic review. *Australasian Journal of Educational Technology*, 37(4), pp.68-88.
- Butpheng, C., Yeh, K.-H. and Xiong, H. (2020) 'Security and Privacy in IoT-Cloud-Based e-Health Systems—A Comprehensive Review', *Symmetry*, 12(7), p. 1191. Available at: <https://doi.org/10.3390/sym12071191>.

- Chang, C.-Y. et al. (2022) 'Effects of spherical video-based virtual reality on nursing students' learning performance in childbirth education training', *Interactive Learning Environments*, 30(3), pp. 400–416. Available at: <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1661854>.
- Chengoden, R. et al. (2023) 'Metaverse for Healthcare: A Survey on Potential Applications, Challenges and Future Directions', *IEEE Access*, 11, pp. 12765–12795. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3241628>.
- Cilliers, L. (2020) 'Wearable devices in healthcare: Privacy and information security issues', *Health Information Management Journal*, 49(2–3), pp. 150–156. Available at: <https://doi.org/10.1177/1833358319851684>.
- Caria, M., Todde, G., Sara, G., Piras, M. and Pazzona, A., 2020. Performance and usability of smartglasses for augmented reality in precision livestock farming operations. *Applied Sciences*, 10(7), p.2318.
- Damar, M. (2022) 'What the Literature on Medicine, Nursing, Public Health, Midwifery, and Dentistry Reveals: An Overview of the Rapidly Approaching Metaverse', *Journal of Metaverse*, 2(2), pp. 62–70. Available at: <https://doi.org/10.57019/jmv.1132962>.
- Dean, S. et al. (2020) 'nursing education, virtual reality and empathy?', *Nursing Open*, 7(6), pp. 2056–2059. Available at: <https://doi.org/10.1002/nop2.551>.
- Diaka, J. et al. (2021) 'Leveraging smart glasses for telemedicine to improve primary healthcare services and referrals in a remote rural district, Kingandu, DRC, 2019–2020', *Global Health Action*, 14(1), p. 2004729. Available at: <https://doi.org/10.1080/16549716.2021.2004729>.
- Dulishkovych, O. et al. (no date) 'Business Process Management of Virtual Enterprise based on Augmented Reality'.
- Habibzadeh, H. et al. (2020) 'A Survey of Healthcare Internet of Things (HIoT): A Clinical Perspective', *IEEE Internet of Things Journal*, 7(1), pp. 53–71. Available at: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2946359>.
- Hartasanchez, S.A. et al. (2022) 'Remote shared decision making through telemedicine: A systematic review of the literature', *Patient Education and Counseling*, 105(2), pp. 356–365. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pec.2021.06.012>.
- Herz, M. and Rauschnabel, P.A., 2019. Understanding the diffusion of virtual reality glasses: The role of media, fashion and technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 138, pp.228–242.
- Javaid, M. and Haleem, A. (2020) 'Virtual reality applications toward medical field', *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8(2), pp. 600–605. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.010>.
- Kadem, M. et al. (2023) 'Hemodynamic Modeling, Medical Imaging, and Machine Learning and Their Applications to Cardiovascular Interventions', *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 16, pp. 403–423. Available at: <https://doi.org/10.1109/RBME.2022.3142058>.
- Kim, D. and Choi, Y. (2021) 'Applications of Smart Glasses in Applied Sciences: A Systematic Review', *Applied Sciences*, 11(11), p. 4956. Available at: <https://doi.org/10.3390/app11114956>.
- Klinker, K., Wiesche, M. and Krcmar, H., 2020. Smart glasses in health care: A patient trust perspective.
- Mafabi, S. et al. (2017) 'The mediation role of intention in knowledge sharing behavior', *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, 47(2), pp. 172–193. Available at: <https://doi.org/10.1108/VJKMS-02-2016-0008>.
- Mutunhu, B., Chipangura, B. and Singh, S., 2024. Towards a quantified-self technology conceptual framework for monitoring diabetes. *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*, 43(1), pp.69-84.
- Pramanik, P.K.D. et al. (2020) 'Advancing Modern Healthcare With Nanotechnology, Nanobiosensors, and Internet of Nano Things: Taxonomies, Applications, Architecture, and Challenges', *IEEE Access*, 8, pp. 65230–65266. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2984269>.
- Özdemir-Güngör, D., Göken, M., Basoglu, N., Shaygan, A., Dabić, M. and Daim, T.U., 2020. An acceptance model for the adoption of smart glasses technology by healthcare professionals. *International Business and Emerging Economy Firms: Volume II: European and African Perspectives*, pp.163-194.
- Rathore, M.M. et al. (2021) 'The Role of AI, Machine Learning, and Big Data in Digital Twinning: A Systematic Literature Review, Challenges, and Opportunities', *IEEE Access*, 9, pp. 32030–32052. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3060863>.
- Rejeb, A. et al. (2021) 'Potentials and challenges of augmented reality smart glasses in logistics and supply chain management: a systematic literature review', *International Journal of Production Research*, 59(12), pp. 3747–3776. Available at: <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1876942>.
- Rojas-Sánchez, M.A., Palos-Sánchez, P.R. and Folgado-Fernández, J.A., 2023. Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education. *Education and Information Technologies*, 28(1), pp.155-192.
- Romare, C. et al. (2022) 'Burden of care related to monitoring patient vital signs during intensive care; a descriptive retrospective database study', *Intensive and Critical Care Nursing*, 71, p. 103213. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2022.103213>.
- Song, Y.-T. and Qin, J. (2022) 'Metaverse and Personal Healthcare', *Procedia Computer Science*, 210, pp. 189–197. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.10.136>.
- Taimoor, N. and Rehman, S. (2022) 'Reliable and Resilient AI and IoT-Based Personalised Healthcare Services: A Survey', *IEEE Access*, 10, pp. 535–563. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3137364>.
- Zhang, Z. et al. (2023) 'Smart Glasses for Supporting Distributed Care Work: Systematic Review', *JMIR Medical Informatics*, 11, p. e44161. Available at: <https://doi.org/10.2196/44161>.

Infrarooi analise van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -epilages

JAA Engelbrecht,¹ ME Lee,¹ JR Botha,² WE Goosen,¹ EG Minnaar,² V Wagener³

¹ Sentrum vir HRTEM, Nelson Mandela-universiteit, Suid-Afrika

² Departement Fisika, Nelson Mandela-universiteit, Suid-Afrika

³ Incomar Precise Aerospace Solutions, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Japie Engelbrecht **E-pos:** Japie.Engelbrecht@mandela.ac.za

Die gebruik van aluminium gallium arsenied ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$) in optiese toestel toepassings vereis dat die brekingsindeks n van die ternêre legering as 'n funksie van golflengte of golfgetal en die Al-molfraksie x bekend moet wees. Infrarooi spektroskopie is gebruik om beide die bandgaping E_g en die interferensiepatrone te bepaal om die epilaagdikte van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -monsters te bereken. Twee formules wat voorgestel was om die brekingsindeks van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ te bereken, word aan die hand van die laagdikteresultate geëvalueer.

Sleutelwoorde (soektogte in Engels): $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, refractive index, FTIR, layer thickness

Infrared analysis of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ Epilayers: The use of Aluminium Gallium Arsenide ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$) in optical device applications requires knowledge of the refractive index n of the ternary alloy as a function of wavelength or wavenumber and Al molar fraction x . Infrared spectroscopy was used to determine both the band gap E_g and the interference fringes to calculate the epilayer thickness of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ samples. Two formulas proposed to calculate the refractive index of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ are evaluated from the layer thickness results.

Keywords: $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, refractive index, FTIR, layer thickness

Inleiding

Legerings van aluminium gallium arsenied ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$) word gebruik in hoëspoed-, hoëfrekwensie-mikrogolfoestelle (Adachi, 1992), hoë elektronmobiliteit-transistors (HEMT) (Lenka & Panda, 2009), kwantumput-infrarooi fotodetektors (Billaha & Das, 2017) en ander elektro-optiese toestelle. Die brekingsindeks van die legering van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ wat benut word, moet bekend wees om die spesifieke toestelle met gegewe optiese eienskappe te kan ontwerp.

Die huidige artikel rapporteer 'n moeitelose manier om die bandgaping (E_g) en molfraksie x van ternêre $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -legerings met 'n verskillende Al-molfraksie te verkry. Resultate word dan gebruik om die dikte van die onderskeie epilages te bereken.

Teorie

Een van die vroegste besprekings van die brekingsindeks van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ was 'n semi-empiriese formulering deur Afromowitz (Afromowitz, 1974):

$$(n^2 - 1) = E_d/E_0 + E^2(E_d/E_0)^3 \quad (1)$$

waar n die brekingsindeks is en parameters E_0 en E_d gegee word aan die hand van die Al-molfraksie x as:

$$E_0 = 3,65 + 0,871x + 0,179x^2 \quad (2)$$

$$E_d = 36,1 - 2,45x \quad (3)$$

Terwyl die bandgaping E_g van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ gegee word deur:

$$E_g = 1,424 + 1,266x + 0,26x^2 \quad (4)$$

'n Metode gebaseer op die reële en denkbeeldige dele van die diëlektriese funksie $\epsilon(\omega) = n(\omega) + ik(\omega) = \epsilon_1 + i\epsilon_2$ en wat gebruik maak van die Kramers-Kronig-transformasie is deur Adachi voorgestel om die optiese konstantes te verkry, met inbegrip van die brekingsindeks (Adachi, 1985):

$$n(\lambda) = \sqrt{A_0 \left[f(x) + \frac{f(x_{s0})}{2} \left(\frac{E_0}{E_0 + \Delta_0} \right)^{\frac{3}{2}} \right]} + B_0 \quad (5)$$

met

$$f(x) = \frac{2 - \sqrt{1+x} - \sqrt{1-x}}{x^2}$$

$$x = \frac{hc}{\lambda E_0}$$

$$x_{s0} = \frac{hc}{\lambda(E_0 + \Delta_0)}$$

$$A_0 = 6,3 + 19,0x$$

$$B_0 = 9,4 - 10,2x$$

wat gepaste konstantes is aan die hand van die Al-molfraksie x .

$$E_0(x) = 1,425 + 1,155x + 0,37x^2 \text{ [eV]}$$

wat die fundamentele bandgaping is, terwyl

$$E_0(x) + \Delta_0(x) = 1,765 + 1,115x + 0,37x^2 \text{ [eV]}$$

die spinbaansplittingsenergie is, h Planck se konstante, c die spoed van lig, λ die golflengte en hc/λ die fotonenergie is.

Die bandgaping E_g van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ kan gereedelik verkry word vanaf die minimum in die infrarooirefleksiespektra (Holtz et al., 2001). Hierdie minimum of infleksiepunt is te wyte aan

die feit dat energie van die invallende infrarooi straling deur die energiegaping tussen die valensie- en geleidingsband van die materiaal geabsorbeer word. Dit lei tot 'n afname in die weerkaatste intensiteit. Die Al-molfraksie x kan dan van die gemete bandgaping E_g bereken word deur die toepaslike formule te gebruik (Adachi, 1985):

$$0 < x < 0,45 \quad E_g = 1,424 + 1,247x \quad (6)$$

$$0,45 < x < 1 \quad E_g = 1,9 + 0,125x + 0,143x^2 \quad (7)$$

Infrarooirefleksiespektra kan ook gebruik word om die epilaagdikte d van 'n monster met 'n parallelle plaatstruktuur te bereken vanaf die volgende (Reizman, 1965):

$$1/d = (2/p)[n_2/\lambda_2 - n_1/\lambda_1] \quad (8)$$

waar p die getal minima tussen golflengtes λ_1 en λ_2 en n_1 en n_2 die brekingsindeks by λ_1 en λ_2 is.

Eksperimentele Resultate

$Al_xGa_{1-x}As$ -epilagies met verskillende aluminiumkonsentrasies is voorberei met behulp van organometaaldampfase- epitaksiale neerslag (OMDFE-neerslag). 'n Bruker 80V FTIR-spektrometer is gebruik om infrarooirefleksiespektra te meet, met 'n Pike 10Spec-spieëlweerkaatsingstoestel, wat 'n byna loodregte

invalshoek op die monsters moontlik gemaak het. 'n Gemiddelde is verkry vir 50 skanderings wat by 'n resolusie van 8 cm^{-1} in die golflengtereeks van 0,5–50 eV verkry is. Die bandgaping E_g en die Al-molfraksie is dan gemeet en bereken, waarna die laagdikte van die betrokke monster bereken is.

Die resultate van die gemete bandgaping E_g , die geassosieerde Al-molfraksie x en die epilaagdiktes bereken uit die vergelykings voorgestel deur Afromowitz [4] en Adachi [5] word in Tabel I aangebied (Afromowitz, 1974; Adachi, 1985). Die bandgaping vir GaAs = 1,43 eV en dié vir AlAs = 2,16 eV. Na gelang meer Al by die legering gevoeg word, sal die bandgaping toeneem volgens Vegard se wet soos die legering al hoe meer soos AlAs word.

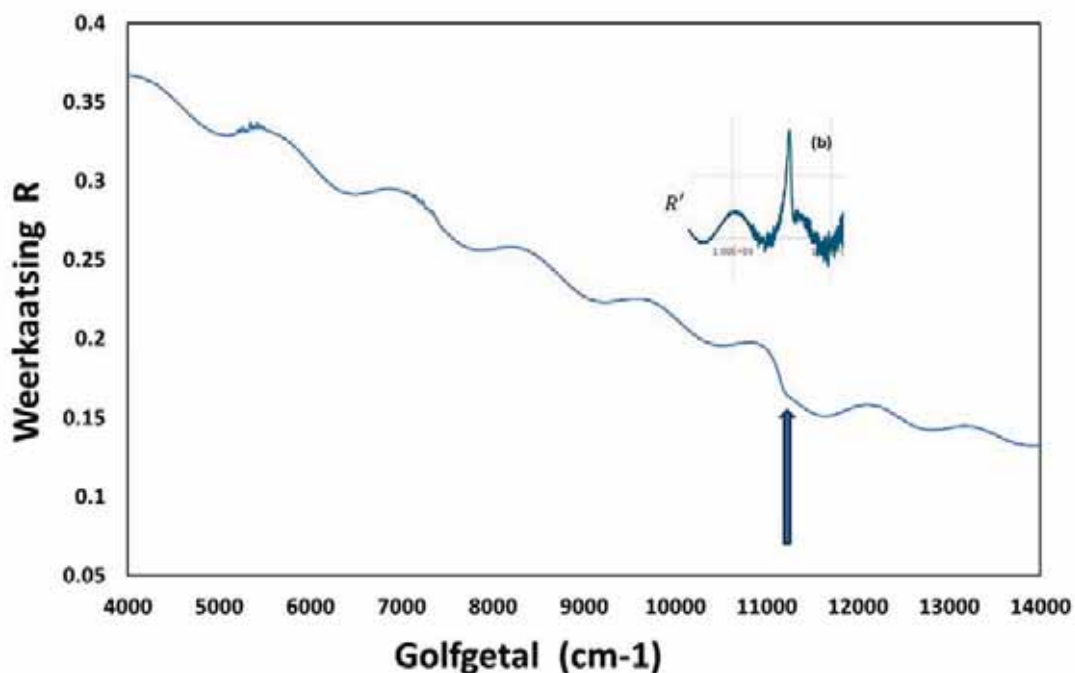
Die laagdiktes wat in Tabel I vir beide die Afromowitz- en Adachi-formulerings aangegee word, is waardes wat óf ooreenstem óf ten opsigte van die 2de desimale plek verskil, met 'n maksimum fout van ~1%. Daar kan dus tot die gevolgtrekking gekom word dat beide formules dieselfde epilaagdikte vir $Al_xGa_{1-x}As$ -legerings lewer.

Gevolgtrekkings

Die infrarooi analise van ternêre $Al_xGa_{1-x}As$ -legerings is 'n vinnige en eenvoudige tegniek wat die bepaling van bandgaping, Al-

Tabel I: Bandgapings, molfraksies en epilaagdiktes van geëvalueerde monsters

Monster	Minimum IR-refleksie (cm ⁻¹)	Bandgaping E_g (eV)	Al-molfraksie x	Laagdikte (μm)	
				Afromowitz	Adachi
A	13716,3	1,70	0,22	2,63	2,62
B	14603,8	1,81	0,31	1,06	1,06
C	15330,0	1,90	0,38	1,08	1,07
D	17264,0	2,14	0,93	0,66	0,66



Figuur 1: (a) 'n Voorbeeld van 'n infrarooirefleksiespektrum wat interferensiepatrone toon, met die pyl wat die infleksiepoint aandui waar die bandgaping E_g gemeet word, bevestig deur die eerste afgeleide in (b).

molfraksie en epilaagdiktes vanaf 'n enkele reflektansiespektrum van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -halfgeleiermonsters moontlik maak.

Erkennings

Befondsing verskaf deur die Nasionale Navorsingstigting (NNS) word met dank erken. Enige mening, bevindinge en gevolgtrekkings of aanbevelings wat in hierdie artikel uitgespreek word, is dié van die outeurs, en daarom aanvaar die NNS nie aanspreeklikheid ten opsigte daarvan nie. Nuttige gesprekke met en die verskaffing van monsters deur prof MC Wagener en dr JH O'Connell vir hulp met die eerste derivaatverwerking word erken. Die skrywers wil ook hul dank betuig teenoor prof SWP Engelbrecht vir die beskikbaarstelling van sy fasiliteite vir 'n deel van die ondersoek.

Bibliografie

- Adachi, S., 1985, GaAs, AlAs, and $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$: Material parameters for use in research and device applications, *Journal of Applied Physics* 85, R1-R29. <https://doi.org/10.1063/1.336070>.
- Adachi, S., 1992, Optical properties, "Physical properties of III-V semiconductor compounds", John Wiley and Sons NY, Chapter 8. <https://doi.org/10.1002/352760281X>.
- Afromowitz, M.A., 1974, Refractive index of $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$, *Solid State Communications* 15, 59-63. [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(74\)90014-3](https://doi.org/10.1016/0038-1098(74)90014-3).
- Billaha, A., Das, M.K., 2017, Influence of doping on the performance of GaAs/AlGaAs QWIP for long wavelength applications, *Opto-Electronic Review* 24, 25-33. <https://doi.org/10.1515/oere-2016-0006>.
- Holtz, M., Prokofyeva, T., Seon, M., et al., 2001, Composition dependence of the optical phonon energies in hexagonal $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, *Journal of Applied Physics* 89, 7977-7982. <https://doi.org/10.1063/1.1372661>.
- Lenka, T.R., Panda, A.K., 2009, Characteristics study of modulation doped GaAs/ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ based pseudomorphic HEMT, *International Journal of Recent Trends in Engineering* 1, 186-190.
- Reizmann, F., 1965, Optical thickness measurement of thin transparent films on silicon, *Journal of Applied Physics* 36, 3804-3807. <https://doi.org/10.1063/1.1713951>.

Geïntegreerde raamwerk vir gesondheidsorgpraktisyns se werklike kennisdelingsgedrag

L Malungana, L Motsi

Universiteit van Suid-Afrika, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: L Malungana **E-pos:** emalul1@unisa.ac.za

Agtergrond: Die mees doeltreffende ondersteuning vir kennisgedrag word nie goed in gesondheidsorgorganisasies verstaan nie. Daarom is dit noodsaaklik om die faktore wat kennisdelingsgedrag beïnvloed te ondersoek.

Doel: Die doel van die studie is dus om 'n konseptuele model te ontwikkel wat die werklike kennisdelingsgedrag onder gesondheidsorgpraktisyns in openbare gesondheidsorginstellings identifiseer.

Omgeving: Dr. George Mukhari-hospitaal, 'n akademiese hospitaal en 'n tersiêre opleidingsfasiliteit, ongeveer 30 kilometer noord van Tshwane (Pretoria), was die terrein van die studie. Dit funksioneer as die Sefako Makgatho-Universiteit vir Gesondheidswetenskap se opleidingshospitaal vir studente wat gesondheidswetenskappe studeer.

Metode: Data vir die studie is ingesamel deur 'n kwantitatiewe metodologie, naamlik 'n meningsopname. Data-analise is gedoen met behulp van die Parsiële Kleinste Kwadrate- en Strukturele Vergelykingsmodel-benaderings.

Resultate: Organisasiekultuur, organisasiestruktuur en inligtingskommunikasietegnologieë word sterk en positief geassosieer met werklike kennisdelingsgedrag, wat sewe van die hipoteses bevestig het (H1, H2, H3, H5, H6, H7, H8), wat gevolglik aanvaar is. H4 en H9 is verwerp omdat daar geen beduidende verband tussen kennisdelingsgedrag en waargenome organisasiesteun was nie.

Gevolgtrekking: Organisasiekultuur, organisasiestruktuur en inligtingskommunikasietegnologie het almal 'n sterk en positiewe korrelasie met die werklike gedrag van kennisdeling.

Sleutelwoorde: organisasiekultuur, organisasiestruktuur, gesondheidsorgpersoneel, elektroniese gesondheidsrekords, kennisdeling, werklike kennisdelingsgedrag, pasiënte.

Integrated framework for healthcare practitioners' actual knowledge-sharing behaviour:

Background: The most effective support for knowledge behaviours is not well understood in healthcare organisations. Therefore, it is essential to examine the factors that influence knowledge-sharing behaviours.

Aim: The study's goal is therefore to develop a conceptual model that identifies the actual knowledge-sharing behaviour among healthcare practitioners in public healthcare institutions.

Setting: Dr George Mukhari Hospital, an Academic Hospital and a tertiary training medical facility situated approximately 30 kilometres to the north of Tshwane (Pretoria), was the site of the study. It functions as Sefako Makgatho Health Science University's training hospital for students studying health sciences.

Method: Data for the study were gathered by a quantitative methodology, namely a survey. Data analysis was done using the Partial Least Squares and Structural Equation Model approaches.

Results: Organisational culture, organisational structure and information communication technologies are strongly and positively associated with actual knowledge-sharing behaviour, which confirmed seven of the hypotheses (H1, H2, H3, H5, H6, H7, H8), which were consequently accepted. H4 and H9 were rejected because there was no significant relationship between knowledge-sharing conduct and perceived organisational support.

Conclusion: Organisational culture, organisational structure and information communication technology all have a strong and positive correlation with the actual behaviour of knowledge sharing.

Keywords: organisational culture, organisational structure, healthcare professionals, electronic health records, knowledge sharing, actual knowledge-sharing behaviour, patients.

Inleiding

Gesondheidsorgorganisasies word as kennisintensiewe organisasies beskou, aangesien 'n groot getal klinici met spesialis-kennis daar in diens is. Die definisie en voorvereiste van professionaliteit is hul voortdurende tegniese en kennisopgradering, wat van kritieke belang is om die kaliber van gesondheidsorgdienste te verhoog, die voorkoms van mediese foute te verminder en pasiëntsorg te verbeter (Yuan & Ma, 2022). Kennisdeling is die proses van voortdurende uitruil van inligting tussen mense, groepe en organisasies via kanale vir kennisuitruiling (Kipkosgei et al., 2020; Jiang & Chen, 2021). Aangesien kennis dikwels deur 'n individu of groep individue besit word, is die verspreiding van kritieke kennis deur personelede 'n kritieke faktor in die doeltreffendheid van kennisbestuursprogramme. Volgens MamoMulate en Gojeh (2020a) en MamoMulate en Gojeh (2020b) kan die gebruik van kennisbestuurstegnieke die standaard van sorg verhoog. Daar word algemeen aanvaar dat die verbetering van pasiëntsorg kennisdeling tussen mediese beroepslui vereis.

Om inligtinguitruiling in die gesondheidsorgsektor te bevorder, moet 'n geskikte raamwerk vir kennisbestuur gevestig word. In die besonder moet hierdie raamwerk verseker dat kennis op 'n verstaanbare wyse gekommunikeer word in plaas daarvan om in die gedagtes van kundiges weggesluit te word. 'n Groeiende getal mediese beroepslui glo dat die ondersteuning van die hele verskeidenheid kennisvereistes dwarsdeur die mediese proses noodsaaklik is (MamoMulate & Gojeh, 2020a; MamoMulate & Gojeh, 2020b). Verder is die kritieke belangrikheid van kennisdeling in die voorsiening van gesondheidsorg ondub-belsinnig in 'n oorvloed van vorige studies gedemonstreer, ongeag of die omgewing openbaar of privaat was (Demsash, Chakilu & Mazengia, 2021). Hierdie praktyk van kennisdeling het die potensiaal om 'n meer fundamentele sin van aanspreeklikheid te kweek in die beplanning, besluitneming en voorsiening van 'n diverse verskeidenheid dienste (MamoMulate & Gojeh, 2020a).

Volgens studies is daar 'n beduidende verband tussen mediese foute soos verkeerde diagnose, verkeerde voorskrifte, verkeerde behandelings en swak kennisdelingspraktyke in gesondheidsorgfasiliteite. Hierdie foute kan lei tot verhoogde weerstand teen verskeie geneesmiddels, beserings en onverwagte sterftes (Imran et al., 2019; Pandey et al., 2021; Soualmia et al., 2021). Daarbenewens het mediese foute 'n geweldige sielkundige impak op pasiënte sowel as gesondheidsorgverskaffers, wat lei tot gevoelens van berou, ontoereikendheid, hartseer en selfmoordgedagtes (Rodziewicz et al., 2021). Om die gaping te vul, het gesondheidsinligtingstelsels (GIS) pasiëntdatabestuur getransformeer en gesondheidsorg totaal hervorm, wat gelei het tot verbeterde sorg en 'n afname in die frekwensie van nadelige pasiëntuitkomst (Astier et al., 2020; Rudin et al., 2020). Hierdie stelsels het ondoeltreffende fisiese rekords vervang en 'n nuwe era van sistematiese databestuur bekendgestel, wat die eenvoudige toegang tot pasiëntinligting vir 'n diverse verskeidenheid gesondheidsorgbedrywighede en -navorsing vergemaklik. Elektroniese gesondheidsrekords, databasisse en registers is gesondheidsinligtingsinstrumente wat onontbeerlik

geword het. Boonop bied hierdie instrumente of tegnologieë 'n verskeidenheid voordele, soos verbeterde operasionele doeltreffendheid, verminderde mediese foute, verbeterde besluitneming en ontwikkelings in pasiëntsorg (Wood et al., 2021).

Werklike kennisdelingsgedrag is as die afhanklike veranderlike in hierdie studie gekies in 'n poging om die opgespoorde gaping te oorbrug, soos getoon in Figuur 1. Dus is die fokus van hierdie studie, in ooreenstemming met vorige navorsing oor inligtingsdeling, op werklike kennisdelingsgedrag (Brooke et al., 2017; Fullwood et al., 2018). Die Tegnologie-Organisasie-Omgewing- (TOO-) raamwerk en die Teorie van Beplande Gedrag (TBG) dien as 'n teoretiese lens waardeur die voorgestelde model in hierdie navorsing die elemente bestudeer wat kennisdeling in openbare hospitale beïnvloed. Die meerderheid van hierdie navorsing het TBG- en die teorie van beredeneerde aksie- (TBA-) modelle gebruik om akademië se kennisdelingsgedrag te analiseer. Hoewel die TBG een van die mees doeltreffende toegepaste gedragsmodelle is, het navorsers nietemin die behoefte voorsien om dit met 'n paar meer veranderlikes uit te brei. Dus het hierdie studie idees gebruik wat beide standpunte kan voorsien.

Geïntegreerde model as die teoretiese raamwerk

Hierdie studie het die TBG- (Ajzen, 1991) en die TOO-raamwerk, wat deur Tornatzky en Fleischer (1990) ontwikkel is, as die teoretiese raamwerk gebruik om beter te verstaan wat gesondheidsorgpraktisyns se kennisdelingsgedrag in openbare gesondheidsorgfasiliteite beïnvloed. TBG word in hierdie studie gebruik omdat dit komponente het, soos sosiale invloed en aanvaardingsfasiliterende organisasieomgewings, wat vorige navorsing getoon het van kritieke belang is vir gesondheidsorgwerkers om GIS en verwante tegnologieë te aanvaar (Fan et al., 2021; Hsieh, 2015; Shmueli, 2021). Volgens Sutter en Paulson (2017) bestaan die teorie uit vier essensiële konstruksie: die houding teenoor gedrag, subjektiewe standaarde, waargenome gedragsbeheer en gedragsvoorneme, wat die gedragsvoorneme om te gebruik, daarstel.

In hierdie studie bepaal houding, kennisdelingsvoorneme en waargenome gedragsbeheer – alles studiekonstruksie wat uit TBG oorgeneem is – die werklike inligtingdelingsgedrag onder gesondheidsorgpraktisyns in openbare gesondheidsorgorganisasies. Die TOO-raamwerk is een van die bekendste en mees dikwels gebruikte teoretiese perspektiewe op die aanvaarding van inligtingstegnologie- (IT-) innovasie, volgens Hameed et al. (2012). Navorsers het omvattende gebruik hiervan gemaak om te bestudeer hoe verskillende innovasies, soos die gebruik van groot data in daardie situasies, deur organisasies aanvaar word (Nam et al., 2015; Agrawal, 2015; Sun et al., 2016). Die Tornatzky en Fleischer- (1990) paradigma omvat drie sleutelkontekste: tegnologie, organisasie en omgewing. Die tegnologiese en organisasiekonteks was die TOO-komponente wat gebruik is om die werklike kennisdelingsgedrag onder gesondheidsorgpraktisyns in openbare gesondheidsorgfasiliteite te bepaal. Om die verklarende vermoëns van beide modelle te ondersteun en te demonstreer, is die gekombineerde TOO- en TBG-model

ontwikkel. Figuur 1 beeld 'n konseptuele model uit wat die doelwitte van hierdie ondersoek kan verweselik. Strukturele vergelykingsmodellering (SEM) sal in die analise gebruik word om die verwantskappe tussen die konstrakte te bepaal. Daarom het hierdie studie die volgende hipoteses voorgestel:

Organisasiekultuur en werklike kennisdeling

Volgens Anning-Dorson (2021) is organisasiekultuur die omgewing waarin werknemers funksioneer, wat die raamwerk bied vir hul handeling en gedagtes, sowel as vir hulle om in te werk. Die kern van volhoubaarheidsbewustheid is kultuur (Roscoe, Subramanian, Jabbour & Chong, 2019). Volgens Lam et al. (2021) speel organisasiekultuur 'n belangrike rol in die bevordering van kennisdeling binne die maatskappy.

Die werk van Rezaei et al. (2021) en Asurakkody en Hee (2020) is onlangse studies wat 'n positiewe korrelasie tussen organisasiekultuur en kennisdeling getoon het. In 'n omgewing van wedersydse vertroue is individue geneig om kennis te deel, terwyl individue in 'n mededingende omgewing hul kennis kan opgaan om kennismag te verkry en te behou as gevolg van jaloesie en kompetisie. 'n Voordeel van sibbekultuur is dat dit die onbeperkte uitruil van kennis fasiliteer, onderlinge vertroue tussen organisasielede bevorder, individue aan mekaar verbind en met mekaar affilieer, en antisosiale norme vermy (Shateri & Hayat, 2020).

Op grond van hierdie bespreking is die volgende hipoteses gestel:

H1: Organisasiekultuur hou positief verband met werklike kennisdelingsgedrag.

H2: Organisasiekultuur hou positief verband met kennisdelingsvoornemens.

Organisasiestruktuur

Volgens Srivastava en Singh (2020) en Andersen en Plesner (2022) is daar 'n behoefte vir organisasies om hul inligting-verwerkingsvermoë te verhoog om besluitnemingsvertraging te verminder. Die poging wat aangewend word om inligting te bekom en onder andere te versprei, bepaal hoe vinnig inligting verwerk word (Andersen & Plesner, 2022). 'n Organisasiestruktuur is óf 'n span wat deur een persoon, 'n groep of verskeie mense georganiseer word om 'n gedeelde doelwit of doelwitte te bereik, óf dit is 'n stelsel wat beheer hoe take amptelik aan mense in 'n groep gegee word sodat hulle daardie doel kan bereik (Nene & Pillay, 2019). Multidissiplinêre spanne in gesondheidsorg het doeltreffendheid getoon in die verbetering van interprofessionele kommunikasie en kennisdeling tussen hospitaaleenhede, en om sodoende ongelykhede tussen departemente, spesialisasies en beroepe te verminder, waaronder die skeiding tussen klinikus en pasiënt (Grippa et al., 2018; Pereira de Souza et al., 2021; Zhang & Wang, 2021). Rezaei et al. (2021) beskryf hierdie struktuur as eenvoudig, met werknemers wat ruim geleenthede het om volle beheer oor hul daaglikse verantwoordelikhede uit te oefen en met minimale direkte toesig.

Op grond van hierdie bespreking is die volgende hipotese gestel:

H3: Organisasiestruktuur hou positief verband met kennisdelingsvoornemens.

Waargenome organisasiesteun en kennisdelingsvoornemens

Die mate waarin 'n organisasie of maatskappy werknemers ondersteun vir hul bydraes, besorgdheid toon oor hul welstand en hulle in wedersyds voordelige verhoudings met die organisasie of maatskappy betrek, staan bekend as waargenome organisasiesteun (Agustian & Fitria, 2020). Bestuurders speel 'n belangrike rol in die implementering van kennisbestuur vanweë hul vermoë om kennis binne die maatskappy te vind en te deel. Daarbenewens het verpleegbestuurders 'n beduidende impak op personeel se aanvaarding van die kennisdelingskultuur. Lynbestuurders in gesondheidsorg moet daartoe verbind wees om te verseker dat hul eenhede doeltreffend vir pasiënte funksioneer en moet 'n gesonde werkerskorps handhaaf, soos aangedui deur navorsing deur Kallman et al. (2019) en die Sweedse Maatskaplike Versekeringsagentskap (2018). Volgens 'n studie deur Lunden et al. (2021) het die helfte van die verpleegkundiges gunstige menings gehad oor die kennisbestuursverwante maatreëls wat deur hul bestuurders getref is.

Op grond van hierdie bespreking is die volgende hipotese gestel:

H4: Waargenome organisasiesteun hou positief verband met kennisdelingsvoornemens.

Tegnologiese kontekst

Volgens Cahyono, Nurcholis en Nugroho (2022) is daar aangetoon dat 'n getal tegnologiese faktore, soos waargenome nut, waargenome bruikbaarheid, stelselversoekenbaarheid, stelselsekureit en IT-infrastruktuur, beïnvloed hoe vinnig organisasies nuwe tegnologieë verwelkom. Inligtings- en kommunikasietegnologieë is in hierdie studie gedek.

Inligtingskommunikasietegnologieë en kennisdelingshoudings

Deesdae ontdek besighede en beroepslui hoe belangrik dit is om vinnig inligting in te samel en te onderskei tussen nuttige en irrelevant data (Wu, 2019). Volgens Siddiqui et al. (2019) word werknemers se subjektiewe norm gedefinieer deur hul "normatiewe sienings" rakende die waarskynlikheid dat die mense na wie hulle opsien die invloed sal hê om hul spesifieke gedrag te ondersteun of teen te staan. Verskeie navorsers het houding gedefinieer as 'n werknemer se "kognitiewe sienings" oor die gevolge van hul gedrag. Inligtings- en kommunikasietegnologie (IKT) het die potensiaal om die doeltreffendheid van inligtingsdeling aansienlik te verbeter (Punniyamorthy & Asumptha, 2019). Na gelang van hoe die organisasie opgestel is, kan kennis gesien word as 'n beperkte hulpbron wat gekonsentreer is in die hande van 'n klein getal mense of as 'n kennisbestuurstelsel wat kennis uit alle gebiede van die organisasie insamel om by die kennisbasis te voeg

(Martin-Rios, 2018). In die gesondheidsorgsektor sal die implementering van 'n doeltreffende kennisbestuurstelsel die insameling, analise en verspreiding van inligting en insig wat verkry is uit gesondheidsdata wat op 'n verskeidenheid metodes vir 'n verskeidenheid doeleindes ingesamel is, vergemaklik (Imran et al., 2021). Die noodsaaklikheid van sulke stelsels in hierdie beroep is afgelei uit die feit dat situasies in hierdie veld die vinnige verwerking en kritiese denke van 'n spesifieke versameling diagnostiese toetsresultate, medikasie, vorige behandelingsresponse en soortgelyke pasiëntgevalle noodsaak om optimale besluite te neem wat lewens beïnvloed (Bowden, Dawn, Smits, Stanley & Andrews Matthew, 2020).

Op grond van hierdie bespreking is die volgende hipoteses gestel:

H5: Inligtingskommunikasietegnologieë hou positief verband met kennisdelingshoudings.

H6: Inligtingskommunikasietegnologieë hou positief verband met werklike kennisdelingsgedrag.

Waargenome gedragsbeheer en kennisdeling

Waargenome gedragsbeheer is gedefinieer as mense se persepsie van hul vermoë om spesifieke handeling te vertoon (Yean, Johari & Sukery, 2015). Individue se persepsie van hul vermoë om aan omgewingsgedrag deel te neem, word in die gespesialiseerde wetenskaplike literatuur waargenome gedragsbeheer (WGB) genoem (Karimi & Mohammadimehr, 2022). Individue se begeerte en vermoë om die aktiwiteit te kies, daarvoor gereed te maak en 'n inspanning daarin te sit tydens uitvoering, kan alles beïnvloed word deur hul persepsie van gedragsbeheer (Razak et al., 2015). Werknemers se voorneme om te deel neem toe as hulle voel dat hul WGB oor kennisdeling hoër is as die risiko's wat daaraan verbonde is (Hajli & Lin, 2016). Daar word verwag dat individue in ooreenstemming met hul voornemens sal optree wanneer die geleentheid hom voordoen, mits hulle 'n voldoende mate van werklike beheer oor hul handeling het (Bosnjak et al., 2020).

Op grond van hierdie bespreking is die volgende hipotese gestel:

H7: Waargenome gedragsbeheer hou positief verband met kennisdelingvoornemens.

Houding en kennisdelingvoornemens

Volgens die TBG is houding 'n belangrike faktor vir navorsing om 'n persoon se gedrag te verstaan (Ajzen, 1991; Kaba et al., 2023). Die voorneme om kennis te deel demonstreer die gretigheid van kenniswerkers om deel te neem aan kennisdelingsaktiwiteite (Wu en Zhu, 2012). Volgens Ajzen (1991) en Al-Kurdi et al. (2020) postuleer die TBG dat individue se voorneme om aan sekere gedrag deel te neem, deur hul houdings teenoor die gedrag en deur subjektiewe norme beïnvloed word. In die konteks van inligtingsdeling word individue se voorneme om aan kennisdelingsgedrag deel te neem, deur hul houdings gevorm (Al-Kurdi et al., 2018). Talle navorsingsondersoeke het ontdek dat gedragsvoorneme in kennisdeling hoogs voorspelbaar is deur houding (Abdillah et al., 2018; Obrenovic et al., 2021).

Jameel et al. (2021) het 'n noemenswaardige invloed van akademië se perspektiewe op inligtingsdeling op hul geneigdheid om kennis te deel, veral binne die gesondheidsorgpersoneel in gesondheidsorginstellings, aan die lig gebring. Daarbenewens stel Jameel et al. (2021) dat akademië wat gretig is om kundigheid met andere in universiteite te deel, geproduseer sal word deur gesondheidsorgpersoneel wat 'n positiewe houding teenoor kennisdeling het. Al-Kurdi et al. (2020) het ontdek dat die voorneme om inligting in gesondheidsorginstellings te deel sterk met die houdings van gesondheidsorgpersoneel teenoor kennisdeling korreleer.

Op grond van hierdie bespreking is die volgende hipotese gestel:

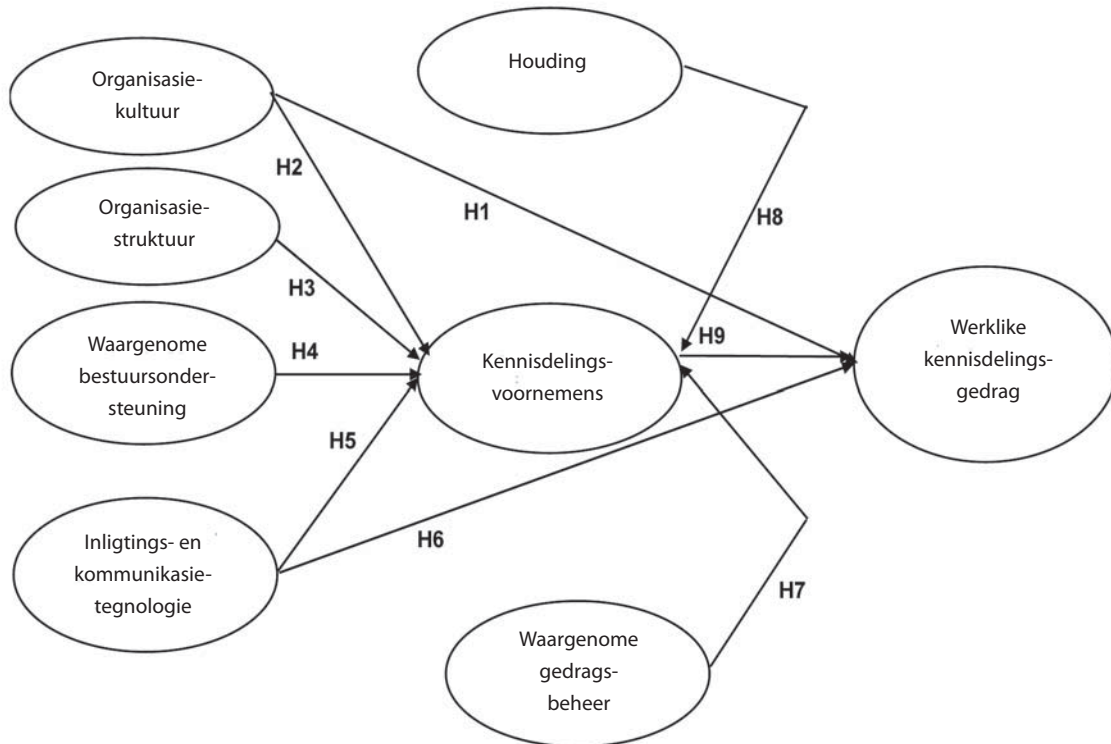
H8: Houding hou positief verband met kennisdelingvoornemens.

Kennisdelingsvoornemens en werklike kennisdelingsgedrag

Verskeie studies het kennisdelingsvoorneme as die afhanklike veranderlike gebruik (Gagne et al., 2019; Akosile en Olatokun, 2020; Aldhmoren Doyle, 2023). Werklike inligtingsdelingsgedrag is as die afhanklike veranderlike gekies om die kennisgaping te oorbrug wat Nguyen et al. (2019) in hul studie getoon het. Die besluit om te konsentreer op werknemers se voorneme om kennis te deel eerder as hul houding of werklike kennisdelingsaktiwiteit word ondersteun deur die idee van bereedere aksie. In hierdie geval is houding en voorneme teenoor spesifieke gedrag die dryfkrag agter die werklike gedrag, wat verklaar word deur die teorie van bereedere handeling (Abdillah et al., 2018). Dit dui daarop dat in 'n kennisdelingsituasie 'n werknemer se voorneme om kennis te deel sterker sal wees hoe positiewer hulle kennisdeling sien. Gevolglik is 'n werknemer meer geneig om kundigheid met kollegas te deel as hulle 'n sterker doel het om dit te doen. Volgens Lyu et al. (2020) kan 'n gebrek aan begeerte om kennis te deel 'n nadelige impak op werklike kennisdelingsgedrag hê. Om ten volle voordeel te trek uit inligtingsdeling, is dit noodsaaklik om die elemente te ondersoek wat die kennisdelingsvoorneme beïnvloed. Op grond van hierdie bespreking is die volgende hipotese gestel:

H9: Gesondheidsorgpraktisyns se houding teenoor kennisdeling het 'n positief betekenisvolle impak op hul voorneme om kennis te deel.

Die TBA se houding, subjektiewe norm en voornemekonstruk, tesame met die TBG se WGB, bied 'n raamwerk vir die ontwikkeling van 'n begrip van die veranderlikes wat gesondheidswerkers se werklike kennisdelingsgedrag in openbare gesondheidsorgfasiliteite beïnvloed. Verder word daar afgelei dat elemente, met inbegrip van tegniese vooruitgang, organisasiekultuur, struktuur en waargenome bestuursondersteuning (Fullwood & Rowley, 2017), werknemers se houdings, voornemens en subjektiewe norme sal beïnvloed, wat uiteindelik 'n impak sal hê op hoe kennis gedeel word. Figuur 1 bied 'n oorsig van hierdie konstruksie in verhouding tot die gewysigde konseptuele raamwerk wat vir hierdie ondersoek gebruik is.



Figuur 1: Konseptuele raamwerk van die navorsing

Materiaal en metodes

Studieopset

Die navorsing is uitgevoer by die Dr George Mukhari-Akademie Hospitaal (DGMAH), 'n akademiese fasiliteit geleë in Ga-Rankuwa, 'n noordelike voorstad van Pretoria. Voorheen is dit Ga-Rankuwa-hospitaal genoem. DGMAH het as 'n provinsiale hospitaal begin, maar het in 1974 toegang tot tersiêre dienste verkry met die stigting van die Mediese Universiteit van Suid-Afrika (MEDUNSA). Die universiteit se gesondheidswetenskappe-onderligplatform word DGMAH genoem. In 2011 het DGMAH akademiese status verkry en die nuwe Sefako Makgatho-Universiteit (SMU) vir Gesondheidswetenskappe geword, wat die nalatenskap van die voormalige Medunsa voortsit. DGMAH is 'n platform vir onderrig wat deur die Ga-Rankuwa Verpleegkollege gebruik word.

Populasie en steekproefneming

Die populasie van die studie het bestaan uit DGMAH-gesondheidsorgpraktisyns (verpleegpraktisyns, osteopadiese dokters en mediese dokters). Die belangrikheid van die keuse van 'n steekproef van aansienlike grootte wat verteenwoordigend is van die totale populasie van hierdie studie is deur Creswell en Poth (2018) beklemtoon. Gerieflikheidssteekproefneming is gebruik om 'n steekproef te kies wat verteenwoordigend van die populasie was, omdat dit nie moontlik was om elke lid van die populasie te kies nie. Volgens Foley (2018) is doelgerigte steekproefneming 'n soort nuwaarskynlikheidssteekproefneming waarin navorsers gemeenskapslede vir hul studies uitsluitlik op grond van hul eie oordeel kies. Navorsers was van mening dat

die lede van hierdie gemeenskap by die demografie pas wat hulle probeer lok, en daarom het hulle doelbewus op hierdie gemeenskap as teikengroep gefokus.

Hierdie doelgerigte teikenfokus verleen geloofwaardigheid aan hierdie benadering. Daar is 'n getal nadele aan doelgerigte steekproefneming wat in aanmerking geneem moet word, waaronder beperkings op die data-analisetegnieke wat toegepas kan word, probleme met veralgemeenbaarheid en die potensiaal om verkeerde insluitingsbesluite te neem (Dapar et al., 2020; Smith & Hasan, 2020), maar ten spyte van hierdie erkende probleme, het doelgerigte steekproefneming steeds 'n geskikte benadering vir hierdie studie gebly. Ten spyte van die feit dat sommige van die voorgestelde deelnemers skedules gehad het wat hulle ietwat moeiliker beskikbaar gemaak het, kon die navorsers nietemin genoeg betrokkenheid verkry om aan die gestelde seleksiekriteria te voldoen danksy doelbewuste steekproefneming.

Etiese goedkeuring

Respondente se privaatheid is tydens die navorsing beskerm. Dit is bewerkstellig deur die respondente se privaatheid te waarborg en enige persoonlike inligting uit die vraelys weg te laat. Respondente is verder ingelig oor die doel van die studie en die akademiese data wat dit verskaf het. Die UNISA-CAES-Navorsingsetiekomitee (2019/CAES/075) het die studie as eties aanvaarbaar goedgekeur. Verder is toestemming om die studie uit te voer deur die Adjunktdirekteur: Kantoor van Kliniese Dienste by die geselekteerde opleidingshospitaal verleen.

Navorsingsinstrumentmetings

Deur gebruik te maak van 'n selfgeadministreerde, gestandaardiseerde vraelys, is data vir die studie ingesamel. Die literatuuroorsig het as riglyn gedien tydens die ontwikkeling en ontwerp van die vraelys. Dit is aangepas uit 'n getal meningsopname-instrumente wat voorheen aan loodstoetsing onderwerp is (Akosile & Olatokun, 2020; Kalra & Baral, 2020; Irene & Zuva, 2018; Aldhmour & Doyle, 2023). 460 moontlike deelnemers het die vraelys ontvang deur 'n self-geadministreerde benadering. Uit hierdie groep is 384 voltooide en funksionele meningsopnames terugbesorg. Van hierdie meningsopnames wat terugontvang is, het 84 onreëlmatige reaksiepatrone en groot persentasies ontbrekende data gehad. Gevolglik was slegs 300 vraelyste geskik vir analise. Hair et al. (2019) toon dat 'n steekproef van hierdie grootte as gepas vir die huidige studie beskou kan word, aangesien dit strukturele vergelykingsmodellering (SEM) gebruik het om die verband tussen intraspan-kennisdelingspraktyke en kulturele intelligensie te bepaal.

Die vraelys is ontwikkel op die basis van die konseptuele raamwerk wat in Figuur 1 uitgebeeld word. 'n Vraelys is gebruik om data by die respondente in te samel. Afdeling A en Afdeling B het die twee afdelings van die vraelys behels. In Afdeling A is die respondente se besonderhede aangevra, waaronder hul ouderdom, status, geslag en opvoedingsvlak. Afdeling B het 49 Likert-skaalitems ingesluit in om die verskillende komponente van die studie te evalueer. Waargenome bestuursondersteuning, organisasiekultuur en organisasiestruktuur is met behulp van vier verskillende metrieke gemeet. Die volgende vyf faktore het die mate van voorneme en houding teenoor die deel van kennis met individue van verskillende "sibbes" beoordeel: gelyke status, subjektiewe norm, waargenome organisasiesteun, organisasiekultuur en organisasiegrootte. Die meerderheid van die items wat in hierdie studie se meting van die konstruksie gebruik is, is aangepas vanaf voorheen goedgekeurde instrumente.

Data-analise

In hierdie studie is strukturele vergelykingsmodellering, of SEM, gebruik om die data te analiseer. SEM kan inligting oor latente komponente vind deur die kovariansie van waargenome veranderlikes te ondersoek, wat die getal waargenome veranderlikes verminder tot 'n kleiner getal latente veranderlikes (Awang, 2014). Gefen et al. (2000) beveel die gebruik van SEM in IS- en gedragwetenskapnavorsing aan. Daarom is besluit dat SEM geskik sou wees vir die analise van die inligting wat vir hierdie studie verkry is. Die AMOS- statistiese sagtewarepakket is gebruik om die hipoteses te evalueer, deur gebruik te maak van kovariansiegebaseerde SEM ("CB-SEM"). Terwyl CB-SEM's gebruik word om idees te toets en te staaf, word die SEM van gedeeltelike kleinste kwadrate ("PLS-SEM") meer algemeen in verkennende navorsing gebruik (Hair et al., 2019). Die navorser het eersgenoemde strategie gekies omdat hierdie studie gebaseer was op 'n gevestigde model wat die navorser toelaat om korrelasies tussen die model se veranderlikes te hipoteseer (Hussey & Eagan, 2007). Ooreenkomstig Anderson en Gerbing

(1988) is 'n tweestappesprosedure gevolg, waar die geldigheid en betroubaarheid van die metingsmodel met behulp van bevestigende faktoranalise beoordeel is. Vervolgens is die geldigheid van die strukturele model geverifieer en die teorieë geëvalueer.

Resultate en bespreking

Evaluering van die metingsmodel

Volgens Hair (2019) lewer die evaluering van die metingsmodel, ook bekend as die buitemodel, resultate vir individuele itembetroubaarheid, inhoudsgeldigheid, konvergente geldigheid, diskriminantgeldigheid en interne konsekwenheidsbetroubaarheid.

Konvergente geldigheid

Konvergente en diskriminantgeldigheid moet geëvalueer word om te bepaal in watter mate die gemete veranderlikes die latente konstruksie akkuraat weerspieël. Konvergente geldigheid word geëvalueer deur elke instrument met die toepaslike veranderlikes te vul, terwyl diskriminantgeldigheid bepaal kan word deur die korrelasies tussen hulle te ondersoek (Awang, 2014). Bevestigende faktoranalise is gebruik om geldigheid te verifieer. Konvergente geldigheid, volgens Hair et al. (2019), word bereik wanneer itembetroubaarheid, konsepgeldigheid en die gemiddelde variante onttrek (GVO) almal redelike waardes het. Itembetroubaarheid word gedemonstreer as alle gemete items faktorloadings vir die latente veranderlikes van groter as 0,6 het (Awang, 2014).

Tabel I dui aan dat daar voldoende konvergensie van die gemete stellings was omdat die GVO-waardes van die konstruksie in die metingsmodel hoër as die aanbevole afsnywaarde van 0,50 was. Verder toon die tabel ondubbelsinnig die interne konsekwenheid van elke gemete konstruksie en dat die saamgestelde betroubaarheidswaardes van die metingsmodel se konstruksies bo die aanbevole afsnywaarde van 0,70 was. Gebaseer op die berekening van die gemiddelde variante onttrek (GVO), die saamgestelde betroubaarheidswaardes en die ondersoek van die gestandaardiseerde faktorloadings toon al agt konstruksie van die metingsmodel konvergente geldigheid.

Korrelasieanalise

Dit is betekenisvol om vanuit 'n statistiese oogpunt daarop te let, soos uitgelig in tabel II, dat hierdie studie bevind het dat die negatiewe verband tussen die afhanklike veranderlike, werklike kennisdelingsgedrag (WKDG) en twee onafhanklike veranderlikes, organisasiekultuur (OK) en waargenome organisasiesteun (WOS), op 'n betekenisvlak van 10% was. 'n Robuuste en positiewe aanpassing bestaan tussen die afhanklike veranderlike en die oorblywende onafhanklike komponente, soos aangedui deur 'n betekenisvlak van 10%. Van al die veranderlikes toon houding (ATT) die hoogste en mees robuuste positiewe korrelasiekoëffisiënt (0,773).

Tabel I: Konvergente geldigheid van die metingsmodel

Konstrukte	Items	Standaard laai	KR	GVO	Cronbach se α
Organisasiekultuur (OK)	OK1	0,71	0,74	0,56	0,82
	OK2	0,76			
	OK3	0,78			
	OK4	0,73			
Organisasiestruktuur (OS)	OS1	0,90	0,81	0,71	0,86
	OS2	0,84			
	OS3	0,80			
Waargenome organisasiesteun (WOS)	WOS1	0,74	0,76	0,53	0,70
	WOS2	0,84			
	WOS3	0,57			
Inligtingskommunikasietegnologieë (IKT)	IKT1	0,76	0,81	0,60	0,75
	IKT2	0,88			
	IKT3	0,65			
Houding ("ATT" soos in Engels)	ATT1	0,74	0,80	0,61	0,73
	ATT2	0,89			
Kennisdelingsvoornemens (KDV)	KDV1	0,81	0,70	0,55	0,68
	KDV2	0,64			
	KDV3	0,68			
Waargenome gedragsbeheer (WGB)	WGB1	0,76	0,72	0,56	0,71
	WGB2	0,73			
	WGB3	0,77			
Werklike kennisdeling (WKD)	WKD1	0,74	0,76	0,62	0,76
	WKD2	0,82			
	WKD3	0,77			

Tabel II: Korrelasiematriks

Veranderlikes	1	2	3	4	5	6	7	8
1 WKDG	1 000							
2 OS	0,416*	1 000						
3 WGB	0,338*	0,910	1 000					
4 KDV	0,407*	0,909*	0,886*	1 000				
5 ATT	0,743*	0,328*	0,185*	0,235*	1 000			
6 IKT	0,722	0,480*	0,414*	0,424*	0,283*	1 000		
7 OK	-0,192*	-0,110*	-0,098*	-0,100*	-0,074*	-0,105*	1 000	
8 WOS	-0,144*	-0,001	0,033	0,037	-0,036	-0,020	-0,287*	1 000

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ **Tabel III:** Diskriminantgeldigheid van die metingsmodel

Veranderlikes	OK	OS	WOS	IKT	ATT	KDV	WGB	WKD
OK	0,696							
OS	0,510	0,660						
WOS	0,681	0,565	0,521					
IKT	0,795	0,676	0,467	0,563				
ATT	0,500	0,380	0,485	0,718	0,631			
KDV	0,795	0,676	0,467	0,563	0,664	0,587		
WGB	0,500	0,380	0,485	0,718	0,630	0,624	0,641	
WKDG	0,500	0,380	0,485	0,718	0,628	0,622	0,613	0,564

Let wel: OK= Organisasiekultuur; OS = Organisasiestruktuur; WOS = Waargenome organisasiesteun; IKT = Inligtingskommunikasietegnologieë; ATT = Houding; KDV = Kennisdelingsvoornemens; WGB = Waargenome gedragsbeheer; WKDG = Werklike kennisdelingsgedrag

Diskriminantgeldigheid

Hierdie studie het vervolgens die konstrue se diskriminantgeldigheid ondersoek. Hair et al. (2022) definieer diskriminantgeldigheid as die empiriese verskil tussen 'n latente konsep en ander latente veranderlikes in die model. Dus behoort die korrelasiekoëffisiënte van die konstrue nie beduidend te korreleer nie. Die diskriminantgeldigheid is geanaliseer met behulp van die Fornell-Larcker-kriterium. Volgens Fornell en Larcker (1981) bepaal hierdie kriterium of die vierkantswortel van die GVO vir die latente veranderlikes groter is as die maksimum korrelasie met enige ander latente konstrue. Diskriminantgeldigheidsmetings word ondersteun wanneer die vierkantswortel van die gemiddelde variansie wat vir elke konstrue verhaal word, die hoogste is vir die toegewyse konstrue (Fornell & Larcker, 1981). Tabel III toon dat die korrelasies vir elke konstrue minder is as die vierkantswortel van die gemiddelde variansie wat deur die aanwysers verkry word, wat dui op toepaslike diskriminantgeldigheid. Voldoende konvergente en diskriminantgeldigheid is deur die metingsmodel in die geheel gedemonstreer.

Die resultate word in Tabel III vertoon, wat geen kritieke situasies insluit nie. Vervolgens, deur gebruik te maak van die bevindinge van Hair et al. (2019) en Awang (2014), is diemodelpassingsindekse vir die bevestigende faktoranalise geëvalueer. Die uitkomst word in Tabel IV vertoon. Hierbenewens is die goedgekeurde afsnywaardes van 0,9 en 0,95 vir AGFI en NFI marginaal oorskry (Awang, 2014). Hoewel die Chi-kwadraattoets beduidend was, vereis 'n behoorlike modelpassing 'n niebeduidende Chi-kwadraat (Barrett, 2007). Passingsindekse toon dat die model

steeds as goed beskou word ten spyte van die kort steekproefgrootte en kompleksiteit van die model wat ideale afsnywaardes beïnvloed (Sivo et al., 2006).

Evaluering van die Strukturele Model

Met behulp van die strukturele model is die verwantskappe tussen die latente konstrue ondersoek en die hipoteses getoets. Tabel IV toon die modelpassingsindekse vir die SEM. RMSEA en GFI toon 'n redelike modelpassing, maar chi-kwadraat is steeds beduidend. Die inkrementele passingsindekse, volgens Hooper et al. (2007), is ook binne 'n redelike bestek, met die uitsondering van AGFI, wat ietwat laer is. Agt van die hipoteses word bevestig deur die sterk en positiewe verwantskappe tussen korporatiewe kultuur, organisasiestruktuur en inligtingskommunikasietegnologie, en werklike kennisdelingsgedrag (H1, H3, H5, H6, H8 en H9). As gevolg van die gebrek aan 'n wesenlike korrelasie tussen waargenome gedragbeheer en voornemens om kennis te deel en tussen gevoelde organisasiestruktuur en kennisdelingsaktiwiteit, is H4 en H7 verwerp (kyk Tabel V en Figuur 2).

H1 is uiteindelik deur die studie bevestig, wat ontdek het dat werklike kennisdelingsgedrag beduidend en gunstig beïnvloed is deur organisasiekultuur (beta = 0,537***, *t*-waarde = 7,504, *p*-waarde = 0,000). Omdat organisasiekultuur ook inligtingsdelingsvoornemens beduidend en gunstig beïnvloed het, is H2 ondersteun (beta = 0,401***, *t*-waarde = 5,201, *p*-waarde = 0,000). Aangesien inligtingsdelingsvoornemens die organisasiestruktuur beduidend en positief beïnvloed het (beta = 0,247**, *t*-waarde = 2,984, *p*-waarde = 0,003), is H3 ondersteun. H4 is nie ondersteun nie, aangesien daar geen noemenswaardige

Tabel IV: Passingsindekse vir die strukturele model

Kategorie	Indeks	Vlak van aanvaarding	Resultate
Absolute pasvorm	Chi-kwadraat	$p > 0,05$	0,00
	RMSEA	RMSEA < 0,08	0,05
	GFI	BVI > 0,90	0,90
Inkrementele pasvorm	AGFI	AGFI > 0,90	0,86
	CFI	CFI > 0,90	0,97
	TLI	TLI > 0,90	0,96
	NFI	NFI > 0,90	0,90
Spaarsamige passing	Chi-kwadraat/df	Chi-kwadraat/df < 5,0	1,49

Tabel V: Resultate van hipotesetoetsing

Veranderlikes	β -Waarde	<i>t</i> -Waarde	<i>p</i> -Waardes	Hipotese
OK → AK SB	0,537***	7 504	0,000	H1: Ondersteun
OK → KDV	0,401**	5,201	0,000	H2: Ondersteun
OS → KDV	0,247**	2 984	0,003	H3: Ondersteun
WOS → KDV	0,191	1 664	0,096	H4: Nie ondersteun nie
IKT → KDV	0,420**	4 605	0,000	H5: Ondersteun
IKT → AK SB	0,528***	7 497	0,000	H6: Ondersteun
WGB → KDV	0,156	1 790	0,073	H7: Nie ondersteun nie
ATT → KDV	0,423***	5 965	0,000	H8: Ondersteun
KDV → WKDG	0,282**	2 895	0,004	H9: Ondersteun

Let wel: OK = Organisasiekultuur; OS = Organisasiestruktuur; WOS = Waargenome organisasiestruktuur; IKT = Inligtings- en kommunikasietegnologie; ATT = Houdding; KDV = Kennisdelingsvoornemens; WGB = Waargenome gedragbeheer; WKDG = Werklike kennisdelingsgedrag

* $p = 0,05$ ** $p = 0,01$ *** $p = 0,001$

verband was tussen waargenome organisasie-ondersteuning en voornemens om inligting te deel nie ($\beta = 0,191$, t -waarde = 1,664, p -waarde = 0,096). Aangesien inligtingskommunikasietegnologieë 'n weglaatbaar klein en geringe impak op kennisdelingsvoornemens het ($\beta = 0,420^{***}$, t -waarde = 4,605, p -waarde = 0,000), is H5 ondersteun. Die studie se resultate, wat getoon het dat IKT die werklike kennisuitruiling positief en beduidend verhoog het ($\beta = 0,528^{***}$, t -waarde = 7,497, p -waarde = 0,000), het H6 verder ondersteun. Kennisdelingsvoornemens is negatief en weglaatbaar beïnvloed deur waargenome gedragsbeheer. Dus het H7 ($\beta = 0,156$, t -waarde = 1,790, p -waarde = 0,073) nie stand gehou nie. Aangesien houding 'n beduidende en positiewe impak op inligtingsdelingsvoornemens gehad het, is H8 ondersteun ($\beta = 0,423^{***}$, t -waarde = 5,965, p -waarde = 0,000). Boonop is H9 gestaaf, aangesien voornemens om kennis te deel 'n positiewe en beduidende impak op werklike delingsgedrag gehad het ($\beta = 0,282^{**}$, t -waarde = 2,895, p -waarde = 0,004).

Bespreking

Die doel van die navorsing is om 'n konseptuele model te ontwikkel wat die werklike kennisdelingsgedrag onder gesondheidsorgpraktisyns in openbare gesondheidsorginstellings identifiseer.

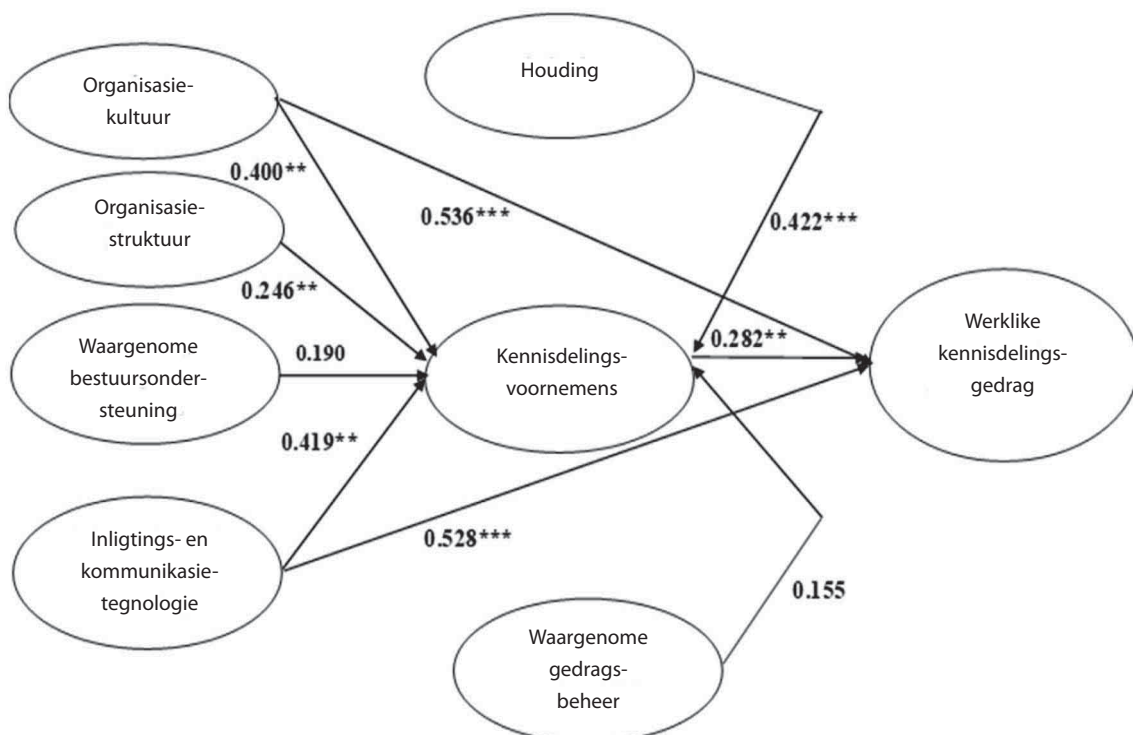
Hipoteses H1

H1 het ondersoek hoe organisasiekultuur gesondheidsorgpersoneel se werklike kennisdelingsaktiwiteite in openbare gesondheidsorginstellings beïnvloed. Met 'n p -waarde van 0,536 en 'n betawaarde van 0,000, is die aanvanklike hipoteses bevestig in die lig van die inligting wat in Tabel 3 getoon word. Die idee dat

organisasiekultuur 'n beduidende en positiewe invloed op egte kennisuitruiling het, is gestaaf. Hierdie resultaat stem ooreen met die studie wat deur Jamshed en Majeed (2019) uitgevoer is om uit te vind watter faktore spanlede se kennisdelingsgedrag beïnvloed en spanprestasie verbeter. Die studie het gekyk na die verhouding tussenspankultuurengesondheidsorgpersoneel. Die resultate word ondersteun deur Abbasi en Dastgeer (2018) en Jamshe en Majeed (2019), wat voorgestel het dat norme en waardes wat 'n kennisdelingskultuur ondersteun, kennisdeling aanmoedig en onbelemmerde inligtingvloei kan waarborg.

Hipoteses H2

H2 het die verband tussen kennisdelingsvoornemens en organisasiekultuur ondersoek. Die bevindinge toon dat organisasiekultuur 'n groot impak het op gesondheidsorgpersoneel se voornemens om inligting binne gesondheidsorgfasiliteite te deel. In hierdie studie is 'n betawaarde van 0,000 en 'n p -waarde van 0,400 as die tweede hipoteses geverifieer. Olaniran (2017) bied bewyse ten gunste van die resultate. Sy het in haar navorsing oor die omgewing en kultuur van organisasies bevind dat die byvoeging van nuwe lede wat verskillende waardes en organisasiekulture het, dit vir die span moeiliker kan maak om stilswyende kennis oor te dra. Hierdie resultate bevestig die bevindinge van vorige studies dat firmas hoogs aanpasbaar en dubbeldvaardig kan word deur die ontwikkeling van 'n organisasiekultuur wat kennisdeling waardeur en aanmoedig, wat hulle kan help om 'n mededingende voordeel te handhaaf of te verkry (Anser et al., 2022; Khan et al., 2021; Puriwat & Hoonsopon, 2022). In ooreenstemming met die resultate van hierdie studie het Briatte et al. (2019) beweer dat die verbetering van gesondheidsorgpersoneelorganisasering tot selfs hoër sukseskoerse in die bereiking van hoër sorgstandaarde lei.



Figuur 2: Strukturele model vir gesondheidsorgpraktisyns se werklike kennisdelingsgedrag

Hipotese H3

Die hipotese H3 het die impak van organisasiestruktuur op gesondheidswerkers se voornemens om inligting te deel ondersoek. 'n P-waarde van 0,246 en 'n betawaarde van 0,003 het ondersteuning vir H3 aangedui. Die studie se gevolgtrekking impliseer dat organisasiestruktuur 'n beduidende en gunstige impak op doelwitte vir inligtinguitruiling het. Hierdie bevinding is in lyn met dié van Zaman et al. (2020), wat bevind het dat verpleegkundiges se innoverende werkpraktyke en hul gevoel van organisasie steun positief gekorreleer het. Verder is hierdie resultaat in ooreenstemming met navorsing deur Kalra & Baral (2020), wat bevind het dat ondersteuning van senior bestuur 'n organisasie se besorgdheid openbaar oor sy vermoë om sy werknemers te help. Navorsing wat in dieselfde omgewing gedoen is, het getoon dat werkers meer gewillig is om hul kundigheid intern en met ander werknemers te deel wanneer bestuurders leierskapsgedrag modelleer wat kennisdeling bevorder (Matošková et al., 2018). Verder dui 'n empiriese studie deur Koranteng en Wiafe (2019) daarop dat 'n gedeelde visie 'n impak op inligtingsdeling tussen individue kan hê.

Hipotese H4

In H4 is die effek van waargenome bestuursondersteuning op kennisdelingsvoornemens ondersoek. Aangesien H4 'n betawaarde van 0,095 en 'n p-waarde van 0,190 gehad het, is dit nie ondersteun nie. Omgekeerd het die navorsing wat deur Asurakkody en Kim (2020) gedoen is, getoon dat gesondheidswerkers se persepsies van hoë vlakke van organisasie steun 'n gunstige impak op pasiënt se geluk, die kaliber van gesondheidsorgdienste en die voorspoed van gesondheidsorginstellings gehad het (Çankaya, 2020; Saadeh & Suifan, 2020). Hierdie resultate het verskil van wat die huidige studie bevind het. Boonop was die resultate van hierdie studie in direkte teenstelling met dié van Alat en Filizöz (2021), wat bevind het dat werknemers wat voel dat hulle deur hul werkgever ondersteun word, positiewe sienings en gedrag teenoor hulle het. Hulle werk meer gewilligheid om die organisasie te help om sy doelwitte te bereik. Boonop het Keskin en Aytemiz Seymen (2020) bewyse gelewer om die resultate van hierdie studie te weerlê en het hulle beweer dat werknemers se persepsies van organisasie steun toeneem wanneer hul menings, gevoelens en geluk erken en waardeur word, sowel as wanneer daar van hulle verwag word om tot die maatskappy by te dra.

Hipotese H5

H5 het ondersoek hoe inligtings- en kommunikasietegnologieë kennisdelingsvoornemens beïnvloed. Inligtings- en kommunikasietegnologieë het 'n groot invloed op kennisdelingsvoornemens, soos gedemonstreer deur die resultate wat in Tabel 3 getoon word. H5 is dus met 'n betawaarde van 0,000 en 'n p-waarde van 0,419 bevestig. Hierdie resultaat ondersteun die gevolgtrekkings van vorige navorsing, soos die studie van Wu et al. (2021), wat bevind het dat gesondheidsinstellings prestasie kan verbeter en 'n mededingende voordeel kan verkry deur die verspreiding van gesondheidstegnologie binne en tussen organisasies te bevorder. Al-Omouh, Simón-Moya en

Sendra-García (2020) bied aanvullende ondersteuning vir hierdie bewering deur te beklemtoon dat 'n noodsaaklike funksie van tegnologie is om die mobilisering van nuwe kennisgenerering moontlik te maak. Gevolglik verhoog die beskikbaarheid van IT-infrastruktuur die toeganklikheid en gereedheid van gesondheidsorgpraktisyns om kennis uit te ruil.

Hipotese H6

In H6 is die impak van inligtings- en kommunikasietegnologie op die voornemens om kennis te deel ondersoek. Met 'n betawaarde van 0,000 en 'n p-waarde van 0,528 is H6 dus geldig bevind. Hierdie resultaat word ondersteun deur 'n studie wat deur Rudramuniyaiah et al. (2020) uitgevoer is, wat bevind het dat waar spesialisasie algemeen was, die organisasie kennisdelingsbeleide in plek gehad het, en IT-personeel altruïsties gevoel het en meer geneig was om inligting te deel. Hierdie resultate het aan die lig gebring dat wanneer die korporatiewe kultuur individue aanmoedig om hul gespesialiseerde kennis met ander te deel, hierdie persone ook soos vakkundiges voel. Hierdie resultaat stem ooreen met die waarneming van Kumar et al. (2022) dat ondersteunende omgewings, soos IT-ondersteuning, positiewe en noemenswaardige effekte op werknemers se kennisdelingsgedrag het.

Hipotese H7

Die doel van H7 was om uit te vind of waargenome gedragsvoorneme enige invloed het op kennisdelingsvoorneme. Die data in Tabel 8 het nie H7 ondersteun nie, met 'n betawaarde van -0,155 en 'n p-waarde van 0,072. Dit dui daarop dat 'n aansienlike impak op die waargenome gedragsvoorneme 'n klein effek het op die voorneme om kennis te deel. Hierdie bevinding weerspreek dié van Cangialosi et al. (2021), wat gesuggereer het dat kreatiewe pogings meer soos dele van 'n organisasienetwerkstruktuur as afsonderlike handeling is. Navorsingsbevindinge van verskeie vorige studies (Matic et al., 2017; Stenius et al., 2017; Hoseini et al., 2019; Al-Kurdi et al., 2020; Kakhki et al., 2020) verskaf empiriese bewyse ten gunste van 'n positiewe korrelasie tussen inligtingdelingsgedrag en voorneme. Om hierdie uitkoms te verantwoord, beweer die navorsers dat gesondheidsorgorganisasies nie inligtingsdeling tussen gesondheidsorgpraktisyns bevorder nie en dat dit moeilik kan wees om die doelwitte en voordele van kennisdeling te verstaan voordat kennis gedeel word. Gesondheidsorgwerkers se houdings teenoor inligtingsdeling word gevolglik onduidelik, wat verhoed dat die houding teenoor kennisdeling 'n beduidende invloed op kennisdelingsgedrag het.

Hipotese H8

Hierdie hipotese (H8) het ondersoek hoe houdings mense se voornemens om kennis te deel beïnvloed. Tabel 8 toon dat voornemens om kennis te deel positief en beduidend word deur houding beïnvloed. Daarom is H8 ondersteun, op grond van 'n p-waarde van 0,000 en 'n betawaarde van 0,422. Hierdie navorsing impliseer dat 'n persoon se gunstige houding teenoor kennisdeling gekweek sal word deur die sukses van ander. Die verband tussen houding en kennisvoorneme word ondersteun deur 'n aansienlike hoeveelheid empiriese navorsing (Al-Kurdi et

al. 2020; Pham 2020; Nguyen et al. 2019). Op 'n soortgelyke trant word houding beskou as 'n betroubare voorspeller van toekomstige gedrag en word dit beïnvloed deur kennisdelingsvoornemens en die vermoë om die gedrag te vertoon (Castaneda et al., 2016).

Hipotese H9

Die verband tussen inligtingsdelingsvoornemens en werklike kennisdelingsgedrag is in H9 geëvalueer, wat deur die data ondersteun is met 'n betawaarde van 0,282 en 'n p-waarde van 0,004. Dit dui daarop dat daar 'n verband is tussen die voornemens en die werklike gedrag van kennisdeling. Hierdie gevolgtrekking word ondersteun deur die talle studies wat die voordelige en beduidende impak wat voorneme op 'n individu se inligtingdelingsgedrag het, gedemonstreer het (Obrenovic et al., 2020, 2021). Volgens verskeie studies (Ding et al., 2017; Stenius et al., 2017; Mc Evoy et al., 2019; Al-Kurdi et al., 2020) is hierdie tipe werknemergedrag van kritieke belang vir die sukses van kennisintensiewe organisasies, soos die gesondheidsorgsektor. Hierdie bevinding stem ooreen met 'n aantal studies wat 'n verband toon tussen inligtingdelingsgedrag en voorneme (Burnette, 2017; Al-Kurdi, El-Haddadeh, & Eldabi, 2018). Die gevolgtrekkings van Halawi et al. (2017), wat gepostuleer het dat dit noodsaaklik is vir hospitaalbestuur om te verseker dat sy implisiete kennis op geskikte wyse geartikuleer is en doeltreffend gekommunikeer en nagespoor word, staaf hierdie bevinding.

Beperkings van die studie

Ten spyte se omvangryke teoretiese en praktiese vooruitgang van die studie, was daar sekere beperkings. Die studie se teikenpopulasie was die mediese personeel van 'n spesifieke openbare opleidingshospitaal in Ga-Rankuwa, 'n noordelike voorstad van Pretoria. Dit kan gevolglik moeilik wees om te veralgemeen na die populasies van gesondheidsorgverskaffers in ander openbare hospitale. Die betroubaarheid van die ingesamelde data word versterk deur die konsekwentheid van die ervarings van gesondheidsorgwerkers, al laat dit kommer ontstaan oor veralgemeenbaarheid en beklemtoon dit die belangrikheid van navorsing in verskillende omgewings en omstandighede. Die vergelyking van soortgelyke studies wat in verskillende omstandighede gedoen is, kan insiggewend wees.

Implikasie

Hierdie navorsing dra beduidend by tot die teorie. Aanvanklik lewer die bevindinge 'n waardevolle bydrae tot die bestaande literatuur oor die werklike kennisdelinggedragsfaktore onder gesondheidsorgpraktisyns in openbare gesondheidsorginstellings. Die sorg wat pasiënte ontvang wanneer hulle die hospitaal besoek, sal daaronder ly as hoogs gespesialiseerde kundigheid nie binne die instelling gedeel word nie. Die resultate van hierdie studie dra by tot die korpus van kennis hieroor en kan gesondheidsorgpersoneel aanmoedig om meer gereeld kennis uit te ruil deur teoreties en konseptueel 'n konsepmodel te ontwikkel en organisasiefaktore van kennisbestuur empiries te ondersoek. Hierbenewens kon hierdie studie die model met behulp van primêre data staaf en toets, wat navorsers se begrip van die effekte van veranderlikes op werklike kennis-

delingsgedrag, soos waargenome organisasiesteun, organisasiestruktuur en waargenome gedragsbeheer, bevorder het.

Tweedens het hierdie studie sommige van die hedendaagse probleme aangepak met die onwilligheid van gesondheidsorgpersoneel om hul kennis in inligtingryke omgewings soos hospitale te deel, waar kennis van kritieke vir die oorlewing van pasiënte is. Die studie bied empiriese insig in stappe wat gesondheidsorgpraktisyns kan doen om die standaard van sorg wat hulle bied te verbeter. Om ingewikkelde kliniese uitdagings te hanteer, moet gesondheidsorgwerkers verhoudings tussen departemente binne en buite die instelling bou. Hulle moet ook mettertyd aanpasbaar wees ten opsigte van leierskap- en lidmaatskapstrukture om inligting te oorweeg wat besluitneming in die hand werk. Besluitnemers, bestuurders en gesondheidsorgpersoneel is die teikengehoor vir praktiese gevolge van die navorsing. Dit is belangrik, aangesien dit geleentheid bied wat die standaard van sorg wat deur mediese fasiliteite gebied word, kan verbeter deur die gedrags- en organisasieaspekte wat die gedrag van inligtingsdeling beïnvloed, beter te verstaan.

Die verbetering van organisasiekenmerke soos kultuur, skaal en ondersteuning kan die gehalte van gesondheidsorgdienste verbeter en kennisdelingsvoornemens en ander gedragsaspekte positief beïnvloed. Multidissiplinêre gesondheidsorgspanne was suksesvol in die verbetering van inligtingsdeling en kommunikasie regdeur hospitaalafdelings. Die gevolgtrekkings van die studie sal bestuurders en werknemers in gesondheidsorgorganisasies daartoe lei om meer van hul tyd, geld en energie te konsentreer op die implementering van inisiatiewe en aktiwiteite wat kenniskepping, kennisdeling en inligting-kommunikasietegnologieë behels om die algemene gehalte van gesondheidsorgdienste te verhoog. Dit is noodsaaklik dat bestuurders die belyning tussen hul kennisbestuursaktiwiteite en hul spesifieke organisasiekonteks sowel as die hulpbronne wat tot hulle beskikking is vir kennisbestuur verstaan.

Gevolgtrekking en aanbeveling

Die studie het ten doel gehad om die werklike kennisdeling-gedragsfaktore onder gesondheidsorgpraktisyns by 'n openbare gesondheidsorgfasiliteit in Ga-Rankuwa, noord van Pretoria in Suid-Afrika, te ondersoek. Die bevindinge van die ondersoek verskaf presiese inligting rakende die veranderlikes wat werklik die kognitiewe gedrag in 'n openbare gesondheidsorginstelling beïnvloed. Daarbenewens is die voorgestelde model in hierdie studie met behulp van die PLS-SEM-benadering gestaaf. Volgens empiriese data het organisasie- en tegniese faktore 'n aansienlike impak op die werklike kennisdelingsgedrag van gesondheidsorgpersoneel. Hierdie resultate het die kritieke rol geïllustreer wat organisasie- en tegniese elemente speel in die bevordering van 'n inligtingsdelingskultuur in openbare gesondheidsorgfasiliteite. Die studie se gevolgtrekkings bied waardevolle inligting en motiveer verskeie voorstelle vir verdere ondersoek. Hoewel die inligtingdelingskriteria wat in hierdie studie gebruik word, betroubaar is en in vorige navorsing getoets is, kan meer analise die robuustheid van die bevindinge verhoog. Toekomstige studies moet die uitbreiding van die stel

items wat gebruik word om kennisdeling te meet en kruisstawing van die konstruksie insluit om konstruksiegeldigheid te verbeter. Verder kan bykomende navorsing die effekte van kennisdelingspraktyke op verskeie oopwetenskap-onderwerpe ondersoek. Deur hierdie velde te ondersoek, kan gesondheidsorgpersoneel hul begrip van die breër implikasies en voordele van inligtingsdelingstrategieë verbeter, wat kennisbestuur en oopwetenskap-inisiatiewe sal ondersteun.

Botsing van belange

Daar bestaan geen botsende belange in hierdie manuskrip nie.

Befondsingsbronne

Geen befonding uit enige bron is vir hierdie navorsingswerk verskaf nie.

ORCID

L Malungana <https://orcid.org/0000-0001-5981-6774>
L Motsi <https://orcid.org/0000-0002-2149-7429>

Bronnelys

- Adeyelu, T.S., Kalema, B.M., Motlanthe, B.L., 2019, An empirical study of knowledge sharing: A case of South African healthcare system, *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal* 11(1), 114-28. <https://doi.org/10.34105/j.kmel.2019.11.007>.
- Agarwal, V., Ganesh L., 2017, Implementing quality healthcare strategies for improving service delivery at private hospitals in India, *Journal of Health Management* 19(1), 159-69. <https://doi.org/10.1177/0972063416682638>.
- Akosile, A., Olatokun, W., 2020, Factors influencing knowledge sharing among academics in Bowen University, Nigeria, *Journal of Librarianship and Information Science* 52(2), 410-27. <https://doi.org/10.1177/0961000618820926>.
- Aldhmour, F.M., Doyle, E., 2023, Knowledge sharing of postgraduates online: The intention-behavior gap, *Information Sciences Letters* 12(2), 717-33.
- Al-Madi, M.A.Q., 2017, A novel knowledge management framework for managing information overload in the diabetes clinics of the hospitals in Jordan (Doctoral dissertation, Staffordshire University).
- Alshurafat, H., Al Shbail, M.O., Masadeh, W.M., et al., 2021, Factors affecting online accounting education during the COVID-19 pandemic: an integrated perspective of social capital theory, the theory of reasoned action and the technology acceptance model, *Education and Information Technologies* 26(6), 6995-7013. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10550-y>.
- Asurakkody, T.A., Kim SH., 2020, Effects of knowledge sharing behavior on innovative work behavior among nursing students: Mediating role of self-leadership, *International Journal of Africa Nursing Sciences* 12, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.ijans.2020.100190>.
- Astier, A., Carlet, J., Hoppe-Tichy, T., et al., 2020, What is the role of technology in improving patient safety? A French, German and UK healthcare professional perspective, *Journal of Patient Safety and Risk Management* 25, 219-24. <https://doi.org/10.1177/2516043520975661>.
- Andersen, A.R., Plesner, A.L., 2022, Optimization of the organizational structure in hospitals to account for patients with multiple diseases, *Artif Intell Med* 130, 102327. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2022.102327>.
- Anderson, J.C., Gerbing, D.W., 1988, Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach, *Psychological Bulletin* 103(3), 411-23. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.103.3.411>.
- Arendt, L., 2018, Barriers to ICT adoption in SMEs: How to bridge the digital divide? *Journal of Systems and Information Technology* 10, 93-108. <https://doi.org/10.1108/13287260810897738>.
- Asadi, S., Abdullah, R., Yah, Y., et al., 2019, Understanding institutional repository in higher learning institutions: A systematic literature review and directions for future research, *IEEE Access* 7, 35242-63. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2897729>.
- Awang, Z., 2014, Research methodology and data analysis (2nd ed.). Penerbit Universiti Teknologi MARA Press.
- Bowden, D.E., Smits, S.J., Andrews, M.A., 2020, The challenge of knowledge management in healthcare, 13th Annual Conference of the EuroMed Academy of Business, Available from: https://www.researchgate.net/publication/344475542_THE_CHALLENGE_OF_KNOWLEDGE_MANAGEMENT_IN_HEALTHCARE.
- Barrett, P., 2000, Structural equation modelling: Adjudging model fit, *Personality and Individual Differences* 42(5), 815-24. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.09.018>.
- Cahyono, B., Nurcholis, L., Nugroho, M., 2022, Information technology implementation in SMEs: A comparison of Indonesia and Malaysia, *Journal of Theory and Applied Management* 15(1), 25-37. <https://doi.org/10.20473/jmtt.v15i1.30182>.
- Cockerham, W.C., Hamby, B.W., Oates, G.R., 2017 The social determinants of chronic disease, *Am J Prev Med* 52, S5-S12. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2016.09.010>.
- Coltman, T., DeVinney, T.M., Midgley, D.F., et al., 2008, Formative versus reflective measurement models: Two applications of formative measurement, *J Bus Res* 61, 1250-62. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2008.01.013>.
- Deng, Q., Lu, J., Zeng, Z., et al., 2021, Dynamics of health technology diffusion in the integrated care system (DHTDICS): a development and validation study in China, *Risk Manag Healthc Policy* 14, 331-44. <https://doi.org/10.2147/RMHP.S293144>.
- Deng, Q., Zheng, Y., Lu, J., et al., 2021, What factors predict physicians' utilization behavior of contrast-enhanced ultrasound? Evidence from the integration of the theory of planned behavior and technology acceptance model using a structural equation modeling approach, *BMC Med Inform Decis Mak.* 21, 173. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01540-8>.
- Deng, X., Yuan, L., 2020, Integrating technology acceptance model with social capital theory to promote passive users' continuance intention toward virtual brand communities, *IEEE Access* 8, 73061-70. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2987803>.
- Dessie, G., 2017, Knowledge sharing practice and associated factors among health care workers at public hospitals in North Shoa, Amhara, *American Journal of Health Research* 5(5), p.149. <https://doi.org/10.11648/j.ajhr.20170505.16>.
- Edo-Osagie, O., De La Iglesia, B., Lake, I., et al., 2020, A scoping review of the use of twitter for public health research, *Comput Biol Med* 122, 103770. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2020.103770>.
- Fornell, C., Larcker, D.F., 1981, Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error, *Journal of Marketing Research* 18(1), 39. <https://doi.org/10.2307/3151312>.
- Fung, C.P., Hon, A.H.Y., 2021, The evolution of knowledge sharing community development: a Chinese social practice perspective, *J China Tour Res* 18(4), 1-24. <https://doi.org/10.1080/19388160.2021.1972071>.
- Gefen, D., Straub, D., Boudreau, M., 2000, Structural equation modeling and regression: Guidelines for research practice, *Communications of the Association for Information Systems* 4(1), article 7. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.00407>.
- Goel, S., 2019, Textbook of Hospital Administration. Elsevier Health Sciences, APAC, London.
- Hair, J.F., Black, W., Babin, B., et al., 2019, Multivariate data analysis: A global perspective (7th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Hair, J.F., Hult, G.T.M., Ringle, C.M., et al., 2019, Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modelling (PLS-SEM), SAGE Publications, Inc.: Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.3926/oss.37>.
- Halfmann SS, Evangelatos N, Kweyu E, et al., 2018, The creation and management of innovations in healthcare and ICT: The European and African experience, *Public Health Genomics* 21(5-6), 197-206. <https://doi.org/10.1159/000499853>.
- Han, S.H., Yoon, S.W., Chae, C., 2020, Building social capital and learning relationships through knowledge sharing: a social network approach of management students' cases, *J Knowl Manag* 24, 921-39. <https://doi.org/10.1108/JKM-11-2019-0641>.
- Hazlehurst, C., Brouthers, K.D., 2018, IB and strategy research on "new" information and communication technologies: Guidance for future research, *Progress in International Business Research* 13, 65-89. <https://doi.org/10.1108/S1745-886220180000013004>.
- Hooper, D., Coughlan, J., Mullen, M., 2007, Structural equation modeling: Guidelines for determining model fit, *Electronic Journal of Business Research Methods* 6(1), 53-60.
- Hussey, D. M., Eagan, P.D., 2007, Using structural equation modeling to test environmental performance in small and medium-sized manufacturers: Can SEM help SMEs? *Journal of Cleaner Production* 15(4), 303-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.12.002>.
- Karamitri, I., Talias, M.A., Bellali, T., 2017, Knowledge management practices in healthcare settings: a systematic review, *International Journal of Health Planning and Management* 32(1), 4-18. <https://doi.org/10.1002/hpm.2303>.
- Lee, H.S., 2017, Knowledge management enablers and process in hospital organizations, *Osong Public Health and Research Perspectives* 8(1), 26. <https://doi.org/10.24171/j.phrp.2017.8.1.04>.
- Lema, B., 2017, A framework to support knowledge sharing practice among health care professionals at Yekatit 12 Hospital Medical College. MSc Thesis, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia.

- MamoMulate, E., Gojeh, L.A., 2020a, Prototype knowledge management framework to facilitate knowledge sharing practices among health professionals and patients in Hiwot Fana Specialized University Hospital in Ethiopia, *European Academic Research* 8(7), 4230-64. <https://doi.org/10.13189/ujm.2020.080405>.
- MamoMulate, E., Gojeh, L.A., 2020b, Current status and factors affecting knowledge sharing practices among health professionals in Hiwot Fana Specialized University Hospital in Ethiopia, *Universal Journal of Management* 8(4), 160-174. <https://doi.org/10.13189/ujm.2020.080405>.
- Nene, S.W., Pillay, A.S., 2019, An Investigation of the impact of organisational structure on organisational performance, *Financial Risk and Management Reviews*, 5, 10-24. <https://doi.org/10.18488/journal.89.2019.51.10.24>.
- Nyame-Asiamah, F., 2020, Improving the 'manager-clinician' collaboration for effective healthcare ICT and telemedicine adoption processes-a cohered emergent perspective, *Information Technology for Development* 26(3), 525-50. <https://doi.org/10.1080/02681102.2019.1650326>.
- Oriade, A., Osinaike, A., Aduhene, K., et al., 2021, Sustainability awareness, management practices and organisational culture in hotels: Evidence from developing countries, *Int J Hosp Manag* 92, 102699. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102699>.
- Punniyamoorthy, M., Asumptha, J.A., 2019, A study on knowledge sharing behavior among academicians in India, *Knowledge Management & E-Learning* 11(1), 95-113. <https://doi.org/10.34105/j.kmel.2019.11.006>.
- Roscoe, S., Subramanian, N., Jabbour, C.J.C., et al., 2019, Green human resource management and the enablers of green organisational culture: Enhancing a firm's environmental performance for sustainable development, *Bus Strateg Environ* 28, 737-49. <https://doi.org/10.1002/bse.2277>.
- Rudin, R.S., Friedberg, M.W., Shekelle, P., et al., 2020, Getting value from electronic health records: Research needed to improve practice, *Annals of Internal Medicine* 172, S130-S136. <https://doi.org/10.7326/M19-0878>.
- Sabeeh, Z., Mustapha, S.S., Mohamad, R., 2018, Healthcare knowledge sharing among a community of specialized physicians, *Cognition, Technology & Work* 20(1), 105-24. <https://doi.org/10.1007/s10111-017-0453-z>.
- Siddiqui, H.S., Rasheed, R., Nawaz, S., et al., 2019, Knowledge sharing and innovation capabilities: The moderating role of organizational learning, *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*, 13(2), 455-86.
- Sivo, S.A., Fan, X., Witta, E.L., et al., 2006, The search for optimal cutoff properties: Fit index criteria in structural equation modelling, *Journal of Experimental Education* 74(3), 267-88. <https://doi.org/10.3200/JEXE.74.3.267-288>.
- Srivastava, S., Singh, R.K., 2020, Exploring integrated supply chain performance in healthcare: A service provider perspective, *Benchmarking Int J* 28, 106-30. <https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2020-0125>.
- Tripathi, V.R., Popli, M., Ghulyani, S., et al., 2020, Knowledge creation practices at organizational boundaries: the role of ICT in sickle-cell care for tribal communities, *Journal of Knowledge Management*, 25(3). <https://doi.org/10.1108/JKM-09-2019-0521>.
- Van Hoeven, L.R., Janssen, M.P., Roes, K.C.B., et al., 2015, Aiming for a representative sample: Simulating random versus purposive strategies for hospital selection, *BMC Medical Research Methodology* 15(1), 90. <https://doi.org/10.1186/s12874-015-0089-8>.
- Wakuma, B., Wedajo, E., Jimma, W., 2017, Determining the implementation of knowledge management for decision making and products improvement: The case of Arjo-Didessa Sugar Factory, Ethiopia, *European Academic Research* 5(5), 2524.
- Wood, A., Denholm, R., Hollings, S., et al., 2021, Linked electronic health records for research on a nationwide cohort of more than 54 million people in England: Data resource, *Br Med J*, 373. <https://doi.org/10.1136/bmj.n826>.
- Wu, M.S., 2019, Information literacy, creativity and work performance, *Information Development* 35(5), 676-87. <https://doi.org/10.1177/0266666918781436>.

Homogene katalitiese CO₂-vasvanging deur epoksiede: kineties-meganistiese studie van gepaardgaande siklokarbonaatvorming

S Redgard, JA Venter, A Roodt

Department Chemie, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

Korresponderende outeurs: A Roodt, JA Venter **E-pos:** aroodta@gmail.com; venterja@ufs.ac.za

Die homogeen-gekataliseerde CO₂-vasvanging via sikloaddisie deur epichloorhidrien (EPI) as epoksied is met behulp van tydgemoniteerde ¹H KMR bestudeer. Dit het 'n akkurate en gedetailleerde kineties-meganistiese analise moontlik gemaak en toon eenvoudige eersteordekinetika ten opsigte van EPI. Beduidende insig is verkry in die reaksiemeganisme, wat nie voorheen in soveel diepte bestudeer is nie. Verskeie parameters, met inbegrip van 'n reeks sure gebaseer op hul Brønsted-suursterkte, en askorbiën- en bensoësuur die gekose teikenpresteerders, is noukeurig geëvalueer. Die rol van die TBAI (tetrabutielammoniumjodied) en EPI is ook sistematies geoptimaliseer, terwyl die CO₂-konsentrasieverandering onder atmosferiese druk geëvalueer is. Die jodiedoon is as die hoofkatalisator geïdentifiseer. Die PGE-komplekse [Rh(COD)(L)Cl] (L = reeks basisse DBN, DBU, TMG), [Pd(COED)(N,N')]X (COED = η³-6-metielsiklooct-2-en-1-ied) en [Pd(COD)(N,N')Me]X (N,N' = reeks bipyridienligande) was teleurstellend en het teenstrydig met aanvanklike verwagtings slegs geringe reaktiwiteit geïnduseer. Die resultate het gelei tot die suksesvolle daarstelling van 'n volledige reaksieskema (beide stoïgiometries en katalities) en 'n tempowet met vier definitiewe stappe wat geïdentifiseer is. Dit dui daarop dat die ringopening van die epoksied heelwaarskynlik die tempobepalende stap is, wat die uitdrukking vir die waargenome tempokonstante (k_{wg}) vir die verdwyning van die epoksied lewer, geassosieer met 'n algehele reaksieorde van 4.

Sleutelwoorde: koolstofdiksied; siklokarbonaat; homogene katalise; kinetika; meganisme

Besonderhede aangaande aanvullende inligting vir hierdie artikel word aan die einde van hierdie dokument gegee.

Homogeneous catalytic CO₂ capture by epoxides: kinetic-mechanistic study of corresponding cyclocarbonate formation:

The homogeneously catalysed CO₂ capture via cycloaddition to epichlorohydrin (EPI) as epoxide was studied via time-resolved ¹H NMR. It allowed an accurate and detailed *kinetic-mechanistic* analysis showing simple first-order kinetics with respect to EPI. It also provided significant insight into the reaction mechanism, which has not been studied previously in such depth. Several parameters were carefully evaluated, including a range of acids based on their Brønsted acidity, with ascorbic acid and benzoic acid selected as the target performers. The roles of TBAI (tetrabutylammonium iodide) and EPI were also systematically optimised, while the CO₂ concentration changes were evaluated under atmospheric pressure. The iodide ion was identified as the principal catalyst. The PGE complexes [Rh(COD)(L)Cl] (L = range of bases DBN, DBU, TMG), [Pd(COED)(N,N')]X (COED = η³-6-methylcyclooct-2-en-1-id) and [Pt(COD)(N,N')Me]X (N,N' = range of bipyridine ligands), contrary to initial expectations, disappointingly indicated only slight activity. The results from the investigation led to the successful derivation of a proposed reaction scheme (both stoichiometric and catalytic) and rate law with four definite steps identified. It suggests that the ring opening of the epoxide is most probably the rate-determining step, yielding the expression (k_{obs}) for the disappearance of the epoxide, associated with an overall order of four.

Keywords: carbon dioxide; cyclocarbonate; homogeneous catalysis; kinetics; mechanism

Details regarding supplementary information are given at the end of this document.

Inleiding

Koolstofdioksied is aan die voorpunt (74,4%) van die kweekhuisgasse (KHG's) en 'n groot bydraer tot aardverwarming. Die wêreldwye vrystelling daarvan uit fossielbrandstowwe was reeds in 2019 op rekordvlakke van 36,6 Gt CO₂, wat verlaag het tot 34 Gt CO₂ in 2020. Die grootste bydraers was China en die VSA, wat onderskeidelik 10,37 en 4,71 miljard ton in 2020 vrygestel het (NOAA-Global-Monitoring-Laboratory-US-Department-of-Commerce, 2021) (Le Quéré et al., 2021). Die belangrikste drywers vir CO₂-vrystellings vanaf fossielbrandstowwe (2016-data) is verhitting (winter) en elektrisiteitopwekking (42%) (Ritchie & Roser, 2021). China was verantwoordelik vir 'n verbysterende 25% van wêreldwye energieverbruik (58% uit steenkool) in 2019 (O'Meara, 2020). Tans het 27 lande, met inbegrip van Suid-Afrika, een of ander vorm van koolstofbelasting geïmplementeer. Ongeveer 31 lande en die Europese Unie het verder gegaan deur ook datums vir kweekhuisgasneutraliteit (KHG-neutraliteit) vas te stel en mik om dit teen 2060 te bereik (Earth.Org, 2021) (Advani, Prinz, Smurra, & Warwick, 2021) (ClimateActionTracker, 2021) (Kim et al., 2020) (Lamb et al., 2021).

Grond- en oseansinkpunte verwyder jaarliks ongeveer 56% van wêreldwye antropogeniese CO₂, terwyl die res in die atmosfeer agterbly (Blunden & Boyer, 2021) (Masson-Delmotte, et al., 2021). Verligtingstrategieë word dus dringend benodig deur sogenaamde *negatiewe-emissietegnologieë* (NET's) daar te stel om die natuur se pogings aan te vul (Fawzy et al., 2020). Die natuur gebruik 'n uitstekende voorbeeld van 'n NET, naamlik fotosintese, wat deur direkte CO₂-opraping uiteindelik glukose produseer.

Plante benut egter verskillende meganismes wat as C₃, C₄ en CSM (Crassulasiiese suurmetsolisme) (Eng. "crassulacean acid metabolism" of CAM) geklassifiseer word (Schlüter & Weber, 2020) (Berardi et al., 2014) (Bar-Even et al., 2010). Die kernmeganisme van CO₂transformasie is egter die Calvin-siklus wat deur die ribulose-1,5-bisfosfaat-karboksilase/oksigenase- (RuBisCO-) ensiem gekataliseer word. Die C₄- en CSM-meganismes het daarenteen die voordeel van 'n ekstra ensiem, naamlik fosfo-enolpiruvaatkarboksilase (PEPc), wat CO₂ aan piruvaat bind om 'n 4-koolstofmolekuul soos malien- of oksaalsuur (Schlüter & Weber, 2020) (Weber & Bar-Even, 2019) te vorm. Navorsing oor die optimering en/of herleiding van die meganismes binne plante het tot die daarstelling van 'n kunsmatig geskepte karboksileringsensiem, glikoliel-CoA-karboksilase gelei. Dit boots glikolaatbinding deur 'n C₃-metabolietvorming direk na in plaas daarvan om CO₂ direk vry te stel, en dit toon omsetgetalle van 1,4-11,1 s⁻¹, wat goed met natuurlike ensieme en die meeste RuBisCOs vergelyk (Trudeau et al., 2018) (Scheffen et al., 2021).

Die ontwikkeling van NET's sluit pogings in om CO₂ as 'n C1-voerstof te gebruik en behels ook die direkte lugopraping daarvan, byvoorbeeld deur die gebruik van 'n epoksied as substraat om ander waardetoegevoegde produkte soos siklokarbonate en polikarbonate te vorm (Guil-López et al.,

2019). Siklokarbonate het 'n verskeidenheid toepassings en word in verskeidenheid toepassings gebruik, soos polimeer-sintese, litiumioonbattery-elektroliete en dipolêre aprotiese oplosmiddels gebruik (Guo et al., 2021) (Jessop 2011) (Bello Forero et al., 2016) (Schäffner et al., 2008) (Schäffner et al., 2008) (Berh et al., 2002) (Lenden et al., 2011). Dus, ten spyte daarvan dat CO₂ relatief onreaktief is (in lineêre, niepolêre molekuul) en beduidende energie-insette vereis om getransformeer te word ($\Delta G_f^\circ = -394 \text{ kJmol}^{-1}$) (Aresta & van Eldik, 2014), bied hierdie roete 'n oplossing om ten minste 'n gedeelte van die CO₂ via 'n werkbare NET te verwyder.

Primêre chemiese produkte wat industrieel uit CO₂ (Guil-López et al., 2019) gesintetiseer word, is in Tabel S1 gelys. Die gebruik van epoksiede as substrate om CO₂ (deur middel van laatoorgangsmetaal-katalisators, met inbegrip van platinum-groepmetale) vas te vang, lewer siklokarbonate as "groen" oplosmiddels (Alder et al., 2016) (Paddock & Nguyen, 2004) (Ramidi et al., 2013) (Khoshro et al., 2013) (Wang et al., 2012). Hierdie katalisators is effektief in die eksotermiese proses van CO₂-sikloaddisie, kyk Figuur S15 (North & Styring, 2019) (Lamb 2019) (Büttner, et al., 2017).

Drie van die potensiële roetes wat moontlikhede vir CO₂-binding bied, is:

- i. In organiese (byvoorbeeld epoksiede) en organo-metaalstelsels tree CO₂ in die teenwoordigheid van 'n Lewis- of Brønsted-basis as 'n Lewis-suur op, en kan deur verskillende klasse organiese basisse, byvoorbeeld amidiene en guanidiene vasgevang word (Sopeña, et al., 2018) (Heldebrant et al., 2005).
- ii. Meer steries bonkige (groter, steries veeleisende) basisse met funksionele groepe kan CO₂ vanuit omgewingslug vasvang (Seipp et al., 2017).
- iii. Organometaalstelsels (onder andere laatoorgangsmetale en PGM's) (Paddock & Nguyen, 2004) (Ramidi et al., 2013) (Khoshro et al., 2013) (Wang, et al., 2012) wat CO₂-reaksies kataliseer, is bekend (Pradhan & Das, 2023) (Schilling & Das, 2020) (Cauwenbergh et al., 2022) (Vermaak et al., 2024). Hierdie navorsing toon belowende resultate, ook met betrekking tot elektrokatalise (Wu et al., 2019) (Khoshro et al., 2013) en fotokatalise (Kuehnel et al., 2017) (Nakada et al., 2015).

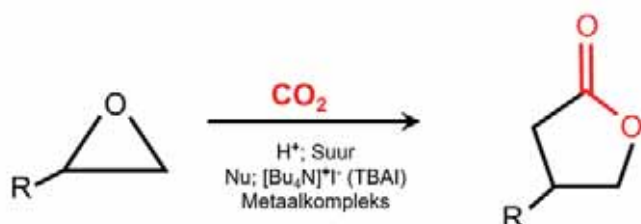
Daar is ook bevind dat relevante PGM-stelsels komplekse insluit wat potensiël in CO₂-vasvangreaksies as katalisators kan optree en wat 1,5-siklootadien (COD) as 'n neutrale bidentate ligand bevat (Hill, 2011) (Hill & Roodt, 2018) (Hill et al., 2013). 'n Aantal rodium-katalisators wat COD bevat, is onder andere ook aktief in die hidrogenering van dubbelbindings (Flörke et al., 1992) (Jiang et al., 2022). Verwante kinetiese ondersoeke van die substitusie van nukleofiele ligande, amidiene en guanidiene (wat moontlik CO₂ kan vasvang) deur piridienanaloeë (byvoorbeeld dimetielaminopiridien (DMAP)), het 'n tienvoudige toename in die vorentoetempokonstante ten gunste van die guanidienligand getoon (Redgard, 2019). Die COD-ligand kan egter ook oksidasie ondergaan (De Bruin et al., 1999), soos reeds geïllustreer (Klein et al., 2015) (Klein et al., 1999).

Die navorsing wat in hierdie artikel aangebied word, fokus direk op moontlike gebruike van epoksiede as substrate om CO₂ vas te vang en die gepaardgaande siklokarbonaat te vorm. Dit evalueer die homogene kataliseproses deur organometaal (Watt et al., 2021) (Lee et al., 2017) (Dolai et al., 2020) en organiese stelsels te ondersoek (Arayachukiat, et al., 2017) (Yingcharoen et al., 2019). Dit rapporteer ook die gedetailleerde en sistematiese kineties-meganitiese ondersoek van siklokarbonaatvorming uit epoksiede en CO₂. 'n Verskeidenheid verskillende parameters wat die proses beïnvloed, is noukeurig geëvalueer, wat 'n volledige tempowet moontlik gemaak het en wat ook die katalitiese proses verklaar. Daar is spesiaal gefokus op die tipe Lewis-suur wat gebruik word, naamlik 'n anorganiese suur, of metaalkatalisator, of 'n organiese suur. Siklokarbonaatvorming uit epoksiede en CO₂ word dus as 'n werkbare opsie aangebied om 'n waardetoegevoegde produk te lewer (North & Styling, 2019).

Resultate en bespreking

Evaluering van verskillende parameters wat die stelsel beïnvloed

Ten einde die stelsel sistematies te evalueer is verskeie parameters geïdentifiseer en oorweeg om die vereenvoudigde reaksie soos weergegee in Skema 1 te bestudeer.



Skema 1: 'n Bondige voorstelling van die huidige studie (kyk ook Figuur 1 vir strukture van gekose epoksiede).

Eerstens is 'n reeks epoksiede op grond van gepubliseerde navorsing gekies. 'n Sistematiese aantal sure is op grond van die literatuur gekies, gevolg deur 'n sistematiese getal sure om die bewerings wat in die literatuur oor askorbiensuur gemaak word te bevestig of te weerspreek. (Dolai et al., 2020) (Arayachukiat et al., 2017) (Yingcharoen et al., 2019). Tweedens is die bydraes van deelnemende spesies, dit wil sê die invloed van tetrabutielammoniumjodied (TBAI), gekose sure, CO₂ en EPI geoptimaliseer. Ten slotte is 'n reeks metaalkatalisators in die geselekteerde omgewingstoestande geëvalueer.

'n Illustrasie en bespreking van die stapsgewyse reaksieprogressie soos gemoniteer deur ¹H-KMR verskyn in Fig. 4 tot

Fig.11 hieronder. Reaksiestempokonstantes sowel as die omsetgetal (TON= (mol produk)/(mol katalisator) na 23 h) en die omsetfrequentie (TOF=TON/23 h) is vir al hierdie parametervariasies bepaal en word stapsgewys gerapporteer.

Keuse van epoksied

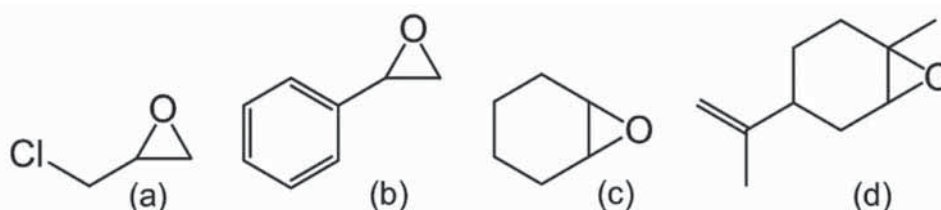
Vier epoksiede soos gerapporteer in die literatuur, te wete epichloorhidrien (EPI), stireenoksied, siklohekseenoksied en limoneenoksied (Figuur 1) is geëvalueer. Hierdie epoksiede is gekies om te bepaal watter die beste as 'n modelsubstraat vir die CO₂-vasvangreaksie sou dien. Ten einde die vormingstempo uit die onderskeibare ¹H-NMR-spektra van die produk, reaktant- en TBAI-pieke (Figuur 2) akkuraat te bepaal, is eksperimente op vorige literatuurwerk gebaseer (Dolai et al., 2020) (Arayachukiat et al., 2017) (Yingcharoen et al., 2019). Die epoksiede (Figuur 1(a)-(d)) is ook met betrekking tot die toenemende steriese bonkigheid gekies om te bepaal in watter mate dit 'n rol speel, indien wel.

Die produkvormingspieke, soos aangetoon in die ¹H KMR-gestapelde spektra (Figuur 2 en S18), is slegs waargeneem vir EPI (Figuur S18(a)) en stireenoksied (Figuur S18(b)). Laasgenoemde epoksied het aansienlik stadiger gereageer as die EPI. Boonop het die gestapelde spektra van limoneen- en siklohekseenoksied (Figuur S18(c) en (d)) nie produkvorming getoon nie en het van die pieke met die TBAI-pieke oorvleuel, wat die kompleksiteit van die sisteem verhoog het. Laasgenoemde twee modelsubstrate se siklokarbonate het ook neerslae gevorm terwyl EPI en stireenoksied vloeistowwe gebly het. Op grond van hierdie resultate is epichloorhidrien (EPI) as die model epoksied geïdentifiseer om die proses verder te evalueer.

Voorlopige KMR-evaluering van produk vorming

Die werk deur Dolai en medewerkers (Dolai et al., 2020) is geëvalueer en uitgebrei na dié van D'Elia (Arayachukiat et al., 2017) (Yingcharoen et al., 2019). Met EPI as die gekose epoksied kon die werklike koolstofdioksiedvasvanging akkuraat en as 'n funksie van tyd geëvalueer word (kyk Figuur 2).

Ten einde die reaksies vanuit 'n kinetiese perspektief akkuraat te kon assessee evalueer, is die reaksiemengsels aanvanklik in chloroform gebruik. 'n Klein hoeveelheid hiervan is periodiek deur ¹H KMR-spektroskopie ontleed. Na deeglike inspeksie van die spektra is daar egter waargeneem dat 'n groter hoeveelheid van die reaktant "verdwyn" het vergeleke met die produk wat gevorm is. Die literatuur het voorgestel dat die oorsaak die moontlike ontbinding van EPI tot die hoogs toksiese fosgeen- en koolstofmonoksied (CO) gasse kon wees. Dit sou verklaar waarom dit nie in die ¹H KMR-spektra waargeneem is nie. Die



Figuur 1: Strukturele voorstellings van die epoksiede wat geëvalueer is: (a) Epichloorhidrien (EPI), (b) stireenoksied, (c) siklohekseenoksied en (d) limoneenoksied

oplosmiddel is gevolglik na benseen en asetoon aangepas, wat egter die verskil in die verandering in die ¹H-KMR-spektra van reaktant en produk beperk het. IR-spektroskopie is uitgesluit as 'n metode om die gasse waar te neem as gevolg van die oorvleuelende pieke met chloroform en EPI. In plaas daarvan is 'n CO-gasdetektor gebruik wat wel die teenwoordigheid van CO bevestig het.

Met bogenoemde in ag geneem is daar besluit om die epoksied gevolglik as *suiwer monsters* te gebruik, aangesien dit ook die reaksietyd dramaties verkort het.

Kinetiese monitering van CO₂-invoeging

Verskillende parameters beïnvloed die proses wat hier onder sistematies bespreek word. So aktiveer suurbyvoeging tot die sisteem byvoorbeeld die reaksie aansienlik. Figuur 3 illustreer reeds visueel die invloed van die byvoeging van 'n suur vergeleke met die afwesigheid daarvan (blanko lopie) in 'n tipiese reaksie. Die ander reaksietoestande was identies (25 mmol EPI en 2 mmol TBAI) met slegs 1 mmol bensoësuur bygevoeg.

Die evaluering van die verskillende sure word egter later in nog meer besonderhede bespreek.

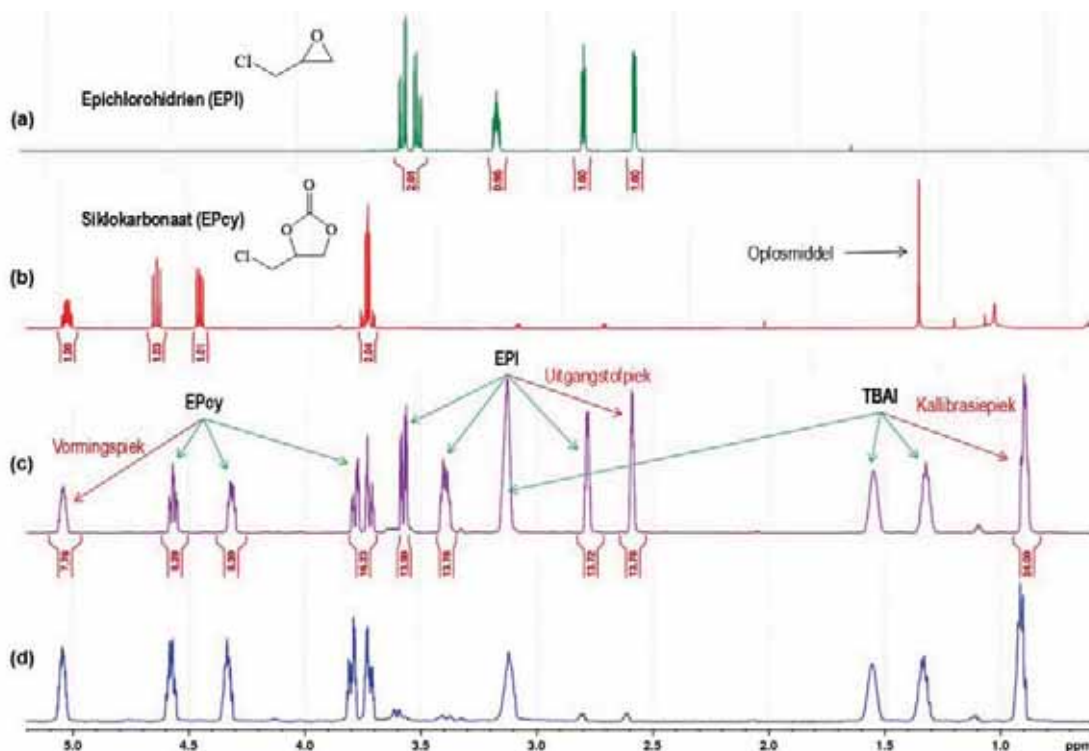
Dit is dus duidelik dat die reaktant(e) en produk(te) in die vasvangreaksie maklik en akkuraat deur ¹H-KMR geïdentifiseer en gemoniteer kan word. Hoewel dit redelik koste-intensief is, is dit deurgaans gebruik om die reaksieproses kineties te volg. Dit

word tipies in Figuur 4 geïllustreer, waarin die reaksies duidelik eenvoudige eersteordegedrag vertoon, soos toegelig in hantering van eksperimentele data (kyk Vgl. 13 en 14).

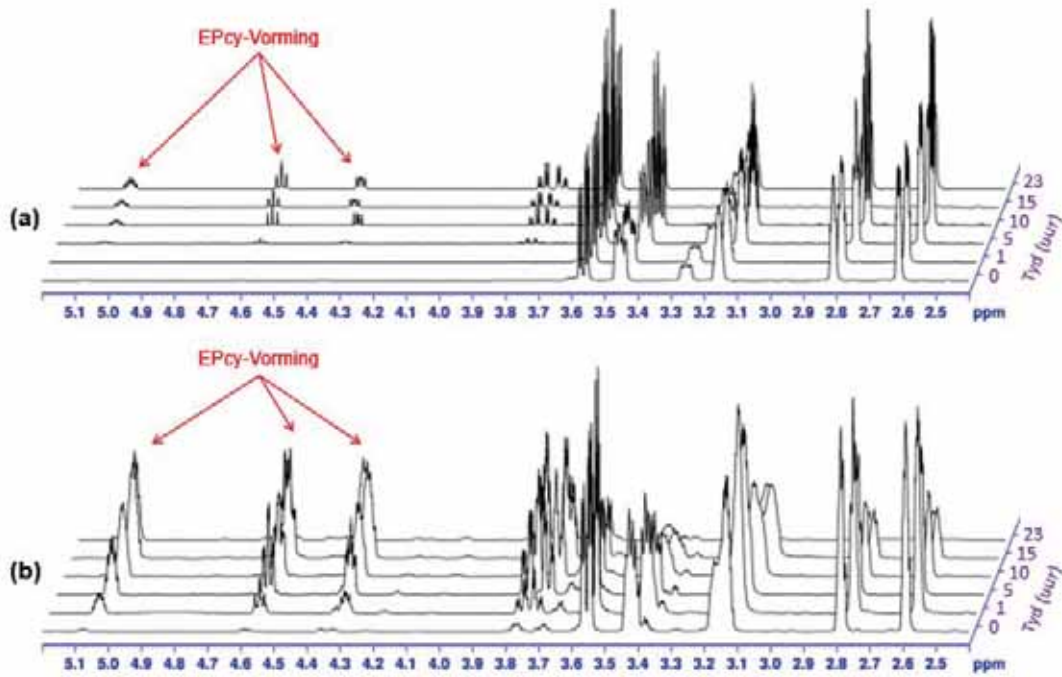
Variasie van sure

Na die keuse van die voorkeurepoksiedmodel, naamlik EPI, is 'n reeks sure (Figuur 5) geëvalueer om die moontlike invloed daarvan op die tempo en vorming van die EPcy vanaf EPI te bestudeer. Die sure wat gekies is, is weereens gebaseer op voorbeelde in die literatuur (askorbien- en bensoësuur) (Arayachukiat et al., 2017) (Yingcharoen et al., 2019). Die ander is selfgeselekteerde suksien-, wynsteen- en sitroensuur. Die veronderstelling was dat swakker sure benodig word om die pH onder swaksuurtoestande te stabiliseer en om te verseker dat die reaksie met CO₂ betekenisvol onder die pK_a-waarde van bikarbonaatvorming is (Krieg et al., 2015). Benewens hierdie sure is die reaksie ook in die afwesigheid van 'n suur (kontrole/blanko lopie) en met 'n basis (metformien) geëvalueer (Moghimi et al., 2011). Die reaksietoestande wat gekies is, was 23 mmol EPI, 1 mmol TBAI en 0,5 mmol suur met 'n CO₂-ballonopstelling (1 atm; kyk Figuur S16).

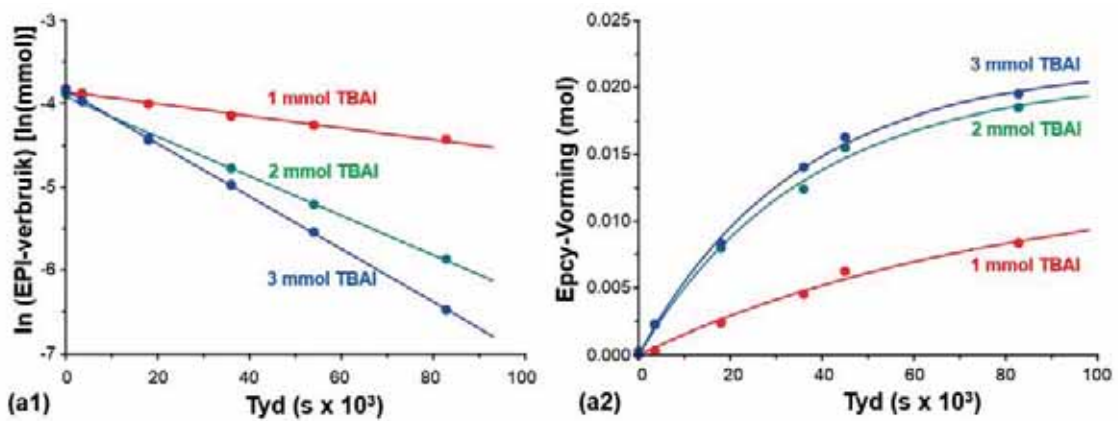
Die resultate van die kontrolemonster ("blanko" monster), askorbien- en bensoësuur word in Tabel 1 en S2 gerapporteer (geïllustreer in Figuur 6, b1 en b2), terwyl metformien, suksien-, wynsteen- en sitroensuur in Tabel 1 en S3 aangedui word (geïllustreer in Figuur 6, a1 en a2).



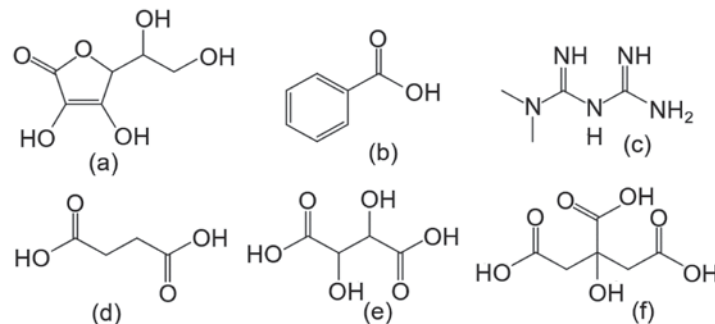
Figuur 2: ¹H-KMR-spektra van reaktante en produkte soos kineties bestudeer: (a) Die ¹H-KMR-spektrum van epichlorhidrien (EPI, reaktant); (b) Die ¹H-KMR-spektrum van die gesuiwerde produk (EPcy) met die oorblywende oplosmiddelpiek (H₂O); (c) Die ¹H-KMR-spektrum wat die pieke van die produk (EPcy), reaktant (EPI) en katalisator (TBAI) illustreer; en (d) Die reaksiemengsel indien die produk nie gesuiwer word nie (bevat TBAI). Die rooi pyle in (c) dui die pieke aan wat gebruik is om die onderskeie produkvormingshoeveelhede (EPcy) en reaktantverbruikhoeveelhede (EPI) kwantitatief te integreer en kalibreer teen die tetrabutielammonium-kation (vanaf akkuraat geweegde hoeveelhede TBAI) se metielproton.



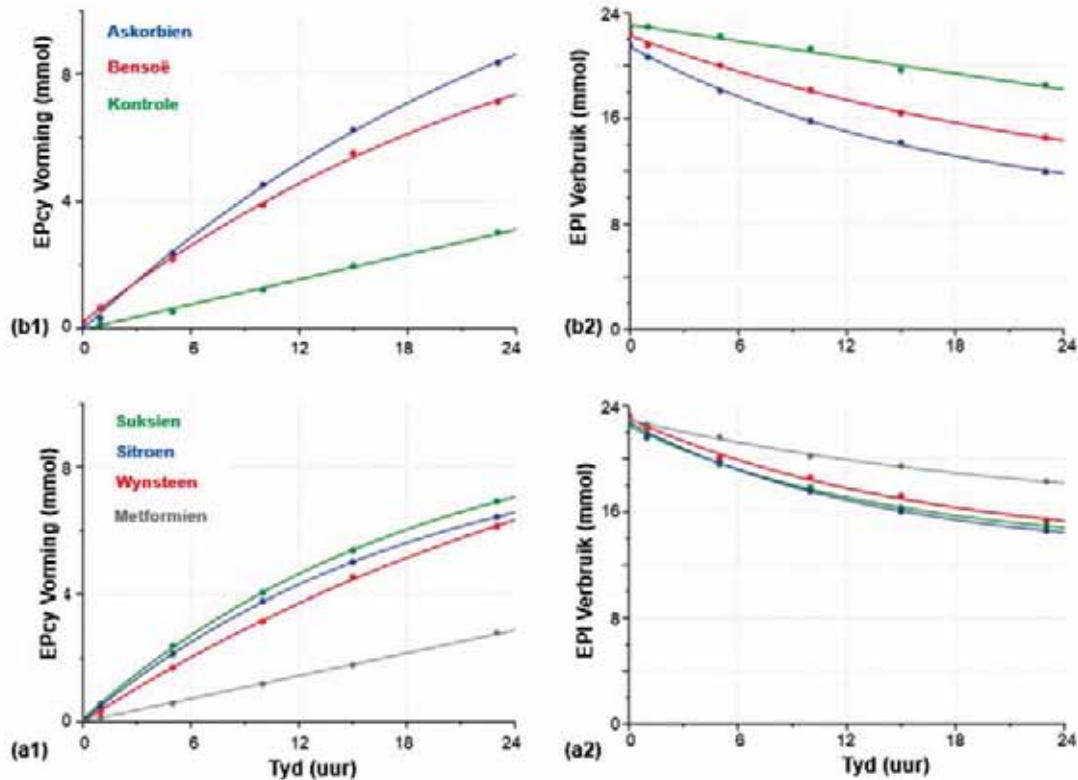
Figuur 3: Gestapelde ¹H-KMR-spektra van die reaksieprogressies wat siklokarbonaatvorming (Epcy) vanaf CO₂ aandui wat deur EPI op 0, 1, 5, 10, 15 en 23 uur vasgevang is, met (a) TBAI en (b) TBAI en bensoësuur. Reaksietoestande: 25 mmol EPI, 2 mmol TBAI, [CO₂] = 1 atm (atm = atmosfeer), by kamertemperatuur (1 mmol bensoësuur slegs vir (b)).



Figuur 4: Illustrasie van die epichloorhidrien (EPI) se verdwyning (kleinstekwadratpassing (KK-passing) (a1) in Vgl. 14, Par. 4.5) en siklokarbonaatvorming (Epcy) (KK-passing in Vgl. 13, hantering van eksperimentele data) (a2), wat die eersteordeafhanklikheid van beide die EPI-verbruik en die Epcyvorming bevestig (Tabel S4). Reaksies is by verskillende TBAI-konsentrasies, soos aangedui, met gebruik van askorbiensuur en CO₂ (1 atm; via ballonopstelling, kyk ook Figuur S16) by kamertemperatuur. [EPI] = 22 mmol, [CO₂] = 1 atm, [TBAI] = 1,2,3 mmol, [suur] = 0,5 mmol.



Figuur 5: Grafiese voorstelling van sure en die basis wat geëvalueer is: (a) askorbiensuur, (b) bensoësuur, (c) metformien, (d) suksiensuur, (e) wynsteensuur en (f) sitroensuur.



Figuur 6: Illustrasie van die kleinste kwadraatpassing (KK-passing) (Vgl. 13) van die (a) EPCy-vorming [a1 en b1] en (b) EPI-verbruik [a2 en b2]. Die reaksie is uitgevoer in die teenwoordigheid van verskillende sure, TBAI en CO₂ (kamertemperatuur), met [EPI] = 23 mmol, [CO₂] = 1 atm, [TBAI] = 1 mmol, [suur] = 0,5 mmol. (Tabel S2 en Tabel S3).

Die teenwoordigheid van 'n suur bevorder duidelik die reaksie wanneer dit vergelyk word met die kontrolereaksie waarin slegs 13,1% EPI omgeskakel is. Die askorbien- (38,5%) en bensoësuur (31,5%) het die hoogste omsettingspersentasie van al die sure getoon, gevolg deur suksiensuur (30,5%), sitroensuur (27,8%) en wynsteensuur (26,3%) (kyk Tabel S2 en S3). Die teenwoordigheid van metformien het die reaksie geïnhibeer en het gelei tot 'n kleiner omskakeling (12,2%) as selfs die kontrole. Die omsetgetal (TON) het gevolglik met betrekking tot TBAI dieselfde tendens gevolg, met askorbien wat die hoogste was (8,4) en metformien die laagste (2,8).

Suksien- en sitroensuur het hoër waargenome tempokonstantes (k_{wg}) van $(15 \pm 1) \times 10^{-6} s^{-1}$ getoon vergeleke met $(10 \pm 2) \times 10^{-6} s^{-1}$ en $(10 \pm 1) \times 10^{-6} s^{-1}$ onderskeidelik vir askorbien- en bensoësuur. Daarteenoor het askorbien- en bensoësuur die hoogste omskakeling getoon. Hierdie twee sure is gevolglik na aanleiding van die beste waargenome omsettings vir verdere evaluering gekies. Daarbenewens is hierdie twee sure gebruik om die ander parameters te evalueer en te bepaal of hulle dieselfde gedrag toon of verskil.

TBAI-optimering

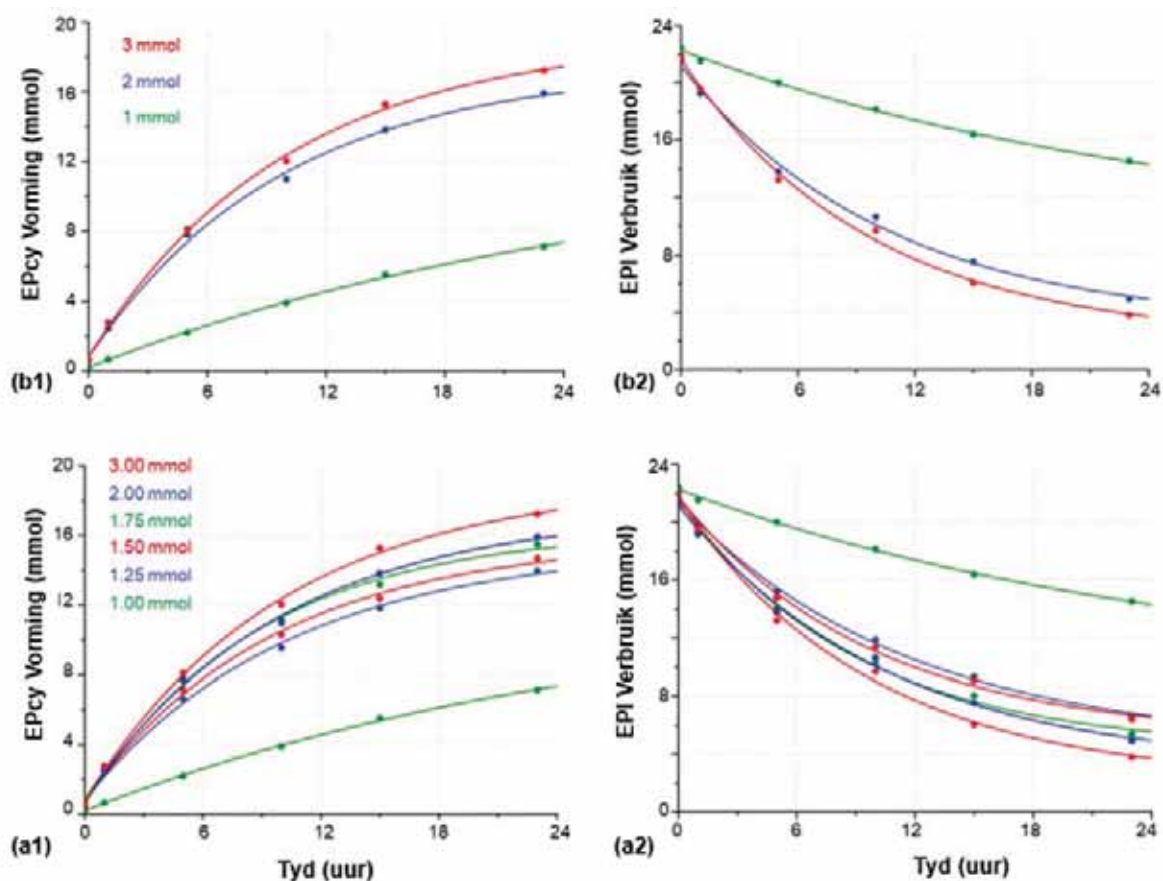
Askorbien- en bensoësuur is gevolglik gebruik om die optimale konsentrasie van TBAI vir die geassosieerde suur verder te evalueer. Die reaksietoestande was onderskeidelik 1, 2 en 3 mmol TBAI, 22 mmol EPI, en 0,5 mmol suur met 'n CO₂-ballonopstelling (1 atm, geïllustreer in Figuur S16). Addisionele TBAI-konsentrasies is met bensoësuur geëvalueer (1,25, 1,50 en

1,75 mmol) om die eksponensiële toename in die reaksie tussen 1 en 2 mmol TBAI meer akkuraat te definieer.

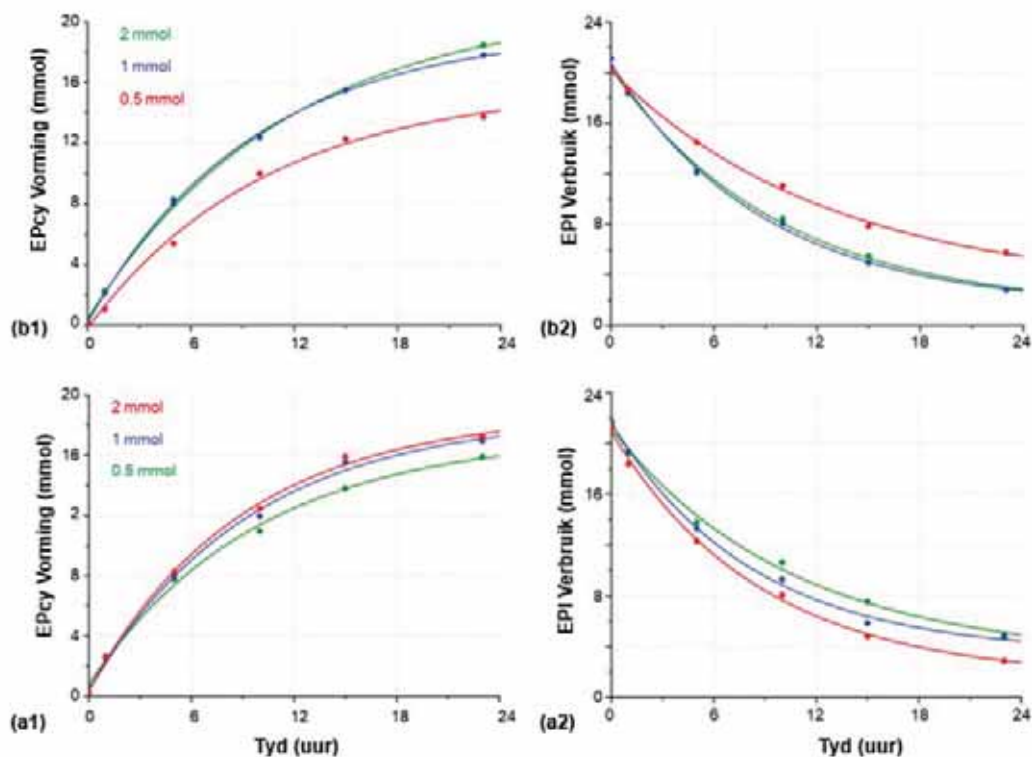
Dit is egter baie belangrik om daarop te let dat daar is ook waargeneem is dat die reaksie beswaarlik plaasgevind het in die afwesigheid van TBAI.

Die resultate vir die askorbien- en bensoësuur geassosieerde reaksies word in Tabel S4 (geïllustreer in Figuur 7b) getoon en bensoësuur geassosieerde reaksies in Tabel S5 (geïllustreer in Figuur 7a). Die waargenome tempokonstante (k_{wg}) vir die EPCy-vorming en EPI-verbruik word saam met die persentasie omskakeling in die produk, TON en TOF aangetoon. Beide sure het aansienlik verbeterde omsettings getoon by hoër TBAI-konsentrasies van 2 mmol en 3 mmol, vergeleke met 1 mmol. Askorbien het die grootste omsetting van 89,4% met 2 mmol TBAI gelewer, vergeleke met die 71,7% vir bensoësuur. Die omsetgetal (TON), ten opsigte van TBAI, was ook die hoogste, 2 mmol vir beide sure, met die askorbienreaksie (9,2) wat 'n hoër waarde as die bensoësuurreaksie (8,0) getoon het. Die waargenome tempokonstantes van die askorbienreaksie ($k_{wg} = (25 \pm 1) \times 10^{-6} s^{-1}$) was egter effens laer (hoewel nie betekenisvol nie) as die bensoësuurreaksie ($k_{wg} = (28 \pm 3) \times 10^{-6} s^{-1}$).

Die stapsgewyse toename in die omsettingspersentasie en die k_{wg} -waarde wat tussen 1 en 2 mmol TBAI vir beide sure waargeneem is (Tabel S4, S5) is verder in meer detail met bensoësuur geassosieer. Die reaksietoestande is herhaal vir 1,25, 1,50 en 1,75 mmol TBAI om die toename in die waardes beter te evalueer (Tabel S5, Figuur 8).



Figuur 7: Illustrasie van die kleinste kwadraatpassing (KK-passing) (Vgl. 13) in die teenwoordigheid van (a) [a1 en a2] bensoësuur (Tabel S5) en (b) askorbiensuur [b1 en b2] (Tabel S4) soos geïllustreer in die EPcy-vorming en EPI-verbruik. Reaksies is by verskillende [TBAI], en CO₂ by kamertemperatuur. [EPI] = 22 mmol, [CO₂] = 1 atm, [suur] = 0,5 mmol, [TBAI] = 1,00, 1,25, 1,50, 1,75, 2,00 en 3,00 mmol. Kyk ook Figuur 11(b).



Figuur 8: Illustrasie van die kleinste kwadraatpassing (KK-passing) (Vgl. 13) van EPcy-vorming [a1 en b1] en EPI-verbruik [a2 en b2]. Reaksies is by (a) verskillende bensoësuurkonsentrasies (Tabel S6), (b) verskillende askorbiensuurkonsentrasies (Tabel S7) (kyk ook Figuur 11(b)) by kamertemperatuur uitgevoer. [EPI] = 22 mmol, [CO₂] = 1 atm, [TBAI] = 2 mmol, [suur] = 0,5, 1, 2 mmol.

Die resultate het 'n toenemende neiging getoon tussen die drie TBAl-konsentrasies vir die k_{wg} en die omsettingspersentasie. Wanneer die k_{wg} waardes van al die TBAl-konsentrasies egter met mekaar vergelyk word (Figuur 7), het die verwantskap 'n stapsgewyse toename getoon wat ewewig of "versadiging" bereik by ongeveer 1,50 mmol TBAl (ewewig of plato is bevestig; kyk ook Figuur 11(b)). Met inagneming van al die resultate met 2 mmol TBAl is verdere eksperimente met hierdie hoeveelheid uitgevoer.

Suuroptimering

Die volgende stap was om die optimale konsentrasie van die twee sure (askorbien- en bensoësuur) te bepaal. Die reaksietoestande was 2 mmol TBAl, 22 mmol EPI, en 0,5, 1 en 2 mmol suur met 'n CO₂-ballonopstelling (1 atm). Die resultate vir die askorbiensuurreaksies word in Tabel S6 (geïllustreer in Figuur 8b) aangedui en bensoësuur word in Tabel S7 (geïllustreer in Figuur 8a) getoon. Die waargenome tempokostante (k_{wg}) vir die vorming en verbruik word saam met die persentasie omskakeling in die produk, TON en TOF, aangegee.

Die gedrag van beide hierdie sure het aansienlik van mekaar verskil, wat 'n toename in omsetting met 'n toename in die suur toon. Die askorbiensuuromsettings was die hoogste by 0,5 mmol (89,4%) en die laagste by 2 mmol (67,3%), terwyl die bensoësuursettings die hoogste by 2 mmol (80,1%) en die laagste by 0,5 mmol (71,7%) was. Beide hierdie sure het egter baie vergelykbare waargenome tempokostantes (k_{wg}) by 1 mmol getoon, met die askorbiensuur- en die bensoësuurreaksie onderskeidelik $(29 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ en $(30 \pm 4) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$.

Ten einde vergelykbare reaksieresultate tussen die sure te handhaaf, is 1 mmol suur gekies as die geoptimaliseerde konsentrasie om mee voort te gaan. Verder is bensoësuur (HBz) gekies omdat daar 'n duideliker onafhanklikheid (plato) van HBz was oor die konsentrasiegebied wat bestudeer is.

Epoksiedoptimering

Die konsentrasie van die epoksied is daarna geëvalueer om die beste EPI te bepaal deur die reaksie vir ongeveer 24 uur te volg. Die drie konsentrasies EPI was ongeveer 25, 40 en 55 mmol (waardes het verskil tussen onderskeie suurreaksies, gebaseer op die kalibrasies (TBAl)). Die ander reaksietoestande is konstant gehou, dit wil sê, 2 mmol TBAl en 1 mmol suur met 'n CO₂-ballonopstelling (1 atm). Die resultate vir die askorbiensuurgeassosieerde reaksies word in Tabel S8 getoon (geïllustreer in Figuur S17a) en bensoësuurgeassosieerde reaksies in Tabel S9 (geïllustreer in Figuur S17b). Die waargenome tempokostante (k_{wg}) vir die vorming en verbruik word saam met die persentasie omskakeling in die produk, TON en TOF getoon.

Beide hierdie sure het soortgelyke tendense getoon vir die omsettingspersentasie en k_{wg} van dalende waardes met 'n toename in die hoeveelheid EPI wat gebruik is. Die askorbiensuursettings was die hoogste by 21 mmol EPI (83,9%) en die laagste by 45 mmol EPI (64,4%), terwyl die bensoësuursettings die hoogste by 22 mmol EPI (77,9%) en die

laagste by 50 mmol EPI (54,4%) was. Die waargenome tempokostante (k_{wg}) van die sure was die hoogste by die laagste EPI-konsentrasies, met waardes van $(29 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ vir die askorbiensuur en $(30 \pm 4) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ vir bensoësuur.

Die afname in die k_{wg} -waardes is egter bloot te wyte aan die verdunning van die ander reaktante (TBAl, CO₂ en die suur) in die EPI, dit wil sê van 21 tot 33 tot 45 mmol, wat k_{wg} -waardes vir die produk vorming van $(29 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$, $(15 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ en $(12 \pm 1) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ (vir askorbiensuur (kyk Tabel S8)), en $(30 \pm 4) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$, $(17 \pm 3) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ en $(15 \pm 3) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ (vir bensoësuur) (kyk Tabel S9). Dit is duidelik dat die verdunning van die TBAl en die suur 'n belangrike rol hierin gespeel het. Hierdie waardes, wanneer dit relatief tot 25 mmol genormaliseer word, gee feitlik identiese k_{wg} -waardes: $(24 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$, $(20 \pm 3) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ en $(22 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ (vir askorbiensuur), en $(26 \pm 4) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$, $(24 \pm 4) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ en $(30 \pm 6) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ (vir bensoësuur) onderskeidelik in toenemende volgorde van hul EPI-konsentrasies. Dit het bevestig dat (a) die tempokostante dieselfde is binne geraamde standaardafwykings, en (b) eersteordeafhanklikheid (weereens) van die tempokostante op EPI as reaktant, soos hierbo afgelei.

Aangesien die hoogste omsettings met die laer EPI-konsentrasies bereik is, is dit gekies omdat dit 'n beter kleinste-kwadratpassing van die data moontlik gemaak het om die k_{wg} te bepaal. Daarbenewens is bensoësuur as die effektiewe suur gekies, as gevolg van strukturele eenvoud (chemies-steriese toeganklikheid) vergeleke met askorbiensuur (Figuur 5).

Metaalkompleksevaluering

Twee metaalkatalisators [Rh(COD)(DBN)Cl] (waar DBN=1,5-diazabisiklo[4.3.0]nie-5-teen) en [Pd(COED)-(DiOMeBpy)]BF₄ (Pd-1) (kyk Figuur 12, Skema 3) is daarna geëvalueer om die beste konsentrasie te bepaal deur die reaksie vir 23 uur te volg. Die drie konsentrasies van die metale was ongeveer 0,025, 0,050 en 0,100 mmol. Die reaksietoestande was 2 mmol TBAl en 1 mmol bensoësuur met die CO₂ ballonopstelling (1 atm). Die resultate vir die [Rh(COD)(DBN)Cl]-geassosieerde reaksies word getoon in Tabel S10 en [Pd(COED)(DiOMeBpy)]BF₄ in Tabel S11 (albei geïllustreer in Figuur 9). Die waargenome tempokostante (k_{wg}) vir die vorming en verbruik word getoon saam met die persentasie omskakeling in die produk, TON en TOF.

Die [Rh(COD)(DBN)Cl] (DBN) katalisator is vergelyk met [Rh(COD)(DBU)Cl] (DBU) en [Rh(COD)(TMG)Cl] (TMG) (waar DBU=1,8-diazabisiklo[5.4.0]undek-7-teen en TMG=1,1,3,3-tetrametielguanidien). Die resultate vir die rodiumkomplekse se geassosieerde reaksies word in Tabel S12 (geïllustreer in Figuur 9a) getoon. Andersyds is die [Pd(COED)(DiOMeBpy)]BF₄ (Pd-1) katalisator vergelyk met [Pd(COED)(Bpy)]SbF₆ (Pd-2), Tabel S13 (Figuur 9b). Die [Rh(COD)(L)Cl]-komplekse (DBN, DBU en TMG) het slegs in hul ligande verskil, maar het tog klein verskille in die resultate getoon. Die omskakelingspersentasie het afgeneem in volgorde van die ligande DBN (78,7%), DBU (74,8%) en TMG (71,9%), en die waargenome tempokostante (k_{wg}) was dieselfde vir DBN $[(30 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}]$ en DBU $[(30 \pm 3) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}]$ terwyl TMG $[(32 \pm 3) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}]$ effens groter was.

Die omskakelingspersentasie en die k_{wg} van [Pd(COED)(DiOMeBpy)]BF₄ (**Pd-1**) en [Pd(COED)(Bpy)]SbF₆ (**Pd-2**) het aansienlik van mekaar verskil. Die omskakeling vir Pd-1 en Pd-2 was onderskeidelik 77,2% en 72,3%, terwyl hul onderskeie k_{wg} -waardes $(29 \pm 5) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ en $(25 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ was.

Die omskakeling en waargenome tempokonstante (k_{wg}) vir die rodiumkomplekse was effens hoër by alle konsentrasies vergeleke met die palladiumkomplekse. Interessant genoeg het die komplekse 'n geringe neiging (hoewel nie betekenisvol nie) tot 'n omgekeerde verwantskap met hul omskakelings getoon. Vir [Rh(COD)(DBN)Cl] het die omskakeling toegeneem tot 79,7% (0,050 mmol), vanaf 78,7% (0,025 mmol), en daarna afgeneem tot 77,7% (0,100 mmol), waar [Pd(COED)(DiOMeBpy)]BF₄ van 77,2% (0,025 mmol) tot 75,0% (0,050 mmol) afgeneem het, en daarna tot 75,6% (0,100 mmol) toegeneem het.

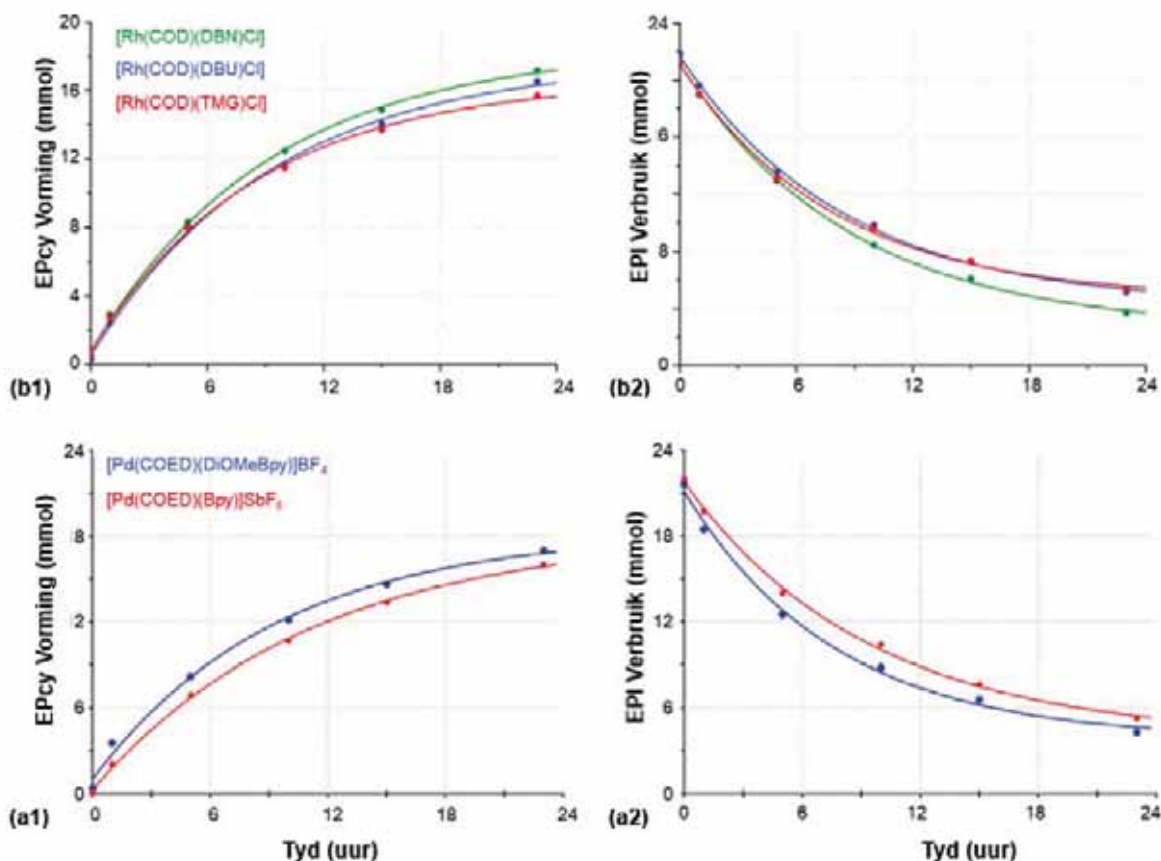
Die omsettingstendens en waargenome tempokonstante vir [Pd(COED)(DiOMeBpy)]BF₄ was dieselfde vir die twee konsentrasies, terwyl die k_{wg} vir [Rh(COD)(DBN)Cl] identies was by konsentrasies van 0,025 mmol $[(30 \pm 2) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}]$ en 0,050 mmol $[(30 \pm 3) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}]$, en hoër by 0,100 mmol $[(33 \pm 4) \times 10^{-6} \text{s}^{-1}]$. Die hoogste TON vir beide komplekse was by 0,050 mmol (TON = 8,8) vir die rodiumkompleks en by 0,025 mmol (TON = 8,5) vir die palladiumkompleks.

Die laer konsentrasie (0,025 mmol) vir die rodium- en palladiumkomplekse is vervolgens gebruik om ander komplekse vir 'n vergelykende analise te evalueer. Die feit dat die Rh- (Tabel S11, Figuur S1(a)) en Pd-katalisators (Tabel S10, Figuur S1(b)) nie 'n beduidende effek op die reaksie getoon het nie, was teleurstellend en sal weer in die toekoms verder ondersoek word. 'n Potensiële verduideliking vir die gebrek aan aktiwiteit kan lê in die laer konsentrasies wat gebruik is. Dit kan ook die gevolg van die verlies aan nukleofilisiteit as gevolg van terugbinding aan die COD-ligand en sinergisme deur middel van die oplosmiddel wees.

[CO₂]-evaluering

Die tempo van EPcy-vorming en EPI-verbruik en orde ten opsigte van CO₂ is ook geëvalueer deur verskillende molfraksies van die gas met argongas in die ballonopstelling te gebruik (Figuur 11(d) en Figuur S16; Tabel S14). Dit is uitgevoer om te bepaal of die CO₂ die reaksietempo beïnvloed en wat die orde daarvan was.

Die resultate (Tabel S15) illustreer dat die omskakelingspersentasie en die k_{wg} , afhanklik is van die hoeveelheid CO₂ wat teenwoordig is, en lineêr toeneem na gelang die konsentrasie CO₂ verhoog word (Figuur 10). Dit dui aan dat die tempo-orde van CO₂ in die ideale reaksietoestand duidelik eersteorde is.



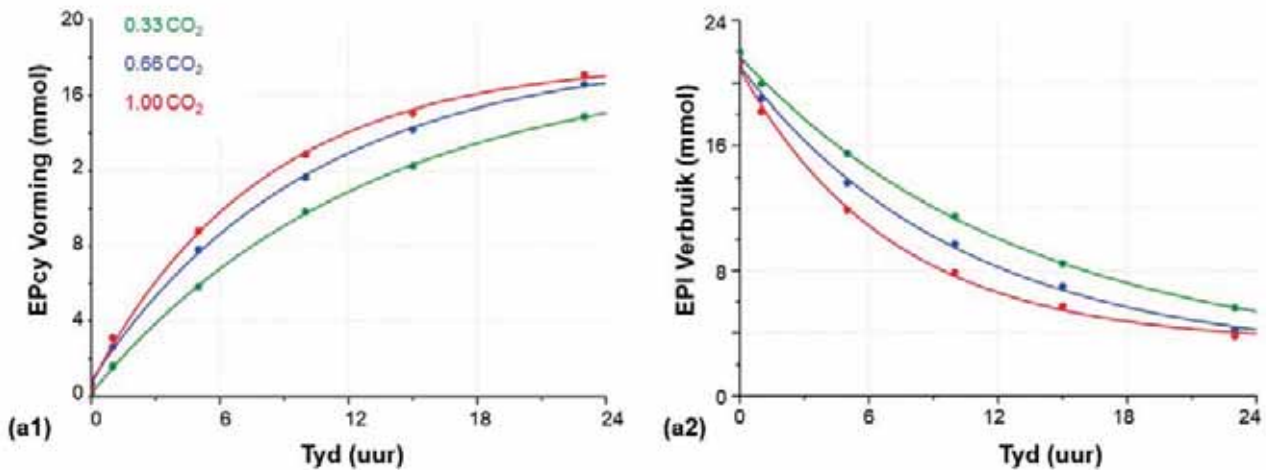
Figuur 9: Illustrasie van die kleinste kwadraatpassing (KK-passing) (Vgl. 13) van EPcy-vorming en EPI-verbruik. Reaksies is in die teenwoordigheid van verskillende metale (a) ([Pd(COED)(DiOMeBpy)]Me₂BF₄ (Pd-1), [Pd(COED)(Bpy)]SbF₆ (Pd-2) [a1 en a2] (Tabel S13), en (b) [Rh(COD)(L)Cl] (DBN, DBU en TMG) [b1 en b2] (Tabel S12). [EPI] = 22 mmol, [CO₂] = 1 atm, [TBAI] = 2 mmol, [bensoësuur] = 1 mmol, [Metaal] = 0,025 mmol.

Voorgestelde meganisme en tempowet**Kombinasie van alle veranderlikes**

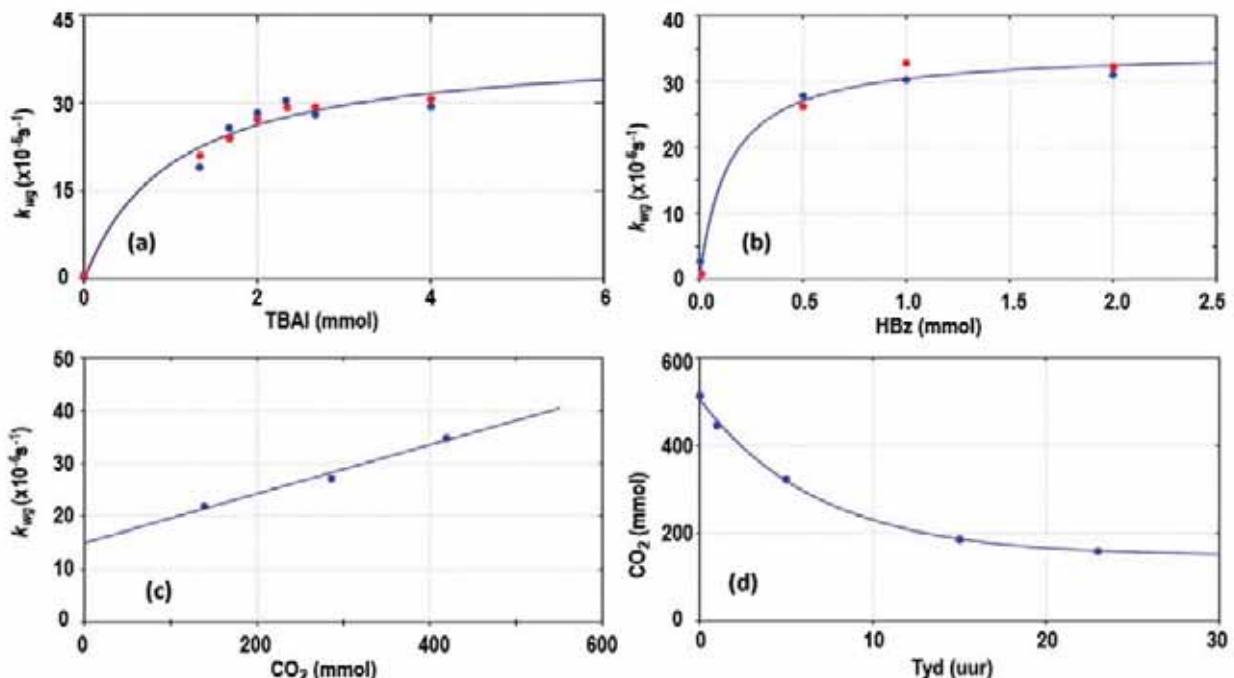
Die hoofparameters wat die tempo van produkvorming beïnvloed en soos hierbo geëvalueer, word opgesom in Figuur 11. Individuele tempo- en ewewigsdata word in Tabel 1 en 2 aangegee. Die evaluering van die verskillende parameters wat die vorming van 'n EPcy met die vasvang van CO₂ deur 'n

epoksied beïnvloed, het 'n verskeidenheid insiggewende resultate verskaf.

Ten einde die bespreking van die resultate wat verkry is sistematies te ondersteun, word die opgesomde resultate (k_{wg} , omskakeling, TON en TOF) van die EPcy-produk vorming (Figuur 6-10) vanaf EPI onderskeidelik in Tabela 1 en 2 verskaf.



Figuur 10: Illustrasie van die kleinste kwadraatpassing (KK-passing) (Vgl. 13) van (a) EPcy-vorming en (b) EPI-verbruik. Reaksies is by verskillende CO₂-molfraksies en kamertemperatuur gedoen. [EPI] = 22 mmol, [TBAI] = 2 mmol, [bensoësuur] = 1 mmol, CO₂ mol = 0,33 (138 mmol), 0,67 (285 mmol) en 1,00 (417 mmol) (Tabel S14 en Figuur 11(c)).



Figuur 11: 'n Grafiese voorstelling van die hoofparameters wat 'n direkte invloed op die waargenome tempokostante toon (k_{wg} ; van EPI-reaktant verdwyning en EPcy-produk vorming). Let daarop dat waar toepaslik, rooi punte die verdwyning van EPI aandui en blou punte die vorming van siklokarbonaat. (a) Optimering van die TBAI (KK-passing, Vgl. 9, saamgestel vanaf Vgl. 1-7, integrasie van Vgl. 8) [EPcy] (kyk Tabel S5 en S7, asook Figuur 7(a)). (b) Optimering van bensoësuur (KK-passing, Vgl. 11, saamgestel vanaf Vgl. 1-10) (Tabel S9). (c) Illustrasie van KK-passing van die waargenome tempokostante (k_{wg}) teenoor [CO₂] in Vgl. 15, en die gevolglike k_f (46 ± 8) $\times 10^{-6}$ M⁻¹s⁻¹ en k_r (15 ± 2) $\times 10^{-6}$ s⁻¹ wat verkry word, lewer 'n K_{eq} -waarde (Vgl. 16) van ($3,1 \pm 0,7$) M⁻¹ (kyk Tabel S14 en S15). Reaksietoestande: [EPI] = 22 mmol, [suur] = 1 mmol, [TBAI] = 2 mmol, CO₂-molfraksies = 0,33 (138 mmol), 0,67 (285 mmol) en 1,00 (417 mmol). (d) Die totale CO₂ in die gasfase neem af tydens reaksie vir die opname of verdwyning van CO₂ tydens die reaksie van 25 mmol EPI, 2 mmol TBAI en 1 mmol askorbiensuur. Die waargenome tempokostante (k_{wg}) (KK-passing in Vgl. 13) is as bepaal (41 ± 5) $\times 10^{-6}$ s⁻¹.

Table 1: Opsomming van k_{wg} , persentasie omskakeling, produkvoorminggetal ("Turnover Number (TON)"), omskakeling oor 'n tydperk van 23 uur en produkvoormingfrekwensie ("Turnover Frequency (TOF)"), omskakeling/uur oor 'n tydperk van 23 uur van die geëvalueerde reaksietoestande. Tensy anders vermeld, was die EPI-konsentrasie 22 mmol, soos geïllustreer in Figuur 6-11 en gerapporteer in Tabel S2-S16.

Verkorte toestande	k_{wg} ($\times 10^{-3}h^{-1}$)	k_{wg} ($\times 10^{-6}s^{-1}$)	Omskakeling (%)	TON	TOF
1 TBAI 0,5 Kontrole ^a	0 ± 10	0 ± 3	13,1	3	0,13
1 TBAI 0,5 Askorbien ^a	35 ± 6	10 ± 2	38,5	8,4	0,36
1 TBAI 0,5 Bensoë ^a	37 ± 5	10 ± 1	31,5	7,1	0,31
1 TBAI 0,5 Suksien ^b	53 ± 2	15 ± 1	30,5	6,9	0,3
1 TBAI 0,5 Sitroen ^b	53 ± 2	15 ± 1	27,8	6,4	0,28
1 TBAI 0,5 Wynsteen ^b	29 ± 4	8 ± 1	26,3	6,1	0,27
1 TBAI 0,5 Metformien ^b	0 ± 5	0 ± 2	12,2	2,8	0,12
1 TBAI 0,5 Asc ^c	35 ± 6	10 ± 2	38,5	8,4	0,36
2 TBAI 0,5 Asc ^c	89 ± 4	25 ± 1	89,4	9,2	0,4
3 TBAI 0,5 Asc ^c	101 ± 5	28 ± 1	89,6	6,5	0,28
1 TBAI 0,5 Bz ^d	81 ± 5	19 ± 1	31,5	7,1	0,31
1,25 TBAI 0,5 Bz ^d	96 ± 14	27 ± 4	62,9	11	0,48
1,50 TBAI 0,5 Bz ^d	104 ± 15	29 ± 4	64,8	9,8	0,43
1,75 TBAI 0,5 Bz ^d	114 ± 14	32 ± 4	69,2	8,9	0,38
2 TBAI 0,5 Bz ^d	101 ± 10	28 ± 3	71,7	8	0,35
3 TBAI 0,5 Bz ^d	100 ± 8	28 ± 2	76,6	5,7	0,25
2 TBAI 1 Asc ^e	104 ± 6	29 ± 2	83,9	8,9	0,39
2 TBAI 2 Asc ^e	96 ± 15	27 ± 4	67,3	6,9	0,3
2 TBAI 1 Bz ^{f, h}	107 ± 14	30 ± 4	77,9	8,5	0,37
2 TBAI 2 Bz ^f	112 ± 11	31 ± 3	80,1	8,6	0,37
40 EPI 2 TBAI 1 Asc ^g	55 ± 8	15 ± 2	78,2	13,1	0,57
55 EPI 2 TBAI 1 Asc ^g	44 ± 3	12 ± 1	64,4	14,6	0,63
40 EPI 2 TBAI 1 Bz ^h	60 ± 10	17 ± 3	65,5	12,1	0,53
55 EPI 2 TBAI 1 Bz ^h	54 ± 10	15 ± 3	54,4	13,7	0,6
0,33 CO ₂ 2 TBAI 1 Bz ⁱ	78 ± 2	22 ± 1	67,4	7,4	0,32
0,67 CO ₂ 2 TBAI 1 Bz ⁱ	98 ± 5	27 ± 1	75	8,3	0,36
1,00 CO ₂ 2 TBAI 1 Bz ⁱ	126 ± 11	35 ± 3	79,2	8,5	0,37
1,00 CO ₂ 2 TBAI 1 Asc ^j	141 ± 11	41 ± 5	83,7	8,8	0,39

a) Figuur 6(b), Tabel S2; b) Figuur 6(a), Tabel S3; c) Figuur 7(b), Tabel S5; d) Figuur 7(a), Tabel S4; e) Figuur 8(a), Tabel S6; f) Figuur 8(b), Tabel S7; g) Figuur S17(a), Tabel S8; h) Figuur S17(b), Tabel S9; i) Figuur 11, Tabel S14; en j) Tabel S16.

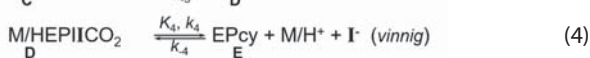
Table 2: Opsomming van tempo- en ewewigkonstantes wat verband hou met die katalitiese skema (Skema 2) en Vgl. 1-4. Die algemene reaksietoestande was [EPI] = 22 mmol, [TBAI] = 2 mmol, [bensoësuur] = 1 mmol, [CO₂] = 1 atm – tensy anders vermeld.

Konstante/ Parameter	Eksperiment	Notas:
K_{eq}	TBAI plato (Bensoësuur) (1150 ± 120) M ⁻¹	[TBAI] = 1-3 mmol Figuur 11(a)
k_1	(42 ± 5) × 10 ⁻⁶ s ⁻¹	Figuur 11(a)
K_{eq}	CO ₂ tempokonstantebepaling (3,1 ± 0,7) M ⁻¹	[CO ₂] wisseling Figuur 11(c)
k_f	(46 ± 8) M ⁻¹ 10 ⁻⁶ s ⁻¹	Figuur 11(c)
k_r	(15 ± 2) × 10 ⁻⁶ s ⁻¹	Figuur 11(c)
K_1	Ewewigkonstantes 4 × 10 ³ M ⁻¹	NB: Figuur 11 Figuur 11(b)
K_2	1 × 10 ³ M ⁻¹	Figuur 11(a)
k_{wg} (TON, TOF) ^a	Bensoësuur reaksie-invloed (28 ± 3) × 10 ⁻⁶ s ⁻¹ (8,0, 0,35)	BenzH pK _a = 4,06 2 mmol TBAI, 0,5 mmol suur
k_{wg} (TON, TOF) ^a	(30 ± 4) × 10 ⁻⁶ s ⁻¹ (8,5, 0,37)	2 mmol TBAI, 1 mmol suur
k_{wg} (TON, TOF) ^a	Askorbiensuur reaksie-invloed (25 ± 1) × 10 ⁻⁶ s ⁻¹ (9,2, 0,40)	AscH pK _a = 4,04 2 mmol TBAI, 0,5 mmol suur
k_{wg} (TON, TOF) ^a	(29 ± 2) × 10 ⁻⁶ s ⁻¹ (8,9, 0,39)	2 mmol TBAI, 1 mmol suur

^a Produkvoorminggetal en Produkvoormingfrekwensie ("Turnover Number (TON)" en "Turnover Frequency (TOF)")

Toepaslike reaksies

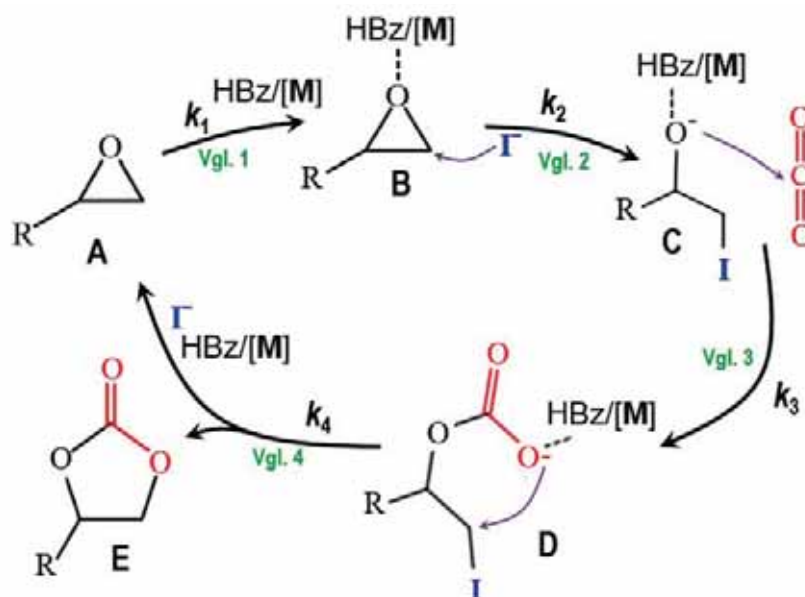
Die gedrag wat in Figuur 11 geïllustreer word, kan in afsonderlike stappe opgedeel word, wat verband hou met die volledige katalitiese siklus, en dit word hier onder geïllustreer. Bogenoemde variasie van die verskillende parameters lewer die voorgestelde reaksieskema van koolstofdioksiedopname deur EPI met TBAI en bensoësuur, en die identifisering van vier afsonderlike stappe (kyk Vgl. 1-4). Let wel: Soos deurgaans hierbo in die teks gebruik, is EPI=epichlorohidien, en in Vgl 1-4 hier onder word die jodiedioon as I aangedui.



- Die eerste stap (Vgl. 1) wat deur k_1 gedefinieer is, word beskou as die interaksie en/of protonering van die epoksied deur die suur.
- Die jodiedioon van die TBAI val vervolgens die epoksiedring (k_2) aan om ringopening moontlik te maak (Vgl. 2).
- Die koolstofatoom van die CO₂ word daarna deur die nukleofiele suurstofatoom van die epoksied (k_3) aangeval, wat gevolg word deur die ringsluiting (Vgl. 3; tbs = tempobepalende stap)
- Die finale stap (Vgl. 4) is die uitsplyting van die produk EPcy (k_4) en gepaardgaande hergenerering van die suur en TBAI.

Katalitiese siklus

Die katalitiese siklus soos afgelei vanuit die resultate wat voorheen aangedui is, word in Skema 2 aangetoon.



Skema 2: Voorgestelde katalitiese siklus vir die vorming van EPcy (E) vanaf EPI (A) in die teenwoordigheid van TBAI, bensoësuur en CO₂. Vir eenvoud word slegs die voorwaartse stappe in die siklus aangedui (kyk ook Vgl. 1-4). Boonop word die bensoësuur eenvoudig aangedui as HBz ([H⁺] in Vgl. 1-4), en die TBAI as [I⁻], met die epoksiedbevattende spesies aangedui as A, B, C en D, en die finale siklokarbonaatprodukt (EPcy) deur E.

Die data (Figuur 11) dui op 'n ewewig wat in intermediêre stappe teenwoordig is, ook afgelei van die KMR-spektra (Figuur S2 en 11(c)), wat impliseer dat daar tussengangerspesies is wat deur 'n verandering in TBAI en bensoësuur beïnvloed word. Al vier die reaksies (Vgl. 1-4), soos in Skema 2 geïllustreer, word dus as potensieël ewewigte geskryf, maar word verfyn soos verder hier onder bespreek. Die feit dat al die reaksies nie volledig plaasvind nie, is 'n duidelike manifestasie van die netto ewewig teenwoordig vir die algehele reaksievolgorde.

Gebaseer op (a) die parameters wat waarneembare effekte op die tempokonstantes vertoon (Figuur 11); (b) dit wat uit literatuur bekend is (Guo et al., 2021); en (c) ander algemene waarnemings, kan die volgende gevolgtrekkings gemaak word vir die katalitiese siklus soos in Skema 2 geïllustreer:

- Daar word aanvaar dat in 'n reeks opeenvolgende reaksies die totale reaksieorde van die gekombineerde proses bepaal word deur alle reaksies wat die tempobepalende stap voorafgaan. Duidelike invloede op beide die (i) Bensoësuur (Figuur 11(b)) en (ii) die TBAI (Figuur 11(a)) word waargeneem, en aangesien dit bekend is dat protonering/deprotonering (Vgl. 1), sowel as nukleofiele haliedaanval op die alfakoolstof van 'n epoksied (Vgl. 2) gewoonlik baie vinnig is (Guo et al., 2021), dui dit daarop dat die daaropvolgende aanval deur die oopringepoksied-O-atoom op die C-atoom van die CO₂ (Vgl. 3) heel waarskynlik die tempobepalende stap (tbs) is.
- Aangesien die vormingstempo van die produk (EPcy, E in Skema 2) dieselfde is (binne die geraamde standaardafwykings; kyk byvoorbeeld Figure 6-10) as die verdwyning van die reaktant EPI, kan daar afgelei word dat die regenerasie van die suur en die jodiedioon, met die parallelle en gelyktydige vorming van die EPcy, 'n vinnige proses is.

- Die reaksieprofiel van $-d[A]/dt$ en $d[E]/dt$ vs $[I^-]$ of $[suur]$ toon beide tempobepoerende kinetika (vorming van plato's; kyk Figuur 11(a) en (b); in ooreenstemming met Vgl. 8 en 9, en bevestig potensieel vinnige pre-ewewigte, wat met hierdie stappe geassosieer word (Vgl. 2 en 3). Dit is ook duidelik vanuit die KMR-data in Figuur S2. Die ewewigskonstantes gedefinieer deur Vgl. 2 en 3 is onderskeidelik $K_1 \approx 4 \times 10^3 \text{ M}^{-1}$ en $K_2 \approx 1 \times 10^3 \text{ M}^{-1}$. Verder, soos hierbo aangedui, is die feit dat nie een van die onderlinge reaksies volledig plaasvind nie, 'n duidelike manifestasie van die ewewig wat vir die reaksie in die geheel teenwoordig is.
- Die direkte voorafgaande waarneming regverdig dus die aanname dat onder toestande soos in hierdie studie gebruik, die vorming van die geprotoneerde spesie B > 95% is wanneer die $[H^+] \approx 0,7 \text{ mmol}$ (Figuur 11(b)). Die vorming van spesie C, waarin beide die bensoësuur en die jodiedioon 'vasgevang' is, word egter slegs bereik by $[I^-] \approx 2 \text{ mmol}$, wat naby die versadigings-'limiet' van die TBAI is (Figuur 11(a)). Verdere eksperimente is dus op hierdie plato uitgevoer, dit wil sê by $\approx 1-2 \text{ mmol}$.
- Derhalwe is dit interessant om in Figuur 11(c) daarop te let dat by die koolstofdioksiedwisseling, beide die $-d[A]/dt$ en $d[E]/dt$ vs $[CO_2]$ 'n lineêre verwantskap met 'n beduidende afsnit toon. Soos aangedui, word daar aanvaar dat hierdie stap tempobepalend is. Hierdie afsnit suggereer dan (i) 'n parallelle gelyktydige reaksie, óf (ii) 'n omkeerbare reaksie wat verband hou met die intramolekulêre nukleofiele aanval van die peroksied se O-atoom op die koolstofdioksied se C-atoom.
- Soos hierbo aangedui is daar duidelike bewyse dat die volledige sisteem in ewewig is. Indien nie, moes die omskakeling na die EPcy selfs by laer $[I^-]$ naby aan kwantitatief plaasgevind het. Dis egter duidelik nie die geval nie (kyk Figuur 6-10) en dui gevolglik daarop dat die algehele ewewigskonstante (K_{tot}) vir die totale reaksie in die orde van 4 is. Dit impliseer dat die algehele reaksie slegs tot 'n ongeveer 75% voltooiing verloop in die omstandighede wat bestudeer is. Dit is *presies* wat waargeneem word.
- Ten slotte, die geringe invloed van die metaalkatalisatormodelle van die rodium- en palladiumkomplekse was teleurstellend (kyk Figuur 9). Die PGE was egter baie laag as gevolg van oplosbaarheidprobleme wat ondervind is en sal in die toekoms verder ondersoek word. Ten spyte van hierdie negatiewe waarneming, blyk dit dat daar 'n neiging is (hoewel klein, en glad nie oortuigend nie, maar steeds klaarblyklik teenwoordig) dat (i) die Rh-komplekse die aktiwiteit effens verhoog, terwyl (ii) beide die Pd-komplekse die tempo van die katalise effens verlaag.

Afleiding van die tempowet

'n Toepaslike tempowet kan dus afgelei word deur al bogenoemde waarnemings in ag te neem. Slegs vergelykings wat direk relevant is tot die bespreking word hier onder ingesluit (vir volledige lys, sien Aanvullende Inligting).

Indien daar aangeneem word dat die opname van die koolstofdioksied (Vgl. 3) die tempobepalende stap is, met die daaropvolgende ringsluiting en siklokarbonaat se vorming vinnig (EPcy), volg die volgende:

$$\frac{d[E]}{dt} = -\frac{d[A]}{dt}, \text{ en by tyd } = t: \frac{d[D]}{dt} = k_3[C]_t[CO_2] - k_{-3}[D]_t \quad (5)$$

Die totale konsentrasie van die epoksied (in verskillende vorme, A, B en C), net voor die stap in Vgl. 3 begin, word dan weergegee deur:

$$[EP]_{tot} = [C]_t + [B]_t + [A]_t \quad (6)$$

Vir elkeen van die reaksies in Vgl. 1 en 2 word 'n ewewig aanvaar wat, met insluiting in Vgl. 6, die uitdrukking in Vgl. 7 lewer:

$$[C]_t = \frac{[EP]_{tot}(K_1K_2[H^+][I^-])}{\{1+K_1[H^+]+K_1K_2[H^+][I^-]\}} \quad (7)$$

Die vervanging van Vgl. 7 in Vgl. 5 lewer die oorkoepelende tempowet:

$$\frac{d[D]}{dt} = \frac{k_3[EP]_{tot}[CO_2](K_1K_2[H^+][I^-])}{\{1+K_1[H^+]+K_1K_2[H^+][I^-]\}} - k_{-3}[D]_t \quad (8)$$

Drie algemene opmerkings oor die tempowet en die individuele afhanklikheid van reaktante is dus geregverdig. Let daarop dat, na gelang van watter parameter gemodifiseer word, die tweedeorde-tempokonstantes aangedui word deur k'_3 , k''_3 en k'''_3 , wanneer $[I^-]$, $[H^+]$ en $[CO_2]$, onderskeidelik gewissel word:

- Met inagneming van die toestande wat vir hierdie studie gekies is (Figuur 11(b), waar $K_1[H^+] \gg 1$), lewer integrasie van Vgl. 8 die uitdrukking in Vgl. 9 vir die waargenome tempokonstante k_{wg} (gebaseer op die verdwyning van die EPI of vorming van die EPcy en met $k'_3 = k_3K_2$):

$$k_{wg} = \frac{k'_3[CO_2][I^-]}{1+K_2[I^-]} + k_{-3} \quad (9)$$

Vgl. 9 verklaar die waarnemings wat gemaak is soos aangedui in Figuur 11(a), waarin die $[I^-]$ gevarieer is terwyl die $[H^+]$ en $[CO_2]$ konstant gehou is. As die terugwaartse reaksie weglaatbaar is, of as dit nie betroubaar bepaal kan word nie, kan dit nie sinvol in die kleinste kwadraatpassing (Figuur 11(a) en (b)) ingesluit word nie.

- Indien Vgl. 8 dan gemodifiseer word onder 'n ander reeks toestande soos in hierdie studie gebruik is (naamlik by 'n vaste $[TBAI] = 2 \text{ mmol}$ en variërende bensoësuur, 'n parameterstel waar 'n plato bereik is) word Vgl. 10 en 11, die uitdrukking vir die waargenome tempokonstante (in die veronderstelling dat K_2 groot is $[= 1150 \pm 120) \text{ M}^{-1}$, Figuur 11(b)), verkry:

$$k_{wg} = \frac{k_3[CO_2][I^-]2K_1[H^+]}{1+K_2[I^-]+K_1[H^+]+2K_1[H^+]^2} + k_{-3} \quad (10)$$

Of:

$$k_{wg} = \frac{k'_3[CO_2][I^-]K_1[H^+]}{a+K_1[H^+]} + k_{-3} \quad (11)$$

Dit is duidelik dat Vgl. 11 ook die korrekte gedrag met betrekking tot die byvoeging van die suur as protonskenker in die oorkoepelende proses voorspel (kyk Figuur 11(c), waar k'_3 die tempokonstante geassosieer met die komplekse tempowet soos afgelei in totaal aandi, met die belangrike afhanklikheid van die koolstofdioksied, katalisator (jodiedanione) en suur).

- Ten slotte, deur die $[CO_2]$ te varieer terwyl die $[I^-]$ en $[H^+]$ op vaste waardes gehou word, maar sodanig dat beide $K_1[H^+] \gg 1$ en $K_2[I^-] \gg 1$, word Vgl. 12 verkry. Dit toon die afhanklikheid van die waargenome tempokonstante ten opsigte van $[CO_2]$ (kyk Figuur 11(c)).

$$k_{wg} = k'''_3[CO_2] + k_{-3} \quad (12)$$

Samevattende kommentaar

Alle toepaslike tempo- en ewewigskonstantes soos verkry uit die uitgebreide eksperimente hierbo beskryf en geïllustreer, word in Tabel 1 en 2 opgesom.

Die tipe epoksied speel 'n deurslaggewende rol (Figuur 1) in die reaksie, wat geïllustreer word deur die beduidende vormings-tempoverskille wat aanvanklik tussen EPI en stireenoksied waargeneem is. Dit dui op laasgenoemde epoksied se moontlike groter bonkigheid (steriese veeleisendheid), wat die reaksie kan inhibeer.

Een waarneming wat duidelik uit Vgl. 10 blyk, met die ooreenstemmende data wat in Figuur 11(c) aangebied word, is die bevestiging van 'n afsnit as terugwaartse stap. Die helling van die lyn word weergegee deur k''_3 en die afsnit deur k_3 .

Soos hierbo aangedui, kon die teenwoordigheid van 'n afsnit egter nie oortuigend bevestig of uitgesluit word deur die data wat aangebied is nie (kyk Figuur 11(a) en (b), onderskeidelik; [H⁺] of [I⁻] gevarieer). Dit sluit faktore in soos die beperkte oplosbaarheid van verskillende reaktante. 'n Bydraende aspek is die feit dat groter as normaal waargenome geraamde standaardafwykings van individuele tempokonstantes teweeggebring is deur beperkte KMR-eksperimente wat vir elke individuele datapunt uitgevoer is. Dit het 'n sinvolle variasie van die toepaslike parameters uitgeskakel.

Ten spyte van hierdie oënskylik negatiewe waarneming, word daar steeds tot die slotsom gekom dat die tempowet soos afgelei (Vgl. 8), 'n *baie goeie voorstelling* is van die gedrag van die komplekse sisteem (gebaseer op die katalitiese siklus (Skema 2) soos voorgestel, met vereenvoudigings soos in Vgl. 9-11 aangegee word). Al die tendense soos in die uitgebreide eksperimente waargeneem is, word deur die tempowet verklaar.

Die veranderende k_{wg} en omsettingskoerse wat waargeneem is vir die verskillende sure wat in Figuur 6 aangetoon word, dui daarop dat die pK_a -waarde nie die enigste parameter is wat die reaksie beïnvloed nie, maar dat ook die Brønsted-suurheid en getal suurprotone ook 'n parameter is. Dit stem ooreen met literatuur (Watt et al., 2021) (Arayachukiat et al., 2017) waar TBAI met askorbiensuur (4 suurprotone, $pK_a = 4,04$ – relatief tot die suurste proton) en 'n askorbiensuurderivaat met 2 suurprotone ($pK_a = 4,06$) gelei het tot 'n EPI-omskakeling van onderskeidelik 70% en 58%. Twee bykomende askorbiensuurderivate met onderskeidelik 1 en 2 suurprotone het egter gelei tot 'n EPI-omsetting van 74% en 80% (beide $pK_a \approx 11,3$ – raming gebaseer op askorbiensuur). Dit illustreer dat die pK_a waarskynlik 'n groter rol speel as die getal suurprotone (Watt et al., 2021) (Arayachukiat et al., 2017). Daar word verder in dieselfde artikel bevestig dat fenol ($pK_a = 9,90$) 'n omskakeling van 87% gelewer het. Dit kan potensieel verantwoordelik wees vir die laer omsettings (Tabel S3, Figuur 6) vir suksien-, wynsteen- en sitroensuur, wat suurprotone het met pK_a -waardes wat laer as dié vir askorbien- en bensoësuur is.

Die verwantskap tussen askorbien- en bensoësuur (0,5 mmol suur) met verskeie TBAI-konsentrasies (Tabel S4 en S5; Figuur 7

en 11), naamlik 1, 2 en 3 mmol, het getoon dat die omsettingsplato vir askorbiensuur vanaf 2 mmol TBAI (89,4% en 89,6%, onderskeidelik) voorkom. Die omskakeling vir bensoësuur was daarenteen by 2 mmol onderskeidelik 71,7% en 76,6% (Figuur 11). Die omgekeerde het geblyk vir die k_{wg} waar dit vir albei sure by > 2 mmol gemanifesteer het (askorbiensuur $(25 \pm 1) \times 10^{-6} s^{-1}$ en $(28 \pm 1) \times 10^{-6} s^{-1}$; en bensoësuur $(28 \pm 3) \times 10^{-6} s^{-1}$ en $(28 \pm 2) \times 10^{-6} s^{-1}$). Dit was interessant dat bensoësuur $((28 \pm 3) \times 10^{-6} s^{-1})$ dus 'n effens groter k_{wg} as askorbiensuur getoon $((25 \pm 1) \times 10^{-6} s^{-1})$ het, maar 'n kleiner omsetting (71,7% teenoor 89,4%, onderskeidelik). Die beste vergelykbare TON vir askorbien- en bensoësuur (0,5 mmol suur) was met 2 mmol TBAI (9,2 en 8,0 onderskeidelik).

Die resultate van die optimering van die suurkonsentrasie (0,5, 1 en 2 mmol) relatief tot 2 mmol TBAI (Tabel S4, S5), het vir bensoësuur 'n *toename* in die omskakeling na EPcy (71,7%, 77,9% en 80,1%, onderskeidelik) en k_{wg} $((28 \pm 3) \times 10^{-6} s^{-1}$, $(30 \pm 4) \times 10^{-6} s^{-1}$ en $(31 \pm 3) \times 10^{-6} s^{-1}$ onderskeidelik) aangedui. Daarenteen het askorbiensuur 'n *afname* in omskakeling getoon (89,4%, 83,9% en 67,3%). Die omskakeling kan daarop dui dat by 'n spesifieke askorbiensuurkonsentrasie van 0,5 mmol (en 2 mmol TBAI) daar 'n ekwivalente getal suurprotone is (vier per askorbiensuur). Wanneer die suurkonsentrasie verhoog word, is daar 'n "oorskot" van protone, wat dan moontlik die reaksie kan inhibeer. Literatuur suggereer dat die getal suurprotone moontlik 'n rol in die reaksie kan speel. Daar is egter geen evaluering van 'n enkele suur met veelvuldige suurprotone en by verskillende konsentrasies relatief tot 'n spesifieke TBAI-konsentrasie uitgevoer nie. (Hill & Roodt, 2018) (Redgard, 2021) (Roodt et al., 2022).

Wanneer die reaksies vir beide sure met $[H^+] = 0,5$ mmol met 2 mmol TBAI in verskillende EPI-konsentrasies van ongeveer 22, 35 en 50 mmol (Figuur S14, Tabel 1) uitgevoer is, het die genormaliseerde waardes relatief tot 25 mmol feitlik identiese k_{wg} -waardes getoon. Hierdie k_{wg} -waardes van beide askorbiensuur $[(24 \pm 2) \times 10^{-6} s^{-1}$, $(20 \pm 3) \times 10^{-6} s^{-1}$ en $(22 \pm 2) \times 10^{-6} s^{-1}]$ en bensoësuur $[(26 \pm 4) \times 10^{-6} s^{-1}$, $(24 \pm 4) \times 10^{-6} s^{-1}$ en $(30 \pm 6) \times 10^{-6} s^{-1}]$, onderskeidelik in toenemende volgorde van hul EPI-konsentrasies, was dus basies dieselfde. Dit het bevestig dat die tempokonstantes almal vergelykbaar binne geraamde standaardafwykings was, en het die eersteordeafhanklikheid van die tempokonstantes op [EPI] as reaktant bevestig.

Die tempo-orde van CO₂ is ook as eersteorde bepaal (Figuur 10 en 11(c), Tabel 1), soos geïllustreer met molfraksies van 0,33 (138 mmol), 0,67 (285 mmol) en 1,00 (417 mmol). Dit het onderskeidelik k_{wg} -waardes van $(22 \pm 1) \times 10^{-6} s^{-1}$, $(27 \pm 1) \times 10^{-6} s^{-1}$ en $(35 \pm 3) \times 10^{-6} s^{-1}$ gelewer.

Die effektiëste metaalkatalisators wat geëvalueer is, was die rodiumkomplekse, gevolg deur dié van palladium. Literatuur het getoon dat die ligande DBN, DBU en TMG uitstekende CO₂-vasvangmiddels is, en dit kan moontlik 'n rede wees vir die verbeterde k_{wg} -waardes wat waargeneem is (Redgard, 2019) (Yoshida et al., 2018). Die gebruik van DBU as 'n nukleofiel in soortgelyke epoksiedreaksies met TBAI het geen suuraktiwiteit getoon nie (Guo et al., 2021). Die verlaagde omskakelingskoerse

kan egter toegeskryf word aan die sterk basisiteit van hierdie ligande wat die sure deprotoneer. Die palladiumkomplekse het die swakste gevaar en kan moontlik as gevolg van die koördinering van die jodiedioon met die komplekse óf protonering van die η^3 -allielbinding wees.

Terwyl 'n reaksieskema voorheen in die literatuur voorgestel is, is 'n deeglike ondersoek om die tempowet van die reaksie te ontwikkel nie voorheen gerapporteer nie. (Watt et al., 2021) (Dolai et al., 2020) (Guo et al., 2021). Gegewe dat die reaksie met tipiese atmosferieseomgewing-CO₂-druk in hierdie studie uitgevoer is, is dit te verstane dat die CO₂-vasvanging die tempobepalende stap in die reaksie is.

Indien (i) die aktiveringsenergie van normale substitusieprosesse en (ii) die verhoogde druk en hoër temperature van die literatuur (Pescarmona, 2021) in ag geneem word, is die waardes vir CO₂-vasvanging soos hier gerapporteer, in werklikheid identies daaraan. Daar word egter duidelik deur hierdie studie geïllustreer dat, indien alle relevante parameters noukeurig en sistematies bestudeer word, 'n meer volledige tempowet verkry kan word. Dit maak 'n akkurate beskrywing moontlik, wat meer insiggewende en heel waarskynlik meer betroubare resultate as suiwer produkanalise kan oplewer.

Gevolgtrekkings

Die homogeen gekataliseerde CO₂-vasvanging via sikloaddisie aan epichloorhidrien (EPI) as epoksied, het 'n akkurate en gedetailleerde kineties-meganitiese analise via tydgemonteerde ¹H NMR moontlik gemaak. Eenvoudige eersteordekinetika met betrekking tot [EPI] is waargeneem en het beduidende insig verskaf in die reaksie meganisme wat nie voorheen met soveel diepte uitgevoer is nie.

Verskeie parameters is noukeurig geëvalueer, met inbegrip van 'n reeks sure gebaseer op literatuur (Yingcharoen et al., 2019), met askorbien- en bensoësuur wat as teikenpresteerders geïdentifiseer is. Vervolgens is die tetrabutielammoniumjodied (TBAI) en [EPI] sistematies geoptimaliseer, terwyl die CO₂-konsentrasieveranderinge onder atmosferiese druk ondersoek is.

Die resultate van die ondersoek het gelei tot die suksesvolle daarstel van 'n volledige reaksieskema (beide stoigiometries en katalities) en 'n tempowet met vier definitiewe stappe wat geïdentifiseer is. Dit dui daarop dat die ringopening van die epoksied heel waarskynlik die tempobepalende stap is, wat die

eksperimenteel bevestigde uitdrukking vir die verdwyning van die epoksied en k_{wg} lewer, geassosieer met 'n algehele orde van 4.

Die PGE-komplekse [Rh(COD)(L)Cl] (L = DBN, DBU, TMG) en [Pd(COED)(N,N')]X het teleurstellend slegs geringe aktiwiteit (Rh) of geringe deaktivering (Pd) aangedui. In teenstelling met aanvanklike verwagtinge is die jodiedioon as die hoofkatalisator geïdentifiseer.

Hierdie studie het betekenisvolle insig verskaf ten opsigte van die parameters wat die vorming van siklokarbonate vanaf die CO₂-opname deur 'n epoksied beïnvloed. Daar is egter meer aspekte betrokke wat geëvalueer moet word om die stelsel ten volle te verstaan. 'n Belangrike punt sou die verband tussen die suur en TBAI wees, asook die uitwerking van metaalsentrums, wat aansienlik verbreed moet word.

Dit is verder belangrik dat 'n volledige teoretiese berekeningstudie uitgevoer word om verdere inligting ten opsigte van die verskeidenheid parameters soos in hierdie studie geïdentifiseer is, te verkry. Daar is reeds met voorlopige berekenings begin.

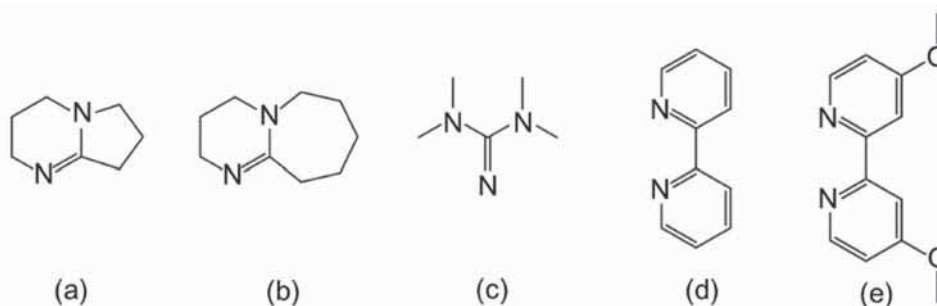
Addisionele evaluering van hierdie sisteem met ander epoksiede sal waarskynlik verdere duidelikheid lewer oor die vereistes van epoksiede as medium om waardetoegevoegde produkte met CO₂ te skep.

Ten spyte van sekere beperkings tydens die eksperimente is die oorkoepelende gevolgtrekking dat die tempowet, soos afgelei en gebaseer op die katalitiese siklus (Skema 2), 'n uitstekende voorstelling van die gedrag van hierdie komplekse sisteem is. Die studie het die beduidende afhanklikheid van die suur-, epoksied- en TBAI-konsentrasies, asook die CO₂-konsentrasie en drukke kineties-meganities bevestig. Dit verduidelik ook kwantitatief waarom die tempowet van die orde 4 is.

Eksperimentele afdeling

Ligande vir metaalkomplekse

Rodiumkomplekse wat gesintetiseer is, is gebruik om die (mede-) katalitiese werkverrigting met epoksiede en CO₂ te evalueer (Redgard, 2019). Die rasionaal van die komplekse was om die invloed wat verskeie N,N'-ligande, byvoorbeeld 2,2'-bipiridien-analoë (Figuur 12), op die struktuur en hul gebruik as katalisators het te evalueer.



Figuur 12: Strukture van die ligande wat vir die rodium- en palladiumkomplekse gebruik is: (a) 1,5-diazabisiklo[4.3.0]non-5-een (DBN), (b) 1,8-diazabisiklo[5.4.0] undek-7-een (DBU) en (c) 1,1,3,3-tetrametielguanidien (TMG). (d) 2,2'-bipiridien (Bpy), (e) 4,4'-dimetoksi-2,2'-bipiridien (DiOMeBpy).

Chemikalieë en instrumentasie

Alle reagense en oplosmiddels wat gebruik is vir die sintese en voorbereiding van die komplekse was van analitiese graad en is van Sigma-Aldrich Suid-Afrika verkry. Dit is sonder verdere suiwering gebruik, tensy anders vermeld. Wanneer watervrye toestande vereis word, is oplosmiddels volgens literatuurprosedures gesuiwer en gedroog (Armarego, 2017). Geselekteerde komplekse wat gesintetiseer is, is verder deur elementanalises van Atlantic Microlab, Inc., Norcross, Georgia, VSA, bevestig. Die infrarooi spektra van die komplekse is verkry m.b.v. die ATR-tegniek op 'n Thermo Scientific Nicolet iS10 FT-IR-spektrometer wat met 'n laserskandering van 4 000-400 cm⁻¹ gedoen en word in cm⁻¹ gerapporteer. Die ¹H- en ¹³C-KMR-spektra is op 'n 600 MHz Bruker Avance II 600- (¹H: 600 MHz, ¹³C: 151 MHz) spektrometer opgeneem en die chemiese verskuiwings (δ, gerapporteer in dele per miljoen (dpm) was relatief tot tetrametielsilaan (TMS). Die ¹H- en ¹³C-spektra is intern gekalibreer met ooreenstemmende gedeutereerde oplosmiddels (C₆D₆: 7,14 dpm, 127,7 dpm; (CD₃)₂CO: 2,06 dpm, 29,00 dpm en CDCl₃: 7,28 dpm, 77 dpm, onderskeidelik).

Die epoksiede is aangekoop vanaf Sigma-Aldrich Suid-Afrika en is gebruik soos ontvang. Tipiese ¹H-data is soos volg (kyk Figuur 1 vir numerering van die protone):

Epichloorhidrien (EPI). ¹H KMR (CDCl₃, 600 MHz): δ 3,56-3,51 (m, 1H), 3,40-3,35 (m, 1H), 3,12-3,07 (m, 1H), 2,77-2,73 (m, 1H), 2,58-2,53 m, 1H).

Siklokarbonaat (EPcy). ¹H KMR (CDCl₃, 600 MHz): δ 5,05-5,00 (m, 1H), 4,6-4,53 (m, 1H), 4,36-4,31 (m, 1H), 3,82-3,77 (m, 1H), 3,74-3,69 (m, 1H).

Sintetiese prosedures

Die sinteseprosedures wat hier onder bespreek word, handel met die vorming van die voorloper-komplekse, wat nodig was vir die reaksie om die gewenste Pt- en Pd-komplekse te vorm. Dit is gevolg deur die sintese van onderskeidelik die rodium- en palladiumkomplekse. Die strukture van die vyf komplekse [Rh(COD)(DBN)Cl] (**DBN**), [Rh(COD)(TMG)Cl] (**TMG**), [Rh(COD)(DBU)Cl] (**DBU**), [Pd(COED)(DiOMeBpy)]BF₄ (**Pd-1**), en [Pd(COED)(Bpy)]SbF₆ (**Pd-2**) is voorheen gerapporteer en as toepaslik gekarakteriseer (Redgard, 2021) (Roodt, Venter, & Redgard, 2022).

Voorloper-Pd(COD)-komplekse

Die bereiding en karakterisering van die voorloperkomplekse ([M(COD)Cl₂] (Enders, et al., 2014) (Štěpnička & Císařová, 1996)

en [M(COD)(Me)Cl] (Dekker, et al., 1992) (M = Pd)) is op literatuurprosedures gebaseer. Karakterisering deur ¹H en ¹³C KMR stem ooreen met die literatuur en was dus voldoende om te verseker dat korrekte en suiwer verbindings verkry is.

[Pd(COD)Cl₂]. [PdCl₂] (2 g, 11,28 mmol) is opgelos in warm gekonsentreerde HCl (6 ml, 10 M) en vir 15 minute geroer. Die oplossing is daarna toegelaat om tot kamertemperatuur af te koel, met etanol (150 ml) verdun en gefiltreer. 'n Oormaat 1,5-siklooktadien (COD) (2,8 ml, 23 mmol) is by die filtraat gevoeg en vir 15 minute vinnig geroer. Die oplossing is daarna gefiltreer en die neerslag is met diëtleter (100 ml) gewas. Die produk was 'n geel poeier (2,97 g, 92%). ¹H KMR (CDCl₃, 600 MHz): d 6,38-6,29 (m, 4H), 3,00-2,88 (m, 4H), 2,65-2,52 (m, 4H). ¹³C KMR (CDCl₃, 151 MHz): d 116,7, 31,0.

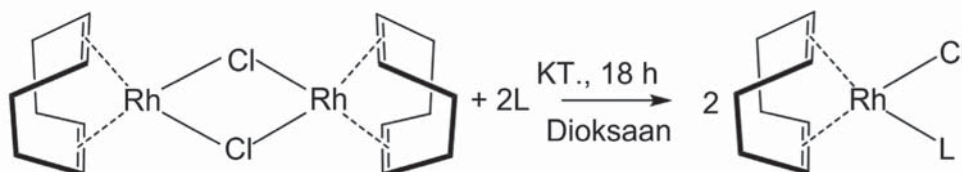
[Pd(COD)(Me)Cl]. [Pd(COD)Cl₂] (280 mg, 1 mmol) is by 'n mengsel van DCM/Metanol (1:1, 20 ml) gevoeg, gevolg deur 1,2 ekw. tetrametieltin (170 μl, 1,2 mmol). Die reaksiemengsel is daarna vir 24 uur by kamertemperatuur geroer. Die oplossing is daarna gedroog en met diëtleter (50 ml) gewas. Die produk was 'n grys-wit poeier (230 mg, 88%). Herkristallasieopogings was nie suksesvol nie. Analise bereken vir PdC₁₁H₂₁Cl (%): C, 44,76; H, 7,17, Gevind: C, 38,73; H, 5,66, ¹H KMR (Asetoon-d₆, 600 MHz): d 5,83-5,75 (m, 2H), 5,26-5,18 (m, 2H), 2,73-2,62 (m, 4H), 2,58-2,43 (m, 4H), 1,01 (s, 3H), ¹³C KMR (Asetoon-d₆, 151 MHz): d 123,8, 101,6, 30,8, 27,3, 9,41.

Sintese van die [Rh(COD)(L)Cl]-komplekse

Die sinteseprosedure (Skema 3) van die rodium(I)-komplekse was almal identies vir die koördinerings van onderskeidelik DBN, DBU en TMG (kyk Figuur 12 vir strukture en name) (Flörke et al., 1992). [(Rh(COD)₂Cl₂)] (0,20 mmol) is in dioksaan (15 ml) opgelos en die toepaslike basis (2 ekw.) is bygevoeg. Dit is daarna vir 18 uur aaneen by kamertemperatuur geroer en gedroog om 'n poeier te lewer.

[Rh(COD)(DBN)Cl] (DBN). 1,5-diazabisiklo[4.3.0]non-5-een, DBN, (50 μl, 0,40 mmol) is by 'n dioksaanoplossing gevoeg wat [Rh(COD)₂Cl₂] (100 mg, 0,20 mmol) bevat het. Dit het die [Rh(COD)(DBN)Cl]-kompleks (110 mg, 77%) gelewer. IR (cm⁻¹): ν(C=N) = 1650. ¹H KMR (C₆D₆, 600 MHz): d 4,95 (s, 2H), 3,54 (s, 2H), 3,24-3,14 (br, 2H), 3,04-2,88 (br, 2H), 2,37 (t, 2H), 2,36-2,28 (br, 4H), 2,23 (t, 2H), 1,64 (d, 4H), 1,27-1,21 (m, 2H), 1,21-1,16 (m, 2H), ¹³C KMR (C₆D₆, 151 MHz): d 162,3, 82,7 (d), 72,8 (d), 51,4, 45,7, 41,8, 33,2, 31,7, 30,5, 20,6, 18,9.

[Rh(COD)(TMG)Cl] (TMG). 1,1,3,3-tetrametielguanidien, TMG, (50 μl, 0,40 mmol) is by 'n dioksaanoplossing gevoeg wat [Rh(COD)₂Cl₂] (100 mg, 0,20 mmol) bevat het. Dit het die



Skema 3: Die algemene reaksieskema vir die sintese van verskillende [Rh(COD)(L)Cl] komplekse (L = DBN, DBU en TMG). Kyk Figuur 12 vir strukture en name van L.

[Rh(COD)(TMG)Cl] kompleks gelewer (130 mg, 86%). IR (cm⁻¹): ν(C=N) = 1567, 1527. ¹H KMR (C₆D₆, 600 MHz): d 4,87 (s, 2H), 3,60 (s, 2H), 3,14-2,66 (br, 6H), 2,38-2,29 (br, 4H), 2,25-1,80 (br, 6H), 1,63 (d, 4H), ¹³C KMR (C₆D₆, 151 MHz): d 170,6, 80,8 (d), 73,4 (d), 40,839,3, 38,537,3, 31,5, 30,7.

[Rh(COD)(DBU)Cl] (DBU). 1,8-diazabisiklo[5.4.0]undek-7-*een*, DBU, (60 μl, 0.40 mmol) is by 'n dioksaanoplossing gevoeg wat [Rh(COD)₂Cl₂] (100 mg, 0,20 mmol) bevat het. Dit het die [Rh(COD)(DBU)Cl]-kompleks (150 mg, 90%) gelewer. IR (cm⁻¹): ν(C=N) = 1606. ¹H KMR (C₆D₆, 600 MHz): d 4,98 (s, 1H), 4,89 (s, 1H), 3,64 (s, 1H), 3,57 (s, 1H), 3,51 (s, 1H), 3,43 (s, 1H), 3,11 (s, 1H), 2,96 (s, 1H), 2,48-2,22 (m, 8H), 1,94 (s, 1H), 1,67 (s, 2H), 1,59 (s, 2H), 1,53 (s, 1H), 1,46 (s, 1H), 1,27 (s, 1H), 1,27 (s, 1H), 1,15 (s, 2H), 0,95 (s, 1H), 0,92 (s, 1H), ¹³C KMR (C₆D₆, 151 MHz): d 163,0, 82,6 (d), 81,6 (d), 73,1 (d), 72,9 (d), 52,5, 46,9, 46,8, 39,0, 31,9, 31,3, 30,7, 30,4, 29,0, 27,3, 25,0, 22,0.

Sintese van [Pd(COED)(N,N')]X komplekse

Die sinteseprosedure (Skema 4) van die palladium(II) komplekse was identies vir die koördinering van Bpy en DiOMeBpy (kyk Figuur 12 vir strukture en name) met die onderskeie teenione. (Bianca et al., 2002) (Armarego, 2017).

[Pd(COD)(Me)Cl] (0.377 mmol) is opgelos in 20 ml droë THF, gevolg deur byvoeging van Ag[SbF₆] (0.377 mmol), en vir 30 minute geroer. Die oplossing is gefiltreer en 1 ekwivalent van die ooreenstemmende N,N'-ligand (Bpy, DiOMeBpy en DiⁱBuBpy) is by die filtraat gevoeg. Elke reaksiemengsel is vir 'n verdere 28 uur by kamertemperatuur geroer. Die oplossings is daarna gedroog, in DCM opgelos, gefiltreer en gelaat om te herkristalliseer. Vir die reaksie met Ag[BF₄] is asetoon as oplosmiddel gebruik.

[Pd(COED)(DiOMeBpy)]BF₄ (Pd-1). 4,4'-dimetoksi-2,2'-bipiridien, DiOMeBpy (80 mg, 0,38 mmol) is by die filtraat van [Pd(COD)(Me)Cl] (100 mg, 0,38 mmol) en Ag[BF₄] gevoeg (70 mg, 0,38 mmol), opgelos in droë THF om [Pd(COED)(DiOMeBpy)] BF₄ (170 mg, 84%) te lewer. Kristalle geskik vir SC-XRD-analise is verkry. IR (cm⁻¹): ν(C=N) = 1613. ¹H KMR (Asetoon-d₆, 600 MHz): d 8,96 (d, 2H, J = 6,3 Hz), 8,21 (d, 2H, J = 2,6 Hz), 7,36 (dd, 2H, J = 6,3, 2,6 Hz), 5,91 (t, 1H, J = 8,1 Hz), 5,08 (q, 2H), 4,16 (s, 6H), 2,63-2,56 (m, 2H), 2,34-2,25 (m, 2H), 1,71-1,64 (m, 2H), 1,31-1,25 (m, 3H), 0,91 (d, 3H, J = 6,7 Hz), ¹³C KMR (Asetoon-d₆, 151 MHz): d 168,7, 155,4, 154,4, 113,1, 111,4, 110,0, 76,5, 56,5, 33,9, 29,6, 27,8, 21,4.

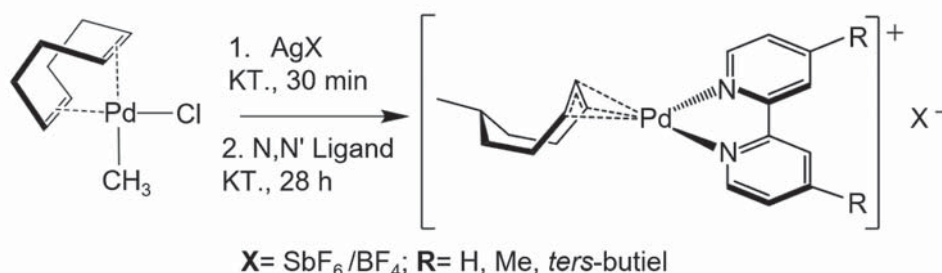
[Pd(COED)(Bpy)]SbF₆ (Pd-2). 2,2'-bipiridien, Bpy, (60 mg, 0,38 mmol) is by die filtraat van [Pd(COD)(Me)Cl] (100 mg, 0,38 mmol) en Ag[SbF₆] (130 mg, 0,38 mmol) gevoeg en in droë THF opgelos om [Pd(COED)(Bpy)]SbF₆ (150 mg, 65%) te lewer. Kristalle geskik vir SC-XRD-analise is verkry. Analise: Bereken vir PdC₂₁H₂₉N₂F₆Sb (%): C, 38,71; H, 4,49; N, 4,30. Gevind: C, 39,17; H, 4,34; N, 4,39. IR (cm⁻¹): ν(C=N) = 1599. ¹H KMR (Asetoon-d₆, 600 MHz): d 9,21-9,17 (m, 2H), 8,70 (d, 2H, J = 8,1 Hz), 8,40 (td, 2H, J = 7,9, 1,7 Hz), 7,88-7,84 (m, 2H), 5,99 (t, 1H, J = 8,2 Hz), 5,18 (q, 2H), 2,67-2,60 (m, 2H), 2,38-2,28 (m, 2H), 1,72-1,64 (m, 2H), 1,33-1,24 (m, 3H), 0,91 (d, 3H, J = 8,1 Hz). ¹³C KMR (Asetoon-d₆, 151 MHz): d 154,7, 154,3, 140,9, 128,0, 123,5, 112,3, 77,5, 33,8, 29,6, 27,8, 21,3.

Eksperimente om koolstofdioksied vas te vang

Al die reagense (analitiese graad) is van Sigma-Aldrich Suid-Afrika verkry en sonder verdere suiwering gebruik. Die ¹H KMR-kinetika is met 'n Bruker Avance II 600 (600MHz) spektrometer uitgevoer. Die chemiese verskuiwings (δ) word relatief tot tetrametielilaan (TMS) aangegee en in dpm gerapporteer. Al die ¹H KMR-spektra is in gedeutereerde chloroform by kamertemperatuur opgeneem en intern met behulp van die oorblywende protone van die gedeutereerde oplosmiddel gekalibreer (CDCl₃: 7,29 dpm). Die integrering en illustrasies van die ¹H KMR-kinetika-spektra is met Bruker TopSpin gedoen (Bruker, 2021). OriginPro (OriginLab, 2021) is vir datapassing en illustrasies gebruik.

Die vorming van die EPcy vanaf EPI en CO₂ is vir 23 uur met 'n ballonopstelling en oplosmiddelvry by kamertemperatuur uitgevoer. Die reaksietoestande is geëvalueer en geoptimaliseer soos hierbo gerapporteer, op literatuurprosedure gebaseer (Dolai et al, 2020). Dit is op [EPI] = 22 mmol, [TBAI] = 2 mmol, [Benzoëisuur] = 1 mmol, [CO₂] = 1 atm (TBAI = tetrabutielammoniumjodied) vasgestel. Die opbrengs is m.b.v. ¹H KMR-spektroskopie relatief tot die metielprotone van TBAI bepaal, soos in Figuur 2 aangedui en in Tabel 1 gerapporteer. Die eksperimentele prosedure en die protokol om die ¹H KMR-spektra op te neem was konsekwent vir alle data wat in hierdie manuskrip gerapporteer is.

Vir die kinetiese eksperimentele prosedure is 'n 100 μl-monster van die reaksiemengsel op die gekose tydsintervalle geneem en in gedeutereerde chloroform (500 μl) opgelos. Vier reaksies is in duplikaat en gelyktydig uitgevoer. Die ¹H KMR-spektra is op 0, 1, 5, 10, 15 en 23 uur opgeneem. Die protonpieke van die reaktant en produk is gekalibreer met betrekking tot die metielprotone



Skema 4: Die algemene reaksieskema vir die sintese van verskillende [Pd(COED)(N,N')]X komplekse (X = SbF₆⁻/BF₄⁻). COED = η³⁻⁶-metielsiklookt-2-*een*-1-*ied*.

van TBAI. Verteenwoordigende ¹H-KMR-spektra word in Figuur 2 en 3 geïllustreer om onderskeidelik die vorming van EPcy en die EPI-verbruik te bepaal. Die TBAI bevat vier ekwivalente metielgroepe (12 metielprotone), en beide die produk en reaktant het waarneembare protonpieke wat elk vir een ekwivalent geïntegreer. Gevolglik kan die totale hoeveelheid (mmol) van die produk en reaktant wat op 'n bepaalde tydstep teenwoordig is met behulp van KMR-analise daarteen gekalibreer word. Die pieke wat gebruik is om die reaksie te monitor, is gekies omrede dit die mees geïsoleerde is en dus akkuraat geïntegreer kon word. Daarbenewens verteenwoordig die spektra in Figuur 2-3 die reaktant en gesuiwerde produk om die ¹H-KMR-spektra, wat gebruik is om die kinetika te bestudeer en die produk vorming te bevestig. Figuur 2(d) toon die teenwoordigheid van TBAI en die produk, wat ooreenstem met die gesuiwerde produk (Figuur 2(b)).

Vir die ballonopstelling wat omgewingsdruk verseker, dit wil sê benaderd 1 atm (kyk ook Figuur S16), is poliëtileenballonne eerder as lateksballonne gebruik (verlies aan CO₂ uit lateks was ongeveer 10 keer vinniger as dié van poliëtileen). Die vermindering van die CO₂-ge vulde ballonne oor die reaksie-tydperk word in Tabel S15 en Figuur S16 met twee reaksie-opstellings geïllustreer. Ten einde die hoeveelheid (mmol) CO₂ teenwoordig in die ballonne te bepaal is die omtrek van die gevulde ballonne akkuraat gemeet en die volume bepaal. Die verlies van CO₂ oor die reaksie tyd toon dat daar steeds 'n beduidende hoeveelheid CO₂ uit die stelsel ontsnap, ten spyte van maatreëls wat getref is deur die ballon met kleeflint en parafilm te seël. Nietemin maak die konstante druk voorsiening vir vereenvoudigde reaksietoestande en beklemtoon die doeltreffendheid van die reaksies. Die behoeftes vir energie- en/of koste-intensiewe toerusting is dikwels 'n beperkende faktor vir industriële toepassing en was dus onnodig.

Hantering van kinetiese data

'n Gewysigde eksponensiële vorm van die Beer-Lambert-wet is gebruik om die pseudo-eersteorde-tempokostante (k_{wg}) ten opsigte van tydgemoniteerde KMR-data soos uit die seinintegrale verkry te bepaal (Vgl. 13) (Purcell et al., 1989) (Leipoldt et al., 1983) (Smit et al., 1993) (Van der Westhuizen et al., 2010). Dit het die kleinste kwadraatpassing van die ingesamelde data behels om k_{wg} te lewer. Die reaksievordering wat in die huidige studie beskryf word, is geëvalueer deur die reaktantverval en produk vorming (in mmol) deur middel van die gekalibreerde ¹H-KMR-seine (tydgemoniteer) van beide hierdie prosesse te meet.

$$B_t = B_{\infty} - (B_{\infty} - B_0)e^{-k_{wg}t} \quad (13)$$

Hier verteenwoordig B_t en B_{∞} die KMR-seinintegrale ná onderskeidelik tyd t (ure/minute/sekondes) en oneindige tyd, met B_0 wat op daardie tydstep bereik is. Dit is direk eweredig aan die konsentrasies van die reaktante en produktentiteite (byvoorbeeld mmol) gedurende die proses en wanneer die reaksie vir praktiese doeleindes volledig verloop het.

Hiermee kan bevestig word of die proses eersteorde is. Dit word gedoen deur die waargenome waardes van die meetbare

entiteit (absorbansie, KMR-piekhoogte, IR-piekintensiteit, ens.) wat die reaksievordering definieer deur 'n kleinste kwadraatpassing in Vgl. 13 te stel en met die berekende waardes te vergelyk. Wanneer daar egter nie baie datapunte van die proses beskikbaar is nie, is dit soms voordelig om ook die natuurlike logaritmiëse vorm van Vgl. 13, soos aangedui in Vgl. 14, te evalueer. Die verkryging van 'n liniëre verwantskap (kyk Figuur 4(a)) word as 'n goeie bevestiging van die eersteordegedrag beskou wat met so 'n proses verbind word. Die helling van die lyn verteenwoordig dan die pseudo-eersteorde-tempokostante k_{wg} .

$$\ln[B]_t = -k_{wg}t + \ln[B]_0 \quad (14)$$

In Vgl. 14 verteenwoordig $[B]_0$ en $[B]_t$ die konsentrasie-ekwivalent (of meetbare entiteit van reaktant R, direk eweredig aan die konsentrasie daarvan) onderskeidelik op tyd nul en tyd t . Dit lewer dan die pseudo-eersteorde-tempokostante (k_{wg}) onder ewewigstoestande en indien by verskillende bydraende reaktant konsentrasies (R_1, R_2). Indien $[R_1] \gg [R_2]$ is, toon dit dikwels die liniëre verwantskap soos deur Vgl. 15 voorgestel word.

$$k_{wg} = k_f[R_1] + k_r \quad (15)$$

Die helling (k_f) en die y-afsnit (k_r) van die waargenome grafiek soos deur Vgl. 15 gedefinieer, lewer tipies die voorwaartse (tweedeorde-, k_f -) en terugwaartse (eersteorde-, k_r -) tempokostantes. Die kinetiese ewewigskonstante kan dan deur Vgl. 16 verkry word.

$$K_{eq} = \frac{k_f}{k_r} \quad (16)$$

Die ewewigskonstante K_{eq} (wanneer dit relatief klein is) kan ook onder gunstige toestande vanaf 'n kleinste kwadraatpassing van die eersteorde-tempokostante (k_{wg}) teenoor reaktant- (R-) konsentrasies (Vgl. 17) verkry word. Dit gebeur tipies wanneer 'n vinnige ewewigsreaksie 'n tempobepalende stap (k_1) (byvoorbeeld Vgl. 2 en 3) voorafgaan.

$$k_{wg} = \frac{k_1 K_{eq}[R]}{1 + K_{eq}[R]} \quad (17)$$

Aanvullende inligting

Ondersteunende inligting is van die outeurs verkrygbaar. Vir toepaslike literatuur wat daarin vervat is, kyk ook Guil-López et al., 2019, Büttner et al., 2017, Lamb, 2019, Dolai et al., 2020, Guo et al., 2021, Martin et al., 2015 en Pescarmona & Tahermehr, 2021.

Erkennings

Finansiële bystand van die Universiteit van die Vrystaat en die Universiteit van Zürich (Switserland) word met dank erken. Die Suid-Afrikaanse Nasionale Navorsingstigting (SANNS) (AR: UID: 107802), die Switserse Nasionale Wetenskapstigting (SNF-projek IZLSZ2_149029/1), die Mededingende Program vir Gegradeerde Navorsers van die SANNS (AR: UID 111698), asook van die Mededingende Program vir Ongegradeerde Navorsers van die SANNS (J.A.V.: 116302) word vir finansiële ondersteuning bedank. Dank en erkenning veral ook aan die Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns vir die M.T. Steyn-prys (2023) aan A.R., wat hom in staat gestel het om die projek te voltooi (SA-Akademie- vir-Wetenskap-en-Kuns, 2023). SASOL, dr Gerdus

Kemp en PETLABS (Projek no: WD 99139), word ook vir finansiële ondersteuning bedank. Menings, bevindings, gevolgtrekkings en/of aanbevelings wat in hierdie artikel uitgespreek word, is slegs dié van die skrywers en weerspieël nie noodwendig die sienings van die SANNES nie.

Skrywerbydraeverklaring

Konseptualisering, A.R.; metodologie, A.R. en J.A.V.; sagteware, A.R.; validasie, S.R. A.R. en J.A.V.; formele eksperimente, S.R.; ondersoek, S.R.; hulpbronne, A.R. en J.A.V.; datakurasie, S.R. en A.R.; skryf; oorspronklike konsepvoorbereiding, S.R. en A.R.; skryf; resensie en redigering, A.R. en J.A.V.; toesig, J.A.V. en A.R.; projekadministrasie, J.A.V. en A.R.; befondsingsverkryging, J.A.V. en A.R. Alle skrywers het die gepubliseerde weergawe van die manuskrip gelees en daartoe ingestem.

Opgedra aan Prof. Roger Alberto (Universiteit van Zürich) met sy aftrede.

Bibliografie

- Advani, A., Prinz, D., Smurra, A., et al., 2021, What is the case for carbon taxes in developing countries? *IFS*. <https://doi.org/10.1920/co.ifs.2024.0383>. Accessed 11/15/2021
- Alder, C., Hayler, J., Henderson, R., et al., 2016, Updating and further expanding GSK's solvent sustainability guide, *Green Chem* 13, 3879-3890. <https://doi.org/10.1039/C6GC00611F>.
- Arayachukiat, S., Kongtes, C., Barthel, A., et al., 2017, Ascorbic acid as a bifunctional hydrogen bond donor for the synthesis of cyclic carbonates from CO₂ under ambient conditions, *ACS Sustainable Chem Eng* 5, 6392-6397. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01650>
- Aresta, M., van Eldik, R., 2014, (Eds) *Advances in Inorganic Chemistry, CO₂ Chemistry* (1st Edition ed.), *Academic Press: London*.
- Armarego, W., 2017, Chapter 3 - Purification of Organic Chemicals, *Purification of laboratory chemicals (Eighth Edition)* 95-634. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805457-4.50003-3>.
- Bar-Even, A., Noor, E., Lewis, N., et al., 2010, Design and analysis of synthetic carbon fixation pathways, *Proc Natl Acad Sci USA* 8889-8894. <https://doi.org/10.1073/pnas.0907176107>.
- Bello Forero, J., Hernández Muñoz, J., Jones Junior, J., et al., 2016, Propylene carbonate in organic synthesis: Exploring its potential as a green solvent, *Curr Org Synth* 13(6), 834-46. <https://doi.org/10.2174/1570179413999160211094705>.
- Berardi, S., Drouet, S., Francàs, L., Gimbert-Suriñach, C., Guttentag, M., Richmond, C., ... Llobet, A. (2014). Molecular artificial photosynthesis. *Chem. Soc. Rev.*, 7501-7519. <https://doi.org/10.1039/C3CS60405E>
- Berh, A., Naendrup, F., Obst, D., 2002, Platinum-catalysed hydrosilylation of unsaturated fatty acid esters, *Adv Synth Catal* 344(10), 1142-5. [https://doi.org/10.1002/1615-4169\(200212\)344:10<1142::AID-ADSC1142>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1615-4169(200212)344:10<1142::AID-ADSC1142>3.0.CO;2-P)
- Bianca, F.B., Dolmella, A., Antonaroli, S., et al., 2002, Five-coordinate complexes of palladium(II) and platinum(II) with α -diimine and 1,5-cyclooctadiene ligands, *J Chem Soc Dalton Trans* 2, 212-217. <https://doi.org/10.1039/b106247f>
- Blunden, J., Boyer, T., 2021, State of the climate in 2020, *Bull Am Meteorol Soc* 102(8), S1-S475. <https://doi.org/10.1175/2021BAMSStateoftheClimate.1>
- Bruker, 2021, TopSpin: Version 4.1.3, Bruker Inc.: Madison, Wisconsin, USA, 2021. Madison, Wisconsin, USA: Bruker.
- Büttner, H., Steinbauer, J., Wulf, C., et al., 2017, Organocatalyzed synthesis of oleochemical carbonates from CO₂ and renewables, *ChemSusChem* 10(6), 1076-1070. <https://doi.org/10.1002/cssc.201601163>.
- Cauwenbergh, R., Goyal, V., Maiti, R., et al., 2022, Challenges and recent advancements in the transformation of CO₂ into carboxylic acids: straightforward assembly with homogeneous 3d metals, *Chem Soc Rev* 51(22), 9371-423. <https://doi.org/10.1039/D1CS00921D>.
- ClimateActionTracker, 2021, Net zero targets, Available from: <https://climateactiontracker.org/methodology/net-zero-targets/>. Accessed 11/15/2021.
- De Bruin, B., Boerakker, M.B., Donners, J., et al., 1999, Selective oxidation of [Rh(cod)]⁺ by H₂O₂ and O₂, *Chem Eur J* 5(10), 2921-36. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3765\(19991001\)5:10<2921::AID-CHEM2921>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3765(19991001)5:10<2921::AID-CHEM2921>3.0.CO;2-1).
- Dekker, G., Buijs, A., Elsevier, C., et al., 1992, New neutral and ionic methyl and chloro palladium and platinum complexes containing hemilabile phosphorus-nitrogen ligands. Study of the insertion of carbon monoxide into the metal-methyl bond, *Organometallics* 11(5), 1937-48. <https://doi.org/10.1021/om00041a028>.
- Dolai, M., Saha, U., Biswas, S., et al., 2020, DNA intercalative trinuclear Cu(II) complex with new trans axial nitrate ligation as an efficient catalyst for atmospheric CO₂ fixation to epoxides, *Cryst Eng Comm* 48, 8374-86. <https://doi.org/10.1039/D0CE01152E>.
- Earth.Org., 2021, What countries have a carbon tax? Available from: <https://earth.org/what-countries-have-a-carbon-tax/>. Accessed 11/15/2021.
- Enders, M., Görling, G., Braun, A., et al., 2014, Cytotoxicity and NMR studies of platinum complexes with cyclooctadiene ligands, *Organometallics* 33(15), 4027-34. <https://doi.org/10.1021/om500540x>.
- Fawzy, S., Osman, A., Doran, J., et al., 2020, Strategies for mitigation of climate change: a review, *Environ Chem Lett* 18, 2069-94. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>.
- Flörke, U., Ortmann, U., Haupt, H., 1992, Rhodium(I)-cyclo-octadiene (cod) complexes with the N-donor ligands 1,8-di-azabi-cyclo[5.4.0]undec-7-ene (dbu) and 1,5-di-azabi-cyclo[4.3.0]non-5-ene (dbn), *Acta Cryst* 48, 1663-5. <https://doi.org/10.1107/S0108270191015111>.
- Guil-López, R., Mota, N., Llorente, J., et al., 2019, Methanol synthesis from CO₂: A review of the latest developments in heterogeneous catalysis, *Materials* 12(23), 3902. <https://doi.org/10.3390/ma12233902>.
- Guo, L., Lamb, K., North, M., 2021, Recent developments in organocatalysed transformations of epoxides and carbon dioxide into cyclic carbonates, *Green Chem* 23(1), 77-118. <https://doi.org/10.1039/D0GC03465G>.
- Heldebrant, D., Jessop, P., Thomas, C., et al., 2005, The reaction of 1,8-Diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene (DBU) with carbon dioxide, *J Org Chem* 70(13), 5335-8. <https://doi.org/10.1021/jo0503759>.
- Hill, T., 2011, PhD Thesis Diolefin Complexes of Transition Metals as "Venus Fly-Trap" Templates. Bloemfontein, South Africa: University of the Free State.
- Hill, T., Roodt, A., 2018, Solid-state and computational study of "Venus fly-trap" geometric parameters for 1,5-Cyclooctadiene in Pd(II) and Pt(II) β -Enaminonato complexes, *Z Anorg Allg Chem* 644(14), 763-774. <https://doi.org/10.1002/zaac.201800097>.
- Hill, T., Roodt, A., Steyl, S., 2013, Probing the 'Venus fly-trap' parameters of cyclo-octadiene in selected beta-diketonato complexes of platinum(II) and the nickel-triad from a spectroscopic, X-ray crystallographic and DFT study, *Polyhedron* 50(1), 82-9. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2012.10.043>.
- Jessop, P., 2011, Searching for green solvents, *Green Chem* 6, 1391-8. <https://doi.org/10.1039/c0gc00797h>.
- Ren, M., Jiang, L., Jones, T., Zou, F. (2022). Catalytic Hydrogenation of CO₂ to Methanol: A Review. *Catalysts*, 12, 403. <https://doi.org/10.3390/catal12040403>.
- Khoshro, H., Zare, H., Namazian, M., et al., 2013, Synthesis of cyclic carbonates through cycloaddition of electrocatalytic activated CO₂ to epoxides under mild conditions, *Electrochim Acta* 113, 263-8. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.09.080>.
- Kim, Y., Tanaka, K., Matsuoka, S., 2020, Environmental and economic effectiveness of the Kyoto Protocol, *Plos ONE* e0236299. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236299>.
- Klein, A., Lepski, R., 2009, 2,2'-Bipyridine as both bridging and terminal ligand in the binuclear palladium complex [(μ - η^1, η^1 -bpy)(Pd(Me)(bpy))₂](SbF₆)₂ - Structure and spectroscopic properties, *Z Anorg Allg Chem* 635(6-7), 878-84. <https://doi.org/10.1002/zaac.200801398>.
- Klein, A., Klinkhammer, K., Scheiring, T., 1999, Cyclooctadienemethylplatinum complexes: synthesis, reactivity, molecular structure and spectroscopic properties of the organometallic hydroxoplutonium(II) complex [(COD)PtMe(OH)], *J Organomet Chem* 592(1), 128-135. [https://doi.org/10.1016/S0022-328X\(99\)00500-8](https://doi.org/10.1016/S0022-328X(99)00500-8).
- Klein, A., Neugebauer, M., Krest, A., et al., 2015, Five coordinate platinum(II) in [Pt(bpy)(cod)(Me)](SbF₆): A structural and spectroscopic study, *Inorganics*, 3(2), 118-38. <https://doi.org/10.3390/inorganics3020118>.
- Krieg, B., Taghavi, S., Amidon, G., et al., 2015, In vivo predictive dissolution: Comparing the effect of bicarbonate and phosphate buffer on the dissolution of weak acids and weak bases, *J Pharm Sci* 104(9), 2894-904. <https://doi.org/10.1002/jps.24460>.
- Kuehnel, M., Orchard, K., Dalle, K., et al., 2017, Selective photocatalytic CO₂ reduction in water through anchoring of a molecular Ni catalyst on CdS nanocrystals, *J Am Chem Soc* 139(21), 7217-23. <https://doi.org/10.1021/jacs.7b00369>.
- Lamb, K., 2019, Ch. 15. Catalysts for the conversion of CO₂ to cyclic and polycarbonates. In M. North, & P. Styring (Eds.), *Volume 2 Transformations* (pp. 283-302). Boston, Berlin: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110665147-015>.
- Lamb, W., Wiedmann, T., Pongratz, J., et al., 2021, A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018, *Environ Res Lett* 16, 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>

- Le Quéré, C., Peters, G., Friedlingstein, P., et al., 2021, Fossil CO₂ emissions in the post-COVID-19 era, *Nat Clim Chan* 11, 197-199. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01001-0>.
- Lee, T.-Y., Lin, Y.-J., Chang, Z.-Y., et al., 2017, Nickel-catalyzed coupling of carbon dioxide with cyclohexene oxide by well-characterized Bis(N-Heterocyclic Carbene) carbazolid complexes, *Organometallics* 36(2), 291-7. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.6b00756>.
- Leipoldt, J., Van Eldik, R., Basson, S., et al., 1983, Kinetics and mechanism of the reaction between trans-dioxotetracyanonylstate (IV) and azide in aqueous solution, *Inorganic Chemistry*, 25(26), 4639-4642. <https://doi.org/10.1021/ic00246a010>.
- Lenden, P., Ylloja, P., González-Rodríguez, C., et al., 2011, Replacing dichloroethane as a solvent for rhodium-catalysed intermolecular alkyne hydroacylation reactions: the utility of propylene carbonate, *Green Chem* 8, 1980-2. <https://doi.org/10.1039/c1gc15293a>.
- Lepski, R., Lüning, A., Stirnat, K., et al., 2014, Unexpected formation of [(Me₂-Xyl-DAB)Pd(η³-6-methyloct-2-en-1-yl)](SbF₆) (Me₂-Xyl-DAB= 2,3-dimethyl-1,4-bis(2,6-dimethylphenyl)-diazabuta-1,3-diene), *J Organomet Chem* 751, 821-5. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2013.07.071>.
- Martin, C., Florani, G., Kleij, A., 2015, Recent advances in the catalytic preparation of cyclic organic carbonates, *ACS Catal* 5(2), 1353-70. <https://doi.org/10.1021/cs5018997>.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., et al., 2021, IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. (Contribution of Working Group I to the 6th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change) 2391pp. Cambridge (UK); New York (USA): Cambridge University Press.
- Moghimi, A., Khavassi, H., Dasthestani, F., et al., 2011, A ternary tetracoordinated PdII complex with metformin and dipicolinate: Synthesis, characterization and crystal structure, *J Mol Struct* 996, 38-41. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2011.03.061>.
- Nakada, A., Koike, K., Maeda, K., et al., 2015, Highly efficient visible-light-driven CO₂ reduction to CO using a Ru(II)-Re(I) supramolecular photocatalyst in an aqueous solution, *Green Chem* 1, 139-43. <https://doi.org/10.1039/C5GC01720C>.
- NOAA-Global-Monitoring-Laboratory-US-Department-of-Commerce. (2021). The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), 2021. Retrieved from <https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html>. Accessed 11/12/2021
- North, M., Styring, P.E., 2019, Carbon dioxide utilisation transformations (Volume 2 ed.). Boston: De Gruyter.
- O'Meara, S., 2020, China's plan to cut coal and boost green growth, *Nature* S1-S3. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02464-5>.
- OriginLab, 2021, OriginPro: Version 2021b. Northampton, Massachusetts, USA: OriginLab Corporation.
- Paddock, R., Nguyen, S., 2004, Chiral (salen)Co(III) catalyst for the synthesis of cyclic carbonates, *Chem Commun* 14, 1622-3. <https://doi.org/10.1039/b401543f>.
- Panepinto, D., Riggio, V., Zanetti, M., 2021, Analysis of the emergent climate change mitigation technologies, *Int J Environ Res Public Health* 18(13) 6767. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136767>.
- Pescarmona, P., 2021, Cyclic carbonates synthesised from CO₂: Applications, challenges and recent research trends, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 29, 100457. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100457>.
- Pescarmona, P., Tahermehr, M., 2012, Challenges in the catalytic synthesis of cyclic and polymeric carbonates from epoxides and CO₂, *Catal Sci Technol* 2, 2169-87. <https://doi.org/10.1039/c2cy20365k>.
- Pradhan, S., Das, S., 2023, Recent advances on the carboxylations of C(sp³)-H bonds using CO₂ as the carbon source, *Synlett* 34(12), 1327-42. <https://doi.org/10.1055/a-2012-317>.
- Purcell, W., Roodt, A., Basson, S., et al., 1989, Kinetic study of the reaction between trans-tetracyanodioxorhenate(V) and thiocyanate ions, *Transition Metal Chemistry* 14, 224-6. <https://doi.org/10.1007/BF01043801>.
- Ramidi, P., Gerasimchuk, N., Gartia, Y., et al., 2013, Synthesis and characterization of Co(III) amidoamine complexes: influence of substituents of the ligand on catalytic cyclic carbonate synthesis from epoxide and carbon dioxide, *Dalton Trans* 36, 13151-60. <https://doi.org/10.1039/c3dt51352a>.
- Redgard, S., 2019, MSc Dissertation: Nucleophile Assisted Carbon Dioxide Fixation for a Cleaner Environment. Bloemfontein, South Africa: University of the Free State.
- Redgard, S., 2021, PhD Thesis: Solid State and Kinetic Study of Diolefin Complexes of Platinum Group Elements. Bloemfontein, South Africa: University of the Free State.
- Ritchie, H., Roser, M., 2021, CO₂ and greenhouse gas emissions. Available from: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>. Accessed 11/13/2021.
- Roodt, A., Venter, J., Redgard, S., 2022, NMR, kinetic mechanistic and SC-XRD study of carbon dioxide capturing model molecular materials, *Acta Crystallographica* 78, a582-a582. <https://doi.org/10.1107/S2053273322091847>.
- SA-Akademie-vir-Wetenskap-en-Kuns, 2023, Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns. Available from: https://assets-global.website-files.com/638efa1bbea3b03765963904/6458c9622d121cb02bc5e208_2_SAAWK_Nuusbrief%20April%202023_Akademiepryse.pdf. Accessed October 01, 2023.
- Schäffner, B., Andrushko, V., Holz, J., et al., 2008, Rh-catalyzed asymmetric hydrogenations of unsaturated lactate precursors in propylene carbonate, *ChemSusChem* 1(11), 934-40. <https://doi.org/10.1002/cssc.200800157>.
- Schäffner, B., Holz, J., Verevkin, S., et al., 2008, Rhodium-catalysed asymmetric hydrogenation with self-assembling catalysts in propylene carbonate, *Tetrahedron Lett* 49(5), 768-71. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2007.11.199>.
- Scheffen, M., Marchal, D., Beneyton, T., et al., 2021, A new-to-nature carboxylation module to improve natural and synthetic CO₂ fixation, *Nat Catal* 4, 105-15. <https://doi.org/10.1038/s41929-020-00557-y>.
- Schilling, W., Das, S., 2020, Transition metal-free synthesis of carbamates using CO₂ as the carbon source, *ChemSusChem* 13(23), 6246-58. <https://doi.org/10.1002/cssc.202002073>.
- Schlüter, U., Weber, A., 2020, Regulation and evolution of C₄ photosynthesis, *Ann Rev Plant Biol* 71, 183-215. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-040915>.
- Seipp, C., Williams, N., Kidder, M., et al., 2017, CO₂ capture from ambient air by crystallization with a guanidine sorbent, *Angew Chem Int Ed* 56(4), 1042-5. <https://doi.org/10.1002/anie.201610916>.
- Smit, J., Purcell, W., Roodt, A., et al., 1993, Kinetics of the substitution reaction between aquaotetracyanomolybdate (IV) and cyanide/hydrogen cyanide, *Polyhedron* 12, 2271-7. [https://doi.org/10.1016/S0277-5387\(00\)88267-4](https://doi.org/10.1016/S0277-5387(00)88267-4).
- Sopeña, S., Cozzolino, M., Maquilón, C., et al., 2018, Organocatalyzed domino [3+2] Cycloaddition/Payne-Type rearrangement using carbon dioxide and epoxy alcohols, *Angew Chem Int Ed* 57(35), 11203-7. <https://doi.org/10.1002/anie.201803967>.
- Štěpnička, P., Cisařová, I., 1996, Crystal structure of Dibromo(η⁴-1,5-cyclooctadiene) palladium(II), *Collect Czech Chem Commun* 61(9), 1335-41. <https://doi.org/10.1135/cccc19961335>.
- Trudeau, D., Edlich-Muth, C., Zarzycki, J., et al., 2018, Design and in vitro realization of carbon-conserving photorespiration, *Proc Natl Acad Sci USA* 115(49), E11455-64. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812605115>.
- Van der Westhuizen, H., Meijboom, R., Schutte, M., et al., 2010, Mechanism for the formation of substituted manganese(V) cyanidonitrido complexes: crystallographic and kinetic study of the substitution reactions of trans-[MnN(H₂O)(CN)₂]²⁻ with monodentate ligands, *Inorganic Chemistry* 49(20), 9599-608. <https://doi.org/10.1021/ic101274q>.
- Vermaak, V., Vosloo, H., Swarts, A., 2024, The development and application of homogeneous nickel catalysts for transfer hydrogenation and related reactions, *Coord Chem Rev* 507, 215716. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215716>.
- Wang, Z., Bu, Z., Cao, T., et al., 2012, A novel and recyclable catalytic system for propylene carbonate synthesis from propylene oxide and CO₂, *Polyhedron* 32(1), 86-9. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2011.07.002>.
- Watt, F., Sieland, B., Dickmann, N., Schoch, R., et al., 2021, Coupling of CO₂ and epoxides catalysed by novel N-fused mesoionic carbene complexes of Nickel(II), *Dalton Trans* 50, 17361-71. <https://doi.org/10.1039/D1DT03311E>.
- Weber, A., Bar-Even, A., 2019, Update: Improving the efficiency of photosynthetic carbon reactions, *Plant Physiol* 803-812. <https://doi.org/10.1104/pp.18.01521>.
- Wu, Y., Jiang, Z., Lu, X., Liang, Y., et al., 2019, Domino electroreduction of CO₂ to methanol on a molecular catalyst, *Nature* 575, 639-42. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1760-8>.
- Yingcharoen, P., Kongtes, C., Arayachukiat, S., et al., 2019, Assessing the pK_a-dependent activity of hydroxyl hydrogen bond donors in the organocatalyzed cycloaddition of carbon dioxide, *Adv Synth Catal* 361, 366-3. <https://doi.org/10.1002/adsc.201801093>.
- Yoshida, Y., Aoyagi, N., Endo, T., 2018, Selective formation of a zwitterion adduct and bicarbonate salt in the efficient CO₂ fixation by N-benzyl cyclic guanidine under dry and wet conditions, *Beilstein J Org Chem* 14, 2204-11. <https://doi.org/10.3762/bjoc.14.194>.

Globale biodiversiteitsraamwerk vir varswatervleilande van Suid-Afrika: Voorlopige berekening van die vordering om die restourasiemikpunt van Doelwit 2 te bereik

H van Deventer,^{1,2} F Durand,³ PL Grundling^{4,5}

¹ Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad, Suid-Afrika

² Departement van Geografie, Geo-informatika en Meteorologie, Universiteit van Pretoria, Suid-Afrika

³ Departement Dierkunde, Universiteit van Johannesburg, Suid-Afrika

⁴ Sentrum vir Omgewingsbestuur, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

⁵ Departement van Bosbou, Visserye en die Omgewing, Reguleringsnakoming en Sektormonitoring, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Heidi van Deventer **E-pos:** HvDeventer@csir.co.za

Die Nasionale Biodiversiteitsanalise van 2018 het bevind dat vleilande (riviermondings en varswatervleilande) die mees bedreigde van al die ekosistels in Suid-Afrika is. Teen 2030 moet Suid-Afrika aan die Verenigde Nasies se Globale Biodiversiteitsraamwerk (GBR) rapporteer of Doelwit 2 bereik is, naamlik om 30% van gedegradeerde stelsels in die proses van herstel te hê. Hierdie studie het beoog om die voorlopige omvang as persentasie van varswatervleilande wat aan ekologiese ingrypings onderworpe was in verhouding tot die totale omvang van gedegradeerde varswatervleilande in Suid-Afrika te bereken. Ons het ook die persentasie-omvang in verhouding tot eienaarskap van die gedegradeerde varswatervleilande en dié wat onder ekologiese restourasie is, bepaal. Die Werk vir Vleilandeprogram en die Werk vir Waterprogram se beskikbare data is ingesamel en met die Nasionale Vleilandkaart weergawe 6, gekombineer om die persentasies te bereken. Die meerderheid van Suid-Afrika se varswatervleilande (51%) is gemodelleer om degradasie te bepaal, met >2.0 miljoen hektaar van die 4 miljoen hektaar Suid-Afrikaanse vleilande wat impakte toon ten opsigte van veranderinge aan die hidrologiese siklus, waterkwaliteitsimpakte, fragmentasie en verlies van habitate, voorkoms van indringerspesies en klimaatverandering, of 'n kombinasie van hierdie impakte. Die 30% van Doelwit 2 beteken dus dat amper 613 136 ha van varswatervleilande teen 2030 onder ekologiese herstel moet wees. Ekologiese herstelprogramme het tot dusver slegs ongeveer 203 283 ha (10%) van Doelwit 2 bereik. Die meerderheid (82,8%) van vleilande is op privaat grond geleë, waarvan meer as die helfte gedegradeer is. Baie van die impakte op vleilande, asook die restourasieinisiatiewe wat deur die privaat sektor of individue uitgevoer word, word nie in hierdie berekening weerspieël nie. Monitoring en kwantifisering van alle varswaterhabitate is dus noodsaaklik om Doelwit 2 van die GBR teen 2030 te bereik.

Trefwoorde: biodiversiteit, ekologiese degradering, ekologiese restourasie, erosiebeheer, indringerspesies, Konvensie op Biodiversiteit

Global biodiversity framework for freshwater wetlands of South Africa: Preliminary calculation of progress towards achieving the restoration target of goal 2: The National Biodiversity Assessment of 2018 listed wetlands (estuaries and freshwater ecosystems) as the most threatened ecosystem of South Africa. By 2030, South Africa must report to the United Nations' Global Biodiversity Framework (GBF) to which degree we have reached Target 2 that aims to have 30% of the extent of degraded ecosystems under restoration. This study aimed to calculate the preliminary extent as a percentage of wetlands that have been under ecological restoration interventions, relative to the total extent of degraded freshwater wetlands of South Africa. We also assessed the percentage of extent relative to ownership of the degraded wetlands and those that are under ecological restoration. Data released by the Working for Wetlands and Working for Water programmes were combined with the National Wetland Map version 6 as well as information on land ownership and protection level status of the country. The majority of the freshwater wetlands (51%) were modelled as degraded, with > 2 million ha of the 4 million ha of wetlands showed impacts resulting from various pressures, including changes to the hydrological cycle, water quality, fragmentation and degradation of habitats, climate change, or a combination of these pressures. The 30% GBF Target 2 requires that almost 613 136 ha of freshwater wetlands should be under restoration by 2030. The government's two restoration programmes have reached only 203 283 ha (10%) of the desired target. The majority (82,8%) of freshwater wetlands is located on private land, of which the majority is degraded. Many of the impacts and none of the restoration interventions undertaken by the private sector or individuals are reflected. Monitoring and quantification of all freshwater habitats are therefore needed to attain the 30% extent target of the GBF.

Keywords: biodiversity, Convention on Biodiversity, ecological degradation, ecological intervention, erosion control, invasive species

Inleiding

Vleilande word globaal, ook in Suid-Afrika, as die mees bedreigde ekostelselryk beskou, wat die terrestriële, mariene en binnelandse akwatiese ryke insluit (IPBES, 2019; Skowno et al., 2019). Teen 2030 moet lidlande van die Konvensie op Biologiese Biodiversiteit ("CBD") oor verandering van natuurlike hulpbronne rapporteer (CBD, 2022). Drie doelwitte is deur die Globale Biodiversiteitsraamwerk (GBR) vir ekostelsels gestel: (1) Beplan en bestuur alle areas om biodiversiteitsverlies te verminder; (2) Herstel 30% van alle ekostelsels wat degradasie toon; en (3) Bewaar ten minste 30% van alle ekostelsels (CBD, 2022a&b). Hierdie doelwit is nie net is op rapportering gerig nie, maar ook volgehoue restourasie (kyk die kontinuum in Gann et al., 2019) van ekostelsels, waar nodig.

Suid-Afrika het 30 jaar gelede, in 1995 (DWS, 2001), verskeie ekologiese herstelprogramme begin, waarvan ten minste twee van die programme herstel van varswatervleilande bewerkstellig het. Die Werk vir Vleilande-program is in 2000 as 'n gesamentlike projek tussen die Departement van Omgewingsake, Water en Sanitasie (DWS) en die Departement van Landbou, Bosbou en Visserie op die been gebring (Dini & Bahadur, 2018). Die doelwit van die program is om die beskerming, bewaring, rehabilitasie en volhoubare gebruik van vleilande in Suid-Afrika te fasiliteer (Cowden et al., 2009; Kotze et al., 2019). Die Werk vir Waterprogram, daarteenoor, is in 1995 deur die toentertydse Departement van Water en Bosbou op die been gebring, en beide programme maak tans deel uit van die omgewingsprogramme wat deur die huidige Departement van Bosbou, Visserie en die Omgewing (DBVO) bestuur word (DBVO, 2024). Die hoofdoel van die Werk vir Waterprogram is om uitheemse indringerplante, veral indringerbome, te verwyder (Van Wilgen & Wannenburg, 2016). Die DBVO het 'n databasis van die ekologiese herstelprogramme opgebou wat uit konsultante se verslae saamgestel is, maar die volledigheid daarvan word deur die outeurs van hierdie artikel bevraagteken.

Varswatervleilande beslaan 3 858 176 ha of 3,2% van Suid-Afrika se oppervlakte (vierkante oppervlakte) volgens die Nasionale Vleilandkaart weergawe 6 (NVK6) van die Suid-Afrikaanse Nasionale Instituut vir Biodiversiteit (Engels: South African National Biodiversity Institute ("SANBI")) (SANBI, 2024). Hierdie kaart is 'n verbetering op die vorige weergawe (Van Deventer et al., 2020) waar alle waterhabitate sover moontlik gekarteer was, maar waar daar heelwat ontbrekings en foute teenwoordig was. Volgens die Suid-Afrikaanse Nasionale Waterwet (RSA, 1998:16) sluit waterhabitate die volgende in: (a) 'n rivier of fontein; (b) 'n natuurlike kanaal waarin water vloei, gereeld of ongereeld; (c) 'n vleiland, meer of dam waarin, en waaruit, water vloei; en (d) enige versameling van water wat die Minister, deur middel van 'n Staatskoerant, as 'n waterhabitat kan verklaar. Vleilande as subkategorie word omskryf as grond in oorgang tussen terrestriële en akwatiese stelsels, waar die watertafel gewoonlik by of naby die oppervlak is, of gebiede wat periodiek met vlak water bedek word, en waar die grond, onder normale omstandighede, tipiese plantegroei sou ondersteun wat by groei in versadigde grond aangepas is (RSA, 1998:18). Kunsmatige vleilande word op 'n afsonderlike kaart aangedui en

word nie in die rapportering van waterhabitate in die land se Nasionale Biodiversiteitsanalises (NBA) ingesluit nie (Van Deventer et al., 2018; 2019). Die NVK6 was 'n beduidende verbetering deur die vleilande se oppervlaktes en tipes beter op die kaart te verteenwoordig, terwyl van die ander waterhabitate verwyder is. Hierdie kaart is dus beskikbaar om 'n voorlopige evaluering te maak of Suid-Afrika die teiken van Doelwit 2 gaan bereik, en om die moontlike tekortkominge aan te dui wat aandag moet ontvang.

Die doel van hierdie artikel is dus om die minimum persentasie en geografiese verspreiding van ekologiese herstelprogramme en bewaringsaksies wat die afgelope 30 jaar in Suid-Afrikaanse varswatervleilande onderneem is, weer te gee. Die verantwoordelikheid vir hierdie restourasie-ingrypings is ook op grond van eienaarskaptipe van die gebiede bereken, naamlik onderskeidelik in besit van die staat, privaat eienaars en tradisionele owerhede (TO). Die resultate lig die tekortkominge uit wat voor die 2030-rapportering aan die Konvensie op Biologiese Biodiversiteit die hoof gebied moet word. Laastens bespreek die artikel wat moontlik nodig sal wees om die bestaande restourasie-ingrypings beter te verteenwoordig, vergeleke met ander restourasie-ingrypings, en hoe dit verder uitgebrei moet word om die herstel van vleilande te bevorder.

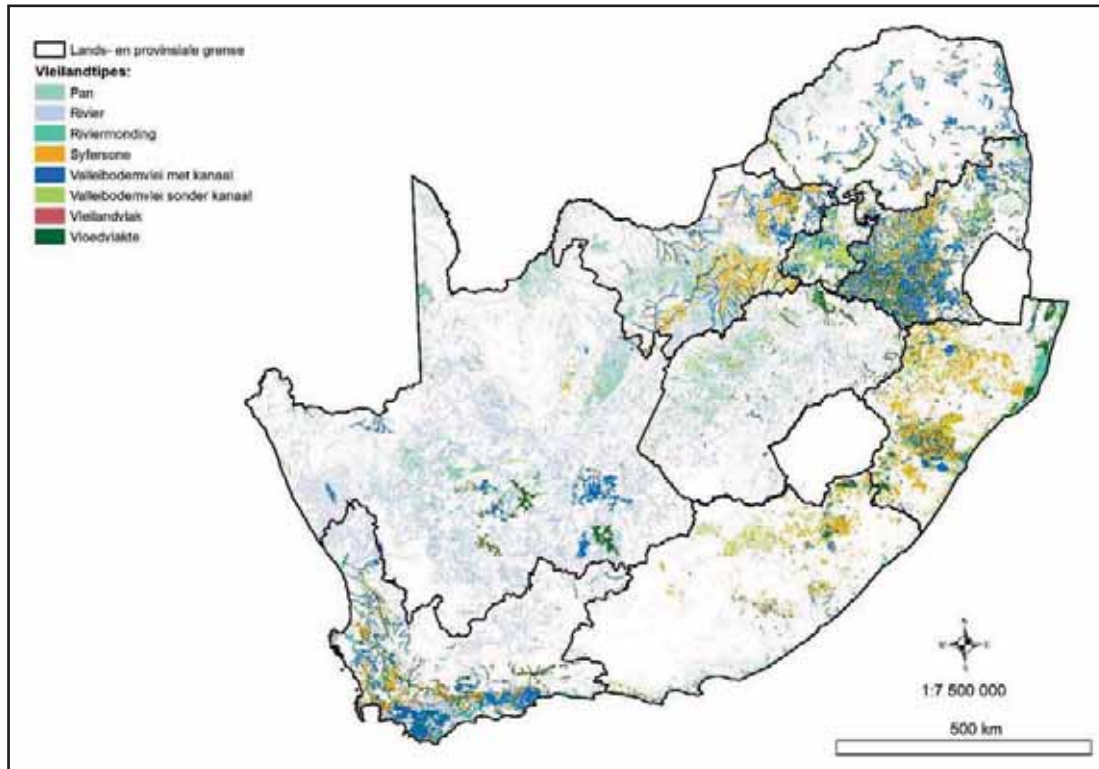
Materiaal en metodes

Studie area

Die studiearea dek die hele Suid-Afrika, met 'n totale grondoppervlakte van 121 955 622 ha (saamgestel uit die Munisipale Afbakeningsraad (MAR) (2016) provinsiale grense en Harris et al. (2019) se kuslyn). Die NVK6 het teen April 2024 'n totaal van 4 057 068 ha vleilande gekarteer, wat 3,3% van die land se oppervlakte beslaan (kyk Figuur 1). Dit sluit varswatervleilande, riviermondings en groot riviere se oppervlaktes in, maar nie alle riviere is ingesluit nie, en ook geen fonteine of enige ander waterhabitate nie (en wat ook alle waterlope ingevolge die Nasionale Waterwet insluit). Nadat duplikaatpoligone gekorrigeer is, is die NVK6 se varswatervleilande van 3 858 176 ha wat binne die landsgrense geleë is, vir die doel van hierdie analise onttrek (Figuur 1). Die varswaterstelsels sluit in die ses geohidrologiese tipes, naamlik panne (waaronder ook brakwaterpanne), vloedvlaktes, gekanaliseerde valleibodemvleie, ongekanaliseerde valleibodemvleie, syfersones en vleilandvlaktes (Figuur 1). Die NVK6 word as basis gebruik om die voorlopige rapportering van restourasie in die varswatervleilande te bepaal.

Data insameling en voorbereiding

Die Werk vir Vleiland-data wat restourasie tussen 2002 en 2012 (SANBI, 2012a&b), verteenwoordig, is van die webblaaie afgelaai en ondersoek. Die gerehabiliteerde vleilandpoligone (SANBI, 2012a) is in hierdie studie gebruik om die oppervlakte van die hele vleiland wat voordeel uit die restourasie getrek het te bereken. Hierdie lêer was in poligoonformaat. Daarteenoor het die vleilandrestourasie-datastel (SANBI, 2012b) punte getoon wat die strukture aandui wat geïmplementeer is. Die poligone van NVK6, wat met hierdie datastel oorvleuel, is geselekteer en



Figuur 1: Die verspreiding van ses geohidrologiese varswatervleilandtipes, asook gedeeltes van sommige riviere en riviermondings, in Suid-Afrika, na aanleiding van die Nasionale Vleilandkaart weergawe 6 (SANBI, 2024) wat in die Nasionale Biodiversiteitsanalise gebruik word. Die vleilande dek slegs 3,2% van die land (buitelyne is vir beter sigbaarheid op 0,5 punte gestel).

onder hierdie restourasieprogram aangedui, hoewel die totale oppervlakte van die impak van die strukture onbekend is. Die gerehabiliteerde vleilandepolygonelaag is in die Geografiese Inligtingstelsel (GIS) ArcGIS 10.7 (ESRI, 1999–2018) van die geografiese koördinaatstelsel na die “Albers Equal Area”- (AEA-) koördinaatstelsel van Suid-Afrika geprojekteer. Hierdie koördinaatstelsel gebruik die 25° Oos-lengtelyn as sentrale meridiaan, met die twee breedtelyste, 24° en 33° Suid, as parallelle (Snyder 1987; 1993).

Die Werk vir Water-dataset (DBVO, 2023a) is van die internet via die ArcGIS aanlyn skakel afgelaai, en bestaan uit vier verskillende lae, naamlik die 2023 “Natural, Biological Aliens”- (NBALs-), Groter Kaapstad-Waterfonds-, “Wildlands Invasive Alien Project Control”- en “Wildlands Parthenium Control”-laag. ‘n Attribuuvel is by elkeen gevoeg om die poligone te identifiseer, en daarna is die vier lae gekombineer om ‘n enkele laag te vorm. ‘n Nuwe attribuuvel is geskep om al die attribute en kombinasies van die oorspronklike lêers te kombineer.

Waar topologiese foute, soos dubbele poligone, ná die kombinerings van die verskeie lae gevorm het, is die foute in GIS (Bylaag A) herstel. Daarna is die lae met die NVK6-laag (SANBI, 2024) gekombineer en is die topologie weer gekontroleer en reggestel voordat die tipe restourasieprogramme vir relevante poligone bereken is, asook die oppervlakte in hektaar bygewerk is. Die grondeienaarskapdata is saamgevoeg uit die kombinasie van die Nasionale Bewaarareas van Suid-Afrika (Skowno et al., 2019; SANBI, 2025), staatsgrond (Skowno et al., 2019) en twee tuisland-datasette, wat die tradisionele owerhede aandui (DOT,

2001; DLOG, 2012) (kyk Bylaag A vir meer inligting). ‘n Attribuuvel is geskep, wat alle kombinasies van hierdie eienaarskaptipes aandui, terwyl die poligone wat buite hierdie staatsgrond, grond van tradisionele owerhede en bewaarareas of enige kombinasie van hierdie drie val, as privaat eiendom beskou is. Die NVK6, die gerehabiliteerde vleilande, en die Werk vir Water-lae is elk gekombineer met die eienaarskapdata van Suid-Afrika, en die resultate is vir duplikaatpoligone getoets en reggestel, waar nodig. In ‘n nuwe attribuuvel is al die verskillende restourasietipes of kombinasies daarvan vir elke poligoon in die GIS aangedui. Oorblywende rekords waar geen ingryping volgens die datasette plaasgevind het, is dan getipeer as “gedegradeer” aangedui, indien NVK6 enige van die ekologiese toestande onder die verskillende relevante velde tussen C (matige verandering) en F (kritieke of ekstreme verandering) (Kleynhans et al., 2000) was, of andersins die “Res van NVK6”, waarvan die ekologiese toestand nog nie op datum gebring is nie.

Data-analise

Die totale oppervlakte en persentasie van alle kombinasies van die ekologiese toestand en restourasies van die totale oppervlakte van die NVK6 is bereken. Die restourasieoppervlakte vir elke kategorie van eienaarskap, of kombinasie daarvan, is in hektaar bereken, asook die persentasies van die totaal van elke eienaarskaptipe. Die totale per provinsie, volgens eienaarskaptipe en as persentasie van die totale oppervlakte van varswatervleilande, en slegs dié van elke provinsie of eienaarskaptipe, is bereken.

Tabel 1: Evaluering van die totale oppervlakte (ha) van varswatervleilande volgens die Nasionale Vleilandkaart weergawe 6 (NVK6; SANBI, 2024) wat gedegradêr is en of die restourasieprogramme bygedra het tot die Globale Biodiversiteitsraamwerk se 30%-restourasiedoelwit. (a) lys die totale oppervlakte (ha) vir restourasieprogramme per eienaarskaptipe, terwyl (b) die persentasie (%) van die oppervlakte lys as totaal van al die land se varswatervleilande. (W4-vleilande = Werk vir Vleilande, en W4-water = Werk vir Water.)

(a) Eienaarskaptipe per provinsie (rye) teenoor kategorie van varswatervleiland (kolomme)	NVK6: varswatervleilande in 'n goeie ekologiese toestand	NVK6: gedegradêerde varswatervleilande onder restourasieprogram(me) of geen genoteerde restourasieprogram(me) nie						Totaal
		Geen restourasie	W4-vleilande	W4-vleilande en W4-water	W4-water	Totaal van gedegradêerde varswatervleilande	W4- totale ingryping	
Bewaararea	37 692,3	15 954,3	4 020,7	377,7	1 285,3	21 638,0	5 683,7	59 330,2
Bewaararea (privaat)	10 178,8	6 207,2	304,2	0,2	3 289,3	9 800,9	3 593,7	19 979,7
Bewaararea (Staat)	81 201,8	49 443,9	9 424,2	5 098,9	23 757,9	87 724,8	38 280,9	168 926,6
Bewaararea (Staat; TO)	1 981,1	11 494,8	62,3	299,6	781,0	12 637,7	1 142,9	14 618,8
Bewaararea (Staat; TO; privaat)	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
Bewaararea (Staatsgrond)	958,9	1 004,0	276,6	114,1	381,9	1 776,6	772,5	2 735,5
Bewaararea (Staatsgrond; privaat)	136,6	33,7	0,0	0,0	2,2	36,0	2,2	172,5
Bewaararea (Staatsgrond; TO)	3 390,9	908,2	1 542,0	249,0	183,3	2 882,5	1 974,3	6 273,4
Bewaararea (Staatsgrond; TO; privaat)	180,9	80,3	0,0	0,0	500,9	581,2	500,9	762,2
Bewaararea (TO)	2 086,5	4 571,4	186,0	5,4	2 463,8	7 226,6	2 655,2	9 313,1
Bewaararea (TO; privaat)	373,7	50,6	0,0	0,0	18,9	69,5	18,9	443,2
Privaat	1 495 834,4	1 551 874,0	48 048,7	1 008,2	61 881,9	1 662 812,8	110 938,8	3 158 647,2
Staatsgrond	49 433,6	43 468,5	849,2	60,8	1 104,2	45 482,6	2 014,2	94 916,3
Staatsgrond en TO	84 771,7	52 928,4	18 358,4	233,3	6 679,7	78 199,8	25 271,4	162 971,5
TO	46 168,5	102 483,4	6 920,1	25,0	3 488,7	112 917,2	10 433,8	159 085,8
Bewaarareas (alle subtipies)	138 181,7	897 48,5	15 815,9	61 44,8	32 664,5	144 373,7	54 625,2	282 555,3
Tradisionele owerheid (en oorvleueling met staatsgrond)	130 940,2	155 411,8	25 278,5	258,3	10 168,4	191 117,0	35 705,2	322 057,2
Totaal	1 814 390,0	1 840 502,8	89 992,3	7 472,2	105 818,9	2 043 786,1	203 283,4	3 858 176,1

(b) Eienaarskaptipe per provinsie (rye) teenoor kategorie van varswatervleiland (kolomme)	NVK6: varswatervleilande in 'n goeie ekologiese toestand	NVK6: gedegradêerde varswatervleilande onder restourasieprogram(me) of geen genoteerde restourasieprogram(me) nie						Persentasie (%) oppervlakte van varswatervleilande per provinsie en eienaarskaptipe van die totale oppervlakte van varswatervleilande in die land
		Geen restourasie	W4-vleilande	W4-vleilande en W4-water	W4-water	Persentasie van gedegradêerde varswatervleilande van alle varswatervleilande per eienaarskaptipe	Doelwit 2 se 30% evaluasie: Persentasie van totale W4* restourasie uit die totaal gedegradêerde stelsels, per eienaarskaptipe	
Bewaararea	0,98	0,41	0,10	0,01	0,03	36,47	26,27	1,54
Bewaararea (privaat)	0,26	0,16	0,01	<0,01	0,09	49,05	36,67	0,52
Bewaararea (Staat)	2,10	1,28	0,24	0,13	0,62	51,93	43,64	4,38
Bewaararea (Staat; TO)	0,05	0,30	<0,01	0,01	0,02	86,45	9,04	0,38
Bewaararea (Staat; TO; privaat)	0,00	<0,01	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	<0,01
Bewaararea (Staatsgrond)	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01	64,94	43,49	0,07
Bewaararea (Staatsgrond; privaat)	<0,01	<0,01	<0,01	0,00	<0,01	20,84	6,25	<0,01
Bewaararea (Staatsgrond; TO)	0,09	0,02	0,04	0,01	<0,01	45,95	68,49	0,16
Bewaararea (Staatsgrond; TO; privaat)	<0,01	<0,01	0,00	0,00	0,01	76,26	86,18	0,02
Bewaararea (TO)	0,05	0,12	<0,01	<0,01	0,06	77,60	36,74	0,24
Bewaararea (TO; privaat)	0,01	<0,01	0,00	0,00	<0,01	15,68	27,16	0,01
Privaat	38,77	40,22	1,25	0,03	1,60	52,64	6,67	81,87
Staatsgrond	1,28	1,13	0,02	<0,01	0,03	47,92	4,43	2,46
Staatsgrond en TO	2,20	1,37	0,48	0,01	0,17	47,98	32,32	4,22
TO	1,20	2,66	0,18	0,00	0,09	70,98	9,24	4,12
Bewaarareas (alle subtipies)	3,58	2,33	0,41	0,16	0,85	51,10	37,84	7,32
Tradisionele owerheid (en oorvleueling met staatsgrond)	3,39	4,03	0,66	0,01	0,26	59,34	18,68	8,35
Totaal	47,03	47,70	2,33	0,19	2,74	52,97	9,95	100,00

Resultate en besprekings

Die resultate word in drie afdelings aangebied. Eerstens is die totale restourasie-ingrypings deur die twee staatsprogramme relatief tot die ideale doelpunt van Suid-Afrika se vleilande vir rapportering aan die GBR se Doelwit 2 in 2030 ontleed. Daarna is grondeienaarskap vir die vleilandtipes, per ekologiese herstelprogram of kombinasie daarvan, aangetoon en bespreek. Laastens is die tekortkominge van die huidige datastelle uitgelig en verbetering voorgestel.

Verspreiding en totale persentasie van restourasie-ingrypings

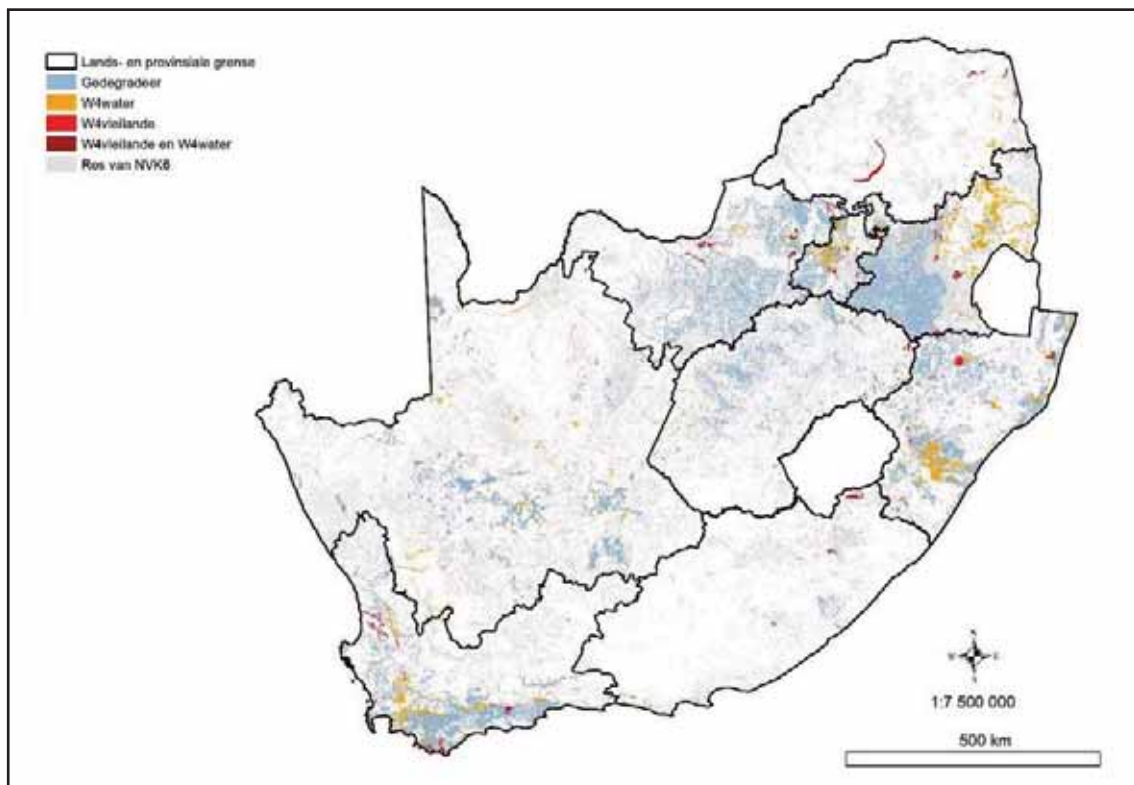
Die NVK6 wys dat meer as helfte van die vleilande as gedegreerde beskou word, naamlik >2 miljoen ha (2 043 786,1 ha), of 53% van alle varswatervleilande (kyk Tabel I a&b). Hierdie totaal sluit in die varswatervleilande in waar daar reeds restourasie gedoen is, sowel as die sonder restourasie, maar nie die res van die NVK6 waarvan die ekologiese toestand nog nie in die laag geïdentifiseer is nie. Die GBR se Doelwit 2 vereis dus dat teen 2030 'n minimum van 30% van hierdie bekende, gedegreerde vleilande onder restourasie moet wees, dit wil sê 'n minimum van 613 135,8 ha.

Die twee restourasieprogramme van die staat, die Werk vir Vleilande- en die Werk vir Waterprogram, se ruimtelik beskikbare poligoondata beslaan 203 283,4 ha, wat 5,3% van die totale oppervlakte van alle varswatervleilande uitmaak, 10% van alle gedegreerde vleilande, en dus slegs 33% van die Doelwit 2 se teiken van 613 135,8 ha, volgens die data wat beskikbaar was

(kyk Tabel 1b). 'n Addisionele 409 852,5 ha van varswatervleilande kort nog restourasie voor 2030, volgens die bestaande data. Van al die provinsies het slegs Limpopo en die Oos-Kaap die 30%-doelwit bereik (kyk Bylaag B; Tabel Ia&b), terwyl die res van die provinsies slegs tussen 4% en 18% van hul gedegreerde varswatervleilande onder restourasie het (Tabel I a&b).

Werk vir Vleilande se ekologiese rehabilitasieprogram is aanvanklik in die Vrystaat begin en daarna na Limpopo en Mpumalanga uitgebrei. Die ruimtelike poligoondata wat vir die tydperk van 2002 tot 2012 beskikbaar is, wys dat die verspreiding van die herstelprogramme gedurende hierdie jare hoofsaaklik in Gauteng, Mpumalanga, KwaZulu-Natal, Noordwes en Wes-Kaap geleë was (kyk Figuur 2). Ander ekologiese herstelprogramme is ook in Limpopo, Oos-Kaap en die oostelike deel van die Vrystaat ingestel, maar was minder opsigtelik as dié van eersgenoemde drie provinsies, terwyl die minste in die Noord-Kaap aktief was (kyk Figuur 2). Die westelike gedeelte van die Mpumalanga asook die oostelike gedeelte van Noordwes toon 'n oormatige hoeveelheid van gedegreerde vleilande.

Die SANBI is voortdurend besig met verbetering van die poligone wat die oppervlakte van vleilande en riviere verteenwoordig, asook die beter verteenwoordiging van die gehidrologiese ekostelseltipes, regstelling van weglatings- en verteenwoordigingsfoute en die weergee van die korrekte ekologiese toestand van al die poligone en nie net breedvoerige modellering soos wat in NVK5 gedoen is nie (Van Deventer & Nel, 2025). Aangesien die NVK nog deurlopend verbeter word, is dit onseker wat die werklike totale oppervlakte vir Doelwit 2 in



Figuur 2: Verspreiding van Werk vir Vleilande (W4vleilande) se restourasies vir die jare 2002 tot 2012 (SANBI, 2012a&b) asook Werk vir Water (W4water) se restourasie sedert 2023, asook die Nasionale Vleilandkaart weergawe 6 (NVK6; SANBI, 2024) en oorblywende gedegreerde varswatervleilande.

2030 sal wees. Die Werk vir Water-program se poligone is verteenwoordigend van restourasie-ingrypings tot en met 2023, terwyl Werk vir Vleilande se data slegs die 11 jaar tussen 2002 en 2012 verteenwoordig, en nie noodwendig die afgelope dekade se restourasie-ingrypings weerspieël nie. Die impakte of degradasie mag dalk ook slegs 'n sekere persentasie van die volledige poligoon beslaan, en nie hele poligoon nie. Restourasie-ingrypings mag dalk net 'n struktuur wees in die Werk vir Vleilande-databasis se lae, maar kan 'n groter oppervlakte van rehabilitasie impliseer, en dus heelwat nader wees aan die Doelwit 2 se teikenoppervlakte. Met verbeterde opdaterings van tekortkominge kan verdere ondersoek gedoen word om die verspreiding van degradasie en restourasie per geohidrologiese varswatervleilandtipe, ekologies funksionele groep (Keith et al., 2022) of provinsie te verstaan, wat prioritering van tipes of areas kan verbeter, asook rapportering in Suid-Afrika en vir die GBF se ekostelseldoelwitte.

Verspreiding en persentasie van die ekologiese herstelprojekte relatief tot grondeienaarskaptipes

Die meerderheid (3 158 647,2 ha of 82,0%) van NVK6 se varswatervleilande in Suid-Afrika is op privaat grond geleë, terwyl die bewaarareas (kombinasies van alle tipes) 282 555,3 ha (7,3%), staatsgrond 94 916,27 ha (2,5%) en tradisionele owerhede 322 057,2 ha (8,4%) beslaan (kyk Tabel 1a&b en Figuur 3). Bewaarareas het reeds 38% van gedegradeerde varswatervleilande op hul eiendom onder rehabilitasie, teenoor die staatsgrond wat slegs 4,4% onder restourasie het, en die tradisionele owerhede 18,7% (kyk Tabel 1b). In totaal het Suid-Afrika reeds 10% van gekarteerde gedegradeerde varswatervleilande onder restourasie, maar skiet steeds te kort wat

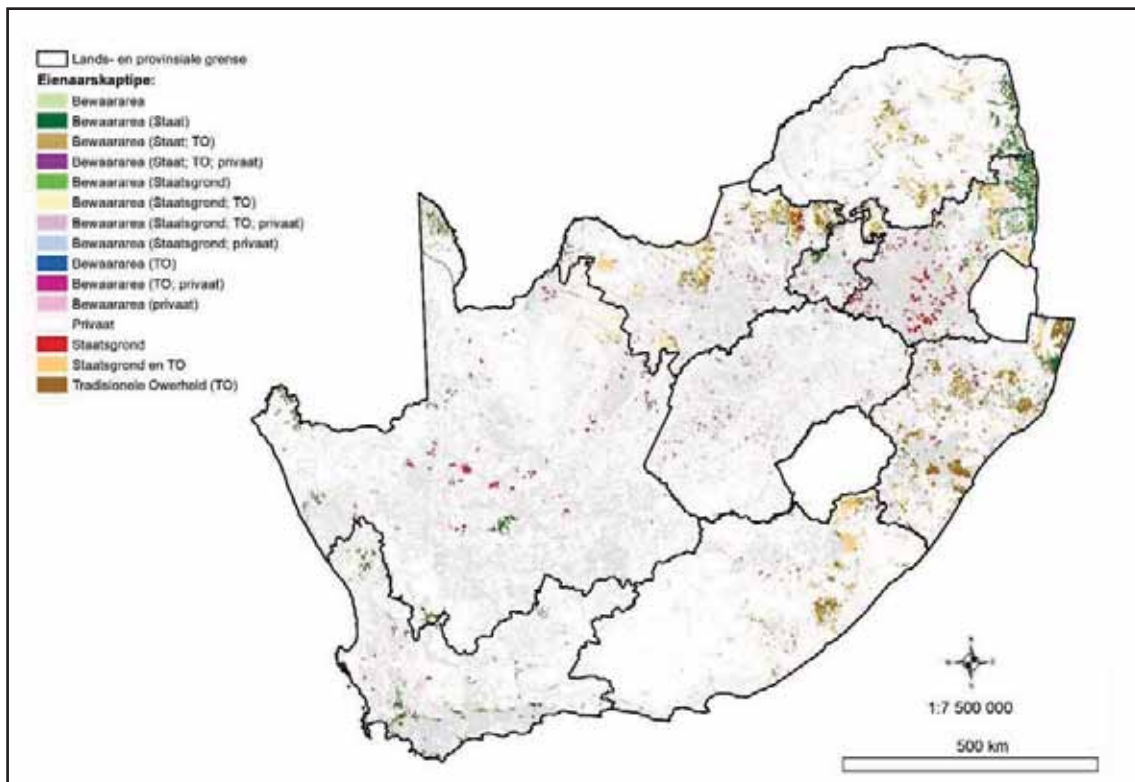
betref Doelwit 2 se 2030-mikpunt.

Restourasie-ingrypings wat ontbreek – aanbevelings vir verbeterde verteenwoordiging en rapportering ten opsigte van GBR-doelwit 2

Vleilande en ander waterhabitate ondervind druk uit verskeie oorde. Dudgeon et al. (2006) het dit opgesom as die impakte veroorsaak deur die volume van wateronttrekking, waterkwaliteitsveranderinge, degradasie of agteruitgang van habitate – ook in die opvangsgebiede van die waterhabitate – en indringerspesies. Die volgende subafdelings lewer kommentaar op elkeen van hierdie druktyes, die kennis van die impakte waarvan ons tot op dag en datum weet, en voorstelle oor hoe daarop verbeter kan word.

Impakte van wateronttrekking en -toevoeging

Die totale volume water wat tussen dreineringsgebiede oorgedra word, verander die hoeveelheid wat oorspronklik binne die opvangsgebied was (Van Deventer et al., 2019). Geohidroloë kan help om die persentasie volume van toevoeging of onttrekking vir elke vyfde vlak van die opvangsgebiede te bereken, bv., die sub-kwaternêre ("quinary") (Nel et al., 2011) of vyfde vlak van opvangsgebiede (Maherry et al., 2013). Hidrologiese modellering kan die kumulatiewe impak op die waterhabitate bereken vir die oppervlakte van vloei sowel as die persentasie grondwater wat in hierdie gebiede verander het. Daar is reeds beduidende afname in die hoeveelheid grondwater vir vleilande in die Maputalandse kusgebied, waar die vleilande opgedroog het, en toenemend in die afgelope dekade begin brand het (Grundling et al., 2021), ten spyte van



Figuur 3: Verspreiding van die Nasionale Vleilandkaart weergawe 6 (SANBI, 2024) volgens verskeie grondeienaarskaptipes.

hul ligging in die strategiese waterbronareas (Lötter & Le Maitre, 2021). Die verantwoordelikheid regulering van die oorhoofse wateronttrekking berus by die staat, met grondeienaars wat onder verpligting is om toegekende waterregte te eerbiedig.

Die rapportering van die restourasie-ingryping sal dus hoofsaaklik die staat se verantwoordelikheid wees, op grond van die regulering van wateronttrekking volgens die berekende ekologiese reserwe vir bepaalde waterbronne of opvanggebiede, binne die oorkoepelende hidrologiesesiklusfase. Suid-Afrika het 'n wisselvallige reënval met die natuurverskynsels van droogtes en vloede, binne die groter hidrologiese siklus.

Waterkwaliteitsimpakte en restourasie-ingrypings

Waterkwaliteitsveranderinge word tans hoofsaaklik vir riviere gerapporteer (Job et al., 2019) en skiet te kort vir varswatervleilande. Die impak van waterbesoedeling op waterhabitate wat aan besoedelde riviere gekoppel is, is onbekend. In die Nasionale Biodiversiteitsanalise van 2019 is gerapporteer dat 46 (4%) van die > 1 150 rioolwerke van Suid-Afrika (DWS, 2018; News24, 2019) 'n kritieke toestand bereik het, en dus 'n negatiewe impak op die aangrensende waterhabitate het. Die mees onlangse Groendruppelverslag van DWS toon dat 63% van die 1 150 rioolwerke van die land se toestand tussen 2013 en 2021 as swak tot kritiek beskou word, dus 9% van al die land se rioolwerke is (DWS, 2022:13). Hierdie wanfunksionele rioolwerke is regoor die land versprei (DWS, 2022:15), maar dié wat in die mees kritieke toestand verkeer, kom hoofsaaklik in Gauteng, die noordelike deel van KwaZulu-Natal (veral in die eThekweni-metro) en Limpopo (DWS, 2022:16) voor. In November 2024 het die Minister van die DWS 88 strafregtelike sake teen munisipaliteite aanhangig gemaak, met die DBVO wat ook die impak van hierdie besoedeling op varswater-ekostelsels ondersoek (DWS, 2024).

Die voorkoms van waterhiasinte (*Pontederia crassipes*), 'n kategorie 1-indringer, is reeds meer as 'n dekade gelede in damme en riviere in al die provinsies van die land aangeteken (Pérez et al., 2011), met die gevolglike vermindering van beide watervolume en -kwaliteit in die betrokke ekosistels (Gounden & Subramany, 2023). Beheermaatreëls sluit in die fisiese verwydering van die plante (met die hand of meganiese) om die probleem die hoof te bied (bv. Moffat et al., 2024; Nefdt, 2024), of biologiese beheer (Coetzee et al., 2022; Miller et al., 2023). Die hooforsaak, naamlik die swak waterkwaliteit, moet eerder deur die staat, provinsie of munisipaliteit aangepak word. Rapportering van beide die volume en oppervlakarea van hierdie probleem mag dalk belangrik wees, maar dalk belangriker is die verbetering van waterkwaliteit, wat die oorsprong van die probleem is.

Die toename in plastiekbesoedeling, wat beide makro- (> 5 mm) en mikroplastiek (\leq 5 mm) insluit, in varswaterhabitate regoor Afrika is ook kommerwekkend (Yakubu et al., 2024). Verskeie studies wys daarop dat die oppervlak- en grondwater, sediment en akwatiese organismes mikroplastiek opneem, en dat dit 'n negatiewe impak op organismes het (Bouwman et al., 2018; Dalu et al., 2023, 2024; Yakubu et al., 2024). Daar is nog geen

studie wat die omvang van plastiekbesoedeling in Suid-Afrika se binnelandse waters ondersoek het nie, en die DWS se moniteringsprogramme sluit geen evaluering van plastiek of die minimum aanvaarbare standaard in nie. Alternatiewe produkte en verbeterde hersirkulering van plastiek word egter tans ondersoek (Bouwman et al., 2018). Informele nedersettings word as een van die brandpunte beskou (Hendricks et al., 2024), terwyl informele herwinnaars ook bydra tot die onwettige storting van afval naby riviere (persoonlike waarnemings van skrywers). Volgens die DBVO (2020) het plastiek die laagste herwinningskoers vergeleke met ander afvaltipes, het dit 'n beduidende negatiewe impak op die omgewing en is dit dus 'n topprioriteit van hul nasionale afvalbestuurstrategie (DBVO, 2020).

Habitatdegradasie en restourasie-ingrypings

Vleilandvorming spruit uit verskeie dryfkragte, waaronder tipe geomorfologiese terrein, hidrologie, fisiese en biologiese prosesse. Die wisselwerking tussen dié dryfkragte lei tot die funksies en dienste (bv. vloedbeheer en watersuiwering) wat met bewaring van vleilande vereenselwig word (Kotze et al., 2008). Voorts is vleilande ook 'n geïntegreerde deel van opvanggebiede en breër landskappe en word die aard en tempo van prosesse wat 'n invloed op vleilande het dikwels deur menslike ontwikkeling binne opvanggebiede en in landskappe beïnvloed (Kotze et al., 2008).

Verandering in opvanggebiede, soos stedelike ontwikkeling, oopgroefmyne, landbouuitbreidings en vestiging van plantasies, het nie net 'n direkte impak op habitate nie maar verander die hidrologiese en geomorfologiese eienskappe van die grondoppervlak wat ontwikkel word. Ontboste en verharde oppervlakke lei tot verhoogde stormwaterafloop, wat verhoogde sedimentasie en/of erosie in vleilande tot gevolg het in vleilande veroorsaak en verdere habitatdegradasie veroorsaak. Nog meer vernietigend is die bou van damme of die vestiging van dreinerings in vleiland met nie net die gevolglike impak op habitat en biodiversiteit nie, maar ook die verlies aan vleilandfunksie en ekosisteldienste soos stormwaterbeheer, wateropberging, filtrering, erosiebeheer en koolstofopberging. Die Werk vir Vleilande-program fokus veral daarop om die impakte van vleilanddreinerings en erosie met restourasie-ingrypings soos herbenattingswalles en erosiebeheerstrukture te herstel.

Die versnelde ontwikkeling in verskeie streke in die Suid-Afrikaanse landskap noop egter restourasie-ingrypings wat meer voorkomend van aard is. Hier is die regulatoriese raamwerke wat sedert 1998 deur die Nasionale Waterwet (Wet 36 van 1998) en die Nasionale Omgewingsbewaringswet (Wet 107 van 1998) daargestel is van belang. Die wette maak onder andere voorsiening vir regulasies wat die moontlike degradasie en besoedeling van waterhabitate, waterlope en veral vleilande proaktief die hoof bied deur waterlisensies en omgewingsimpakstudies. Die onus om te verhoed dat hierdie regulasies omseil word, bly egter die verantwoordelikheid van die aansoeker/gebruiker in die gees van artikel 24 van die Suid-Afrikaanse grondwet, ingevolge waarvan elkeen die reg het op

die beskerming van die omgewing en wat “redelike wetgewende en ander maatreëls” vereis “wat... die ekologies volhoubare ontwikkeling en aanwending van natuurlike hulpbronne verseker terwyl dit regverdigbare ekonomiese en maatskaplike ontwikkeling bevorder.”

Indringerspesies en restourasie-ingrypings

Die Werk vir Water-program fokus hoofsaaklik op die verwydering van 14 indringerboomspe­cies (DBVO, 2023a). Die totale omvang van alle indringerplant- en dierspe­cies in waterhabitate bly egter onbekend. Pogings tot beter begrip en monitering van alle indringspe­cies in waterhabitate, asook die opvangsgebiede daarvan, is belangrik.

Volgens die Nasionale Biodiversiteitsassessering 2018 (Skowno et al., 2019) is varswatervisse die mees bedreigde van die 658 inheemse varswatertaksons wat geassesseer is (Skowno et al., 2019; Van Wilgen & Wilson, 2018). Hierdie varswatertaksons sluit visse, amfibieë, reptiele, voëls, soogdiere, Odonata (naaldeko­kers en waterjuffers) en ’n groep waterplante in, waarvan 160 taksons endemies is en waarvan 41% met uitwissing bedreig word (Van der Colff et al., 2019). Varswatervisse maak 36% van alle taksons en 66% van die endemiese taksons uit wat in Suid-Afrika deur uitwissing bedreig word.

Die bewaringstatus van die verskillende varswatertaksons verskil redelik baie. Terwyl slegs 18% van varswatervissies goed bewaar word, geniet 100% van die reptiele wat in varswaterhabitate voorkom beskerming, terwyl 83% van die voëls, 76% van die amfibieë en 65% van die soogdiere wat in varswaterhabitate voorkom, ook beskerm word (Van der Colff et al., 2019). Die hoofrede vir hierdie kwesbaarheid onder varswatervisse is hul totale afhanklikheid van riviere, en slegs 14% van hierdie visse kom in gebiede voor wat bewaar word. Daarbenewens is slegs 43% van Suid-Afrika se riviere in ’n natuurlike of naas natuurlike toestand, terwyl die res weens indringspe­cies, besoedeling, stedelike uitbreiding, swak dam- en waterbestuur, habitatverlies en fragmentering en oortonttrekking van water degradasie toon (Skowno et al., 2019).

Tot dusver het die pogings van verskillende natuurbe­waringsgroepe verhoed dat varswatervissies heeltemal uitsterf, ten spyte daarvan dat hul verspreidingsgebiede algaande verklein. Suksesvolle ekologiese herstelprogramme (soos dié wat Wes-Kaapse Raad Natuurbewaringsraad (“CapeNature”) van stapel gestuur om uitheemse indringer- varswatervissies in die Wes-Kaap uit te roei (Impson et al., 2017)), moet uitgebrei word en uiteindelik landwyd toegepas word. Die bewaring van inheemse akwatiese taksons, en veral visse, sal slegs suksesvol wees as groter dele van rivierstelsels en vleilande in natuurbewaringsgebiede ingesluit word (Skowno et al., 2019).

Die ekologiese rol van ongewerweldes wat in vleilande voor­kom, is van kardinale belang, aangesien hulle as die hoof­voedselbron dien vir visse, amfibieë, watervoëls en soogdiere wat in varswatervleilande voorkom. Hierdie invertebrate is veral sensitief vir besoedeling en moet net soos die werwel­diere

bewaar word. Talle nuwe en tot dusver onbekende onge­werwelde spesies is tydens opnames in varswatervleilande ontdek, wat daarop dui dat ongewerweldes ’n baie groter diversiteit toon en dus ook ’n baie groter rol in die ekologie speel as wat voorheen bereken is (De Moor & Barber-James, 2013). Die volledige weergawe van alle tipes indringspe­cies in alle varswaterhabitate is dus uiters belangrik, en so ook is alle tipes restourasieprogramme of pogings, nie slegs dié van die DBVO nie.

Die gebruik van afstandswaarneming dra toenemend by tot die verbeterde en meer akkurate kartering van indringerplante, veral indringerbome, in die kwantifisering van areas vir Doelwit 2. Verskeie studies bewys dat satellietbeelde van die Europese Ruimteagentskap se Sentinel 1 en 2, met ’n 10 m ruimtelike resolu­sie, die verspreiding van indringerbome in Suid-Afrika beter kan karteer (Holden et al., 2020; Rebelo et al., 2021) as die vorige uitsette van die Landsat-satellietbeelde wat ’n 30 m-ruimtelike resolu­sie het (Kotzé et al., 2010; DBVO, 2023). Die verbeterde ruimtelike resolu­sie, en die feit dat die Sentinel-satellietbeelde ook meer bande as die Amerikaanse Landsat het, dra tot verbeterde herkenning van verskillende tipe plant spesies by (Holden et al., 2020; Rebelo et al., 2021). Hierdie tegnologie kan dus bydra tot die identifisering van areas waar daar erge indringing van kategorie 1 indringerbome is. Dit geld veral in die strategiese waterbronareas van Suid-Afrika (Lötter & Le Maitre, 2021), wat dan vir verwydering geprioritiseer kan word, ongeag die eienaarskaptipe van die grond.

Die impak van klimaatsverandering op vleilande

Hoewel alles daarop dui dat klimaatsverandering tot veran­dering in reënvalpatrone, temperatuur en verdampingkoerse wêreldwyd lei (IPCC, 2023), is dit tans moeilik om die impak van klimaatsverandering van ander antropologiese impakte te onderskei. Suid-Afrika het ’n baie wisselvallige reënvalpatroon en hoë verdampingskoerse, wat oor die algemeen gekenmerk word deur droogtes en vloede en wat as deel van die natuurlike hidrologiese siklus beskou word (Schulze, 2022). Die April 2022-vloed in KwaZulu-Natal, byvoorbeeld, word eerder geassosieer met ’n 1:50- tot 1:100-jaar vloed as met klimaatsverandering (Schulze, 2022), maar aangesien mense binne die vloedvlakte gebou het, word die skade nou as erger as voorheen beskou. Ten spyte daarvan dat dit tans moeilik is om tussen die impakte van klimaatsverandering op die natuur en die bestaande antropologiese impakte op vleilande te onderskei, is dit belangrik ekologiese herstel te prioritiseer in gebiede waar die meeste van die impakte negatief is.

Die Nasionale Biodiversiteitsanalise van 2018 (Skowno et al., 2019; Snaddon et al., 2019) het ’n deeglike oorsig gegee van die impakte van klimaatsverandering op ekostelsels, wat varswaterstelsels insluit. Oor die algemeen wys data dat ’n veran­dering van reënvalpatrone en ’n verhoging van gemiddelde temperatuur en verdampingskoerse veral in die noorde, noordooste en suidwestelike dele van Suid-Afrika, tot op datum besig is om plaas te vind (Dallas & Rivers-Moore, 2014). Alle aanduidings is dat vleilande erg onder klimaatsverandering sal lei (Ellery et al., 2016), veral waar reënvalpatrone meer

wisselvallig sal wees, met onvoorspelbare intense storms (Meissner et al., 2013). Gevolglik sal vleilande in droër streke minder reën kry en aan toenemende uitdroging onderworpe wees, terwyl vleilande in opvanggebiede met intense storms beduidende geomorfologiese veranderinge te wagte kan wees, wat erosie, sedimentasie en gevolglike degradasie in vleilandprosesse, -funksies en habitatte insluit.

Temperatuurveranderinge van waterhabitate kan veral 'n beduidende en negatiewe impak op die verspreiding van warm- en kouewaterlewende visse hê (Dallas & Rivers-Moore, 2014; Reizenberg, 2017), veral dié in bergagtige gebiede waar geen migrasie na hoër gebiede met koeler watertemperatuur moontlik is nie. Amfibieë word oor die algemeen as uiters kwesbaar vir temperatuurverandering beskou, aangesien daar geen alternatiewe habitatte gaan wees om heen te vlug as hul bestaande habitatte uitdroog nie (Urban, 2015), en 70 spesies toon reeds inkrimpings in hulle verspreidingsgebied (Skowno et al., 2019). 11 Suid-Afrikaanse voëlsesies wat in vleilande voorkom, word reeds deur droogtes, storms en vloede bedreig (Taylor & Peacock, 2018). Die drempelvlak van toleransie van varswaterspesies is egter onbekend, terwyl inligting oor die persentasie impak van klimaatsveranderinge op habitatte en spesies bykomend by bestaande direkte antropologiese impakte onduidelik is.

Tans is daar 'n groot mate van onsekerheid ten opsigte van die geografiese ligging en skaal van die impak van klimaatsverandering, aangesien die getal operasionele weerstasies in Suid-Afrika aan die afneem is, terwyl die begroting van die DWS, wat vir die monitoring van alle waterhabitate verantwoordelik is, voortdurend besnoei word (Skowno et al., 2019). Daarbenewens monitor die DWS die abiotiese en biotiese eienskappe van riviere, maar nie van ander varswaterhabitate nie (Van Deventer et al., 2019). Groot kommer bestaan oor die voortdurende besnoeiing van die regering se befondsing vir die analise van die rivierhabitate, terwyl die ander varswatervleilande se monitoring steeds nie verbeter het nie, ten spyte van die belangrikheid van hierdie ryk in die Nasionale Biodiversiteitsanalises (Skowno et al., 2019; Van Deventer et al., 2019). Die impakte van indirekte en direkte antropologiese impakte op die abiotiese en biotiese eienskappe van vleilande is dus nie duidelik vir alle tipe vleilande in alle streke nie, wat die prioritisering van areas vir ekologiese restourasieingryping met die oog op die GBR se Doelwit 2 bemoeilik.

Gevolgtrekkings

SANBI werk die NVK6 deurlopend by om seker te maak dat die volgende vleilandkaartweergawe tekortkominge sal ondervang. Daarmee saam is hulle ook in die proses om regoor die land onderhoude te voer om meer inligting aangaande die ekologiese toestande van vleilande te bekom. Tans is daar amper geen moniteringspunte van die DWS in vleilande nie (Van Deventer et al., 2019). Dit verhinder dus akkurate verteenwoordiging van die totale volume of oppervlakte van waterhabitate asook van hul voortdurend veranderende ekologiese toestande, waarop waterkwaliteit 'n negatiewe impak het.

'n Volledige kaart van varswaterhabitate, wat ook riviere en fonteine insluit, is belangrik vir toekomstige rapportering na die Globale Biodiversiteitsraamwerk, en so ook die berekening van die korrekte oppervlakte of volume van alle varswaterhabitate waar restourasie-ingryping nodig is. 'n Oorsig van die degradasie van watervolume en oppervlakte in varswaterhabitate sal groter duidelikheid gee oor die tipe rapportering, asook die tipe moniteringsprogramme, wat die DWS en die DBVO, in samewerking met Natuurbewaringsagentskappe en vrywilligheidsorganisasies, kan koördineer.

Die voorlopig beskikbare elektroniese data wat in die poligoonlae aangeteken is, dui daarop dat Suid-Afrika nie op koers is om die GBR se Doelwit 2 te bereik nie. Maar heelwat van die restourasie-ingrypings word nie in die beskikbare gekarteerde data verteenwoordig nie, en dus sal heelwat werk nodig wees vir akkurate rapportering teen 2030.

Erkennings

Ons bedank dr Nacelle Collins, vleilandkenner van die Vrystaatse Departement van Toerisme, Omgewing en Ekonomiese Sake, wat die vertaling van "wetland flat" as "vleilandvlak[te]" voorgestel het. Ons wil ook ons waardering uitspreek vir die keurders se insette en kommentaar op hierdie artikel. Hierbenewens bedank ons ook dr Andrew Skowno en me Sediqa Kathieb van SANBI, wat aan ons die bygewerkte data van die Bewaarareas se totale oppervlakte en eienaarskap verskaf het.

Befondsing

Van dr Van Deventer se ure is in 2024 deur die Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad (WNNR) se Parlementêre Toekening-projek befonds, maar die ander outeurs het geen befondsing ontvang nie.

ORCID

H van Deventer <https://orcid.org/0000-0002-7854-2155>

F Durand <https://orcid.org/0000-0003-2966-1163>

PL Grundling <https://orcid.org/0000-0001-8251-3819>

Literatuurverwysings

- Bouwman, H., Minnaar, K., Bezuidenhou, C., et al., 2018, Microplastics in freshwater water environments: A scoping study, Watervanorsingskommissie (WNK), Verslag No. 2610/1/18, WNK, Pretoria, Suid-Afrika.
- Convention on Biological Diversity (CBD), 2022a, Briefing note on scientific and technical issues related to the global monitoring of biodiversity, CBD/ID/OM/2022/1/INF/2. Verkrygbaar by: <https://www.cbd.int/doc/c/0aef/09cb/0f9654d62722534df6c7a98/id-om-2022-01-inf-02-en.pdf>. Toegang verkry op 9 Desember 2024.
- CBD, 2022b, Decision adopted by the conference of the parties to the convention on biological diversity: 15/4 Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Verkrygbaar by: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>. Toegang verkry op 9 Desember 2024.
- CBD, 2022c, Proposed monitoring framework for the post-2020 global biodiversity framework. Verkrygbaar: <https://www.cbd.int/doc/recommendations/sbstta-24/sbstta-24-rec-02-en.pdf>. Toegang verkry op 9 Desember 2024.
- Coetsee, J.A., Miller, B.E., Kinsler, D., et al., 2022, It's a numbers game: inundative biological control of water hyacinth (*Pontederia crassipes*), using *Megamelus scutellaris* (Hemiptera: Delphacidae) yields success at a high elevation, hypertrophic reservoir in South Africa, *Biocontrol Science and Technology* 32(11), 1302-1311. <https://doi.org/10.1080/09583157.2022.2109594>.

- Cowden, C., Kotze, D., Breen, C., et al., 2009, WET-RehabEvalueate. Water Navorsingskommissie (WNK), Verslag No. TT 342/09, WNK, Pretoria, Suid-Afrika, 84 bl.
- Dallas, H.F., Rivers-Moore, N.A., 2014, Ecological consequences of global climate change for freshwater ecosystems in South Africa, *South African Journal of Science*, 110(5/6), <https://doi.org/10.1590/sajs.2014/20130274>.
- Dalu, T., Themba, N.N., Dondofema, F., et al., 2023, Nowhere to go! Microplastic abundances in freshwater fishes living near wastewater plants, *Environmental Toxicology and Pharmacology* 101, 104210. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104210>.
- Dalu, T., Themba, S.T., Dondofema, F., et al., 2024, Assessing microplastic abundances in freshwater fishes in a subtropical African reservoir, *Research* 5(360), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00589-5>.
- De Moor, F.C., Barber-James, H.M., 2013, A survey of the aquatic macroinvertebrates of selected tributary rivers of the Olifants and Doring Rivers in the Cederberg, Western Cape to help assess conservation status and assist conservation planning of the biodiversity of these rivers. In: Bills, I.R., Impson, N.D. (Uitg.). Conservation biology of endangered freshwater fishes - linking conservation of endangered freshwater fishes with river conservation, focussing on the Cederberg. Waternavorsingskommissie (WNK), Verslag No. KV 305/12, pp. 95-122. WNK, Pretoria, Suid-Afrika.
- Departement van Bosbou, Visserye en die Omgewing (DBVO), 2020, National Waste Management Strategy 2020, DBVO, Pretoria, Suid-Afrika. Verkrygbaar by: https://www.dffe.gov.za/sites/default/files/docs/nationalwaste_management_strategy.pdf. Toegang verkry 19 September 2018.
- DBVO, 2023a, Working for Water Information Management System (WIMS). Verkrygbaar by: https://dffportal.environment.gov.za/hosting/rest/services/Hosted/Working_for_Water/FeatureServer/via die ArcGIS Online Map Viewer https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?url=https%3A%2F%2Fdffportal.environment.gov.za%2Fhosting%2Frest%2Fservices%2FHosted%2FWorking_for_Water%2FFeatureServer&source=sd. Toegang verkry 1 Julie 2024.
- DBVO, 2023b, Working for Water Programme. Verkrygbaar by: <https://www.dffe.gov.za/working-water-wfw-programme>. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- DBVO, 2023c, Working for Wetlands Programme. Verkrygbaar by: <https://www.dffe.gov.za/WorkingforWetlands>. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- DBVO, 2024, Environmental Programmes. Verkrygbaar by: Branch - EP Home | Department of Environmental Affairs, Toegang verkry 12 Desember 2024.
- Departement van Omgewingsake en Toerisme (DOT), 2001, Omgewingspotensialatlas ('Environmental Potential Atlas for South Africa' of 'ENPAT'). DOT in samewerking met die Universiteit van Pretoria, Pretoria, DOT, Suid-Afrika.
- Departement van Grondsake (DGS), datum onbekend, Tradisionele Owerhede se gebiede. Ruimtelike datastel, DGS, Pretoria, Suid-Afrika.
- Departement van Landelike Ontwikkeling en Grondhervorming (DLOG), 2012, Transkei, Bophuthatswana, Venda, and Ciskei poligoondatalaag, Pretoria, Suid-Afrika.
- DLOG, 2013, Land Audit Report. Phase 1 State Land Audit Report, DLOG, Pretoria, Suid-Afrika. Verkrygbaar by: <http://www.ruraldevelopment.gov.za/phocadownload/Cadastral-Survey-management/Booklet/land%20audit%20booklet.pdf>. Toegang verkry 22 April 2025.
- DLOG, 2017, Land Audit Report. Phase II: Private Land Ownership by race, gender and nationality, DLOG, Pretoria, Suid-Afrika. Verkrygbaar by: https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/201802/landauditreport13feb2018.pdf. Toegang verkry 22 April 2025.
- DLOG, 2019, Staatsgrond poligoonlaag, DLOG, Pretoria, Suid-Afrika.
- Departement van Water & Sanitasie (DWS), 2001, Working for Water Programme: Briefing and handing out of the Working for Water Programme Annual Report 2000/1 (Working for Water). Verkrygbaar by: <https://pmg.org.za/committeemeeting/757/>. Toegang verkry 12 Desember 2024.
- Dini, J.A., Bahadur, U., 2018, South Africa's National Wetland Rehabilitation Programme: Working for Wetlands. In: Finlayson, C.M., et al. (Uitg.) The Wetland Book. Springer, Dordrecht, Nederland. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9659-3_145.
- Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., et al., 2006, Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges, *Biological Reviews* 81(2), 163-182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>.
- DWS, 2018, National Water and Sanitation Master Plan Volume 1: Call to Action v9.4, DWS, Pretoria, Suid-Afrika, Verkrygbaar by: <http://www.dwa.gov.za/National%20Water%20and%20Sanitation%20Master%20Plan/Documents/NWSMP%20Call%20to%20Action%20Final%20Draft%20PDF.pdf>. Toegang verkry 19 September 2018.
- DWS, 2019, Water quality monitoring points and weirs at the time of the National Biodiversity Assessment of 2018, DWS, Pretoria, Suid-Afrika.
- DWS, 2022, Green Drop: Department of Public Works 2022. Verkrygbaar by: https://ws.dws.gov.za/IRIS/releases/Report_DPW_Rev02_29Mar22_MN%20web.pdf. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- DWS, 2024, Deputy Minister Sello Seithlolo on Gauteng's Waste Water Treatment Plants being main polluters of province's water courses. South African Government Official Information and Services. Verkrygbaar by: <https://www.gov.za/news/media-statements/deputy-minister-sello-seithlolo-gauteng%E2%80%99s-waste-water-treatment-plants-being>. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- Ellery, W.N., Grenfell, S.E., Grenfell, M.C., et al., 2016, Wetlands in southern Africa. In: J. Knight, Grab, S., (Uitg.), Quaternary Environmental Change in southern Africa: Physical and Human Dimensions, Cambridge Universiteit Drukkery, Cambridge, Verenigde Koningryk, pp. 188-202. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107295483.012>.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), 1999-2018, ArcGIS desktop 10.7, Redlands, California, ESRI, United States of America, <https://www.esri.com/en-us/home>.
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., et al., 2019, International principles and standards for the practice of ecological restoration, Second edition, *Restoration Ecology* 51-546. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>.
- Gounden, T., Subramany, D., 2023, Your sewage is contributing to Hartbeespoort Dam's alien hyacinth invasion, Rhodes Universiteit, Suid-Afrika. Verkrygbaar by: <https://www.ru.ac.za/centreforbiologicalcontrol/latestnews/yoursewageiscontributingtohartbeespoortdamsalienhyacinthinvasion.html#:~:text=For%20decades%2C%20the%20dam%20has,for%20ornamental%20purposes%20in%20aquariums>. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- Grundling, P.-L., Grundling, A.T., Van Deventer, H., et al., 2021, Current state, pressures and protection of South African peatlands, *Mires & Peat* 27, article 26. <https://doi.org/10.19189/Map2020.OMB.StA.2125>.
- Harris L.R., Bessinger M., Dayaram A., et al., 2019, Advancing land-sea integration for ecologically meaningful coastal conservation and management, *Biol Conserv* 237, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.020>.
- Hendricks, N., Olatunji, O.S., Gumbi, B.P., 2024, Microplastic occurrence in sediments of informal settlement in Durban, South Africa: assessing the ocean impact in the aftermath of floods, *Environ Sci: Adv* 3, 850-860. <https://doi.org/10.1039/D3VA00382E>.
- Holden, P.B., Rebelo A.J., New M.G., 2020, Mapping invasive alien trees in water towers: a combined approach using satellite data fusion, drone technology and expert engagement, *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 21, 100448. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100448>.
- Impson, D., Van der Walt, R., Jordaan, M.S., 2017, Freshwater fishes, In: Turner, A.A. (Uitg.) Western Cape State of Biodiversity, pp. 87-102, CapeNature Wetenskaplike Dienste, Stellenbosch, Suid-Afrika.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2019, Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. In: Diaz, S., Settele, J., Brondizio, E.S., et al. (Uitg.) IPBES secretariat, Bonn, Germany, 56 pp. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023, AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Verkrygbaar by: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>, Toegang verkry 12 Desember 2024.
- Job, N., Van Deventer, H., Smith-Adao, L., et al., 2019., Chapter 9: Responses to Pressures in the Inland Aquatic Realm. In: Van Deventer, H., et al. in South African National Biodiversity Assessment 2018: Technical Report. Volume 2b: Inland Aquatic (Freshwater) Realm. Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad (WNNR), Verslag Nommer CSIR/NRE/ECOS/IR/2019/0004/A. Suid-Afrikaanse Nasionale Biodiversiteitsinstituut (SANBI), Pretoria, Suid-Afrika. <http://hdl.handle.net/20.500.12143/6230>.
- Keith D.A., Ferrer-Paris J.R., Nicholson E., et al., 2022, A function-based typology for Earth's ecosystems, *Nature* 610, 513-518. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05318-4>.
- Kleynhans, C.J., 2000, Desktop Estimates of the Ecological Importance and Sensitivity Categories (EISC), Default Ecological Management Classes (DEMC), Present Ecological Status Categories (PESC), Present Attainable Ecological Management Classes (Present AEMC), and Best Attainable Ecological Management Class (Best AEMC) for Quaternary Catchments in South Africa. Verslag van die Departement van Waterwese en Bosbou (DWB), Instituut vir Waterkwaliteitsstudies, DWB, Privaatzaak X313, Pretoria, 0001, Suid-Afrika.
- Kotzé, I., Beukes, H., Van den Berg, E., et al., 2010, National Invasive Alien Plant Survey. ARC Report No. GW/A/2010/21. Landbounavorsingsraad, Instituut vir Grond, Klimaat en Water, Pretoria, Suid-Afrika.
- Kotze, D., Ellery, W., Rountree, M., et al., 2008, WET-RehabPlan. Water Navorsingskommissie (WNK), Verslag No. TT 336/08, WNK, Pretoria, Suid-Afrika.
- Kotze, D.C., Tererai, F., Grundling, P.L., 2019, Assessing, with limited resources, the ecological outcomes of wetland restoration: a South African case, *Restoration Ecology* 27(3), 495-503. <https://doi.org/10.1111/rec.12891>.
- Lötter, M.C., Le Maitre, D., 2021, Fine-scale delineation of Strategic Water Source Areas for surface water in South Africa using Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction: Technical report, Prepared for SANBI, Pretoria, Suid-Afrika. 33 bl.

- Maherry, A.M., Horan, M.J.C., Smith-Adao, L.B., et al., 2013, Delineating river network quinary catchments for South Africa and allocating associated daily hydrological information, Waternavorsingskommissie (WNK), Verslag No. 2020/1/12, WNK, Pretoria, Suid-Afrika.
- Meissner, H.H., Scholtz, M.M., Engelbrecht, F.A., 2013, Sustainability of the South African Livestock Sector towards 2050, Part 2: Challenges, changes and required implementations, *South African Journal of Animal Science* 43(3), 289-319. <https://doi.org/10.4314/sajas.v43i3.5>.
- Miller, B.E., Coetzee, J.A., Hill, M.P., 2023, Evaluating the establishment of a new water hyacinth biological control agent in South Africa, *African Entomology* 31. <https://doi.org/10.17159/2254-8854/2023/a15613>.
- Moffat, R., Weaver, K., Ngxande-Koza, S., et al., 2024, Bridging boundaries: Six years of community engagement with biological control implementation and monitoring of water hyacinth on Hartbeespoort Dam, Suid-Afrika, *Biological Control* 194, 105544. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105544>.
- Munisipale Afbakeningsraad, 2016, Provinsiale grense van Suid-Afrika, Pretoria, Suid-Afrika.
- Nefdt, A., 2024, Benonians remove tons of hyacinth to restore water body. Verkrygbaar by: <https://www.goodthingsguy.com/environment/benonians-remove-tons-of-hyacinth-to-restore-water-body/>. Toegang verkry 30 November 2024.
- Nel, J.L., Driver, A., Strydom, W.F., et al., 2011, Atlas of Freshwater Ecosystem Priority Areas in South Africa: Maps to Support Sustainable Development of Water Resources, Waternavorsingskommissie (WNK), Verslag No. TT 500/11, WNK, Pretoria, Suid-Afrika.
- News24, 2019, SA has over 40 'critical' sewerage plants under close watch. Verkrygbaar by: <https://www.news24.com/SouthAfrica/News/sa-has-over-40-critical-sewerage-plants-under-close-watch-20190101>. Toegang verkry 15 January 2019.
- Pérez, E.A., Coetzee, J.A., Téllez, T.R., et al., 2011, A first report of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) soil seed banks in South Africa, *South African Journal of Botany* 77(3), 795-800. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.03.009>.
- Rebello A.J., Gokool S., Holden P.B., et al., 2021, Can Sentinel-2 be used to detect invasive alien trees and shrubs in Savanna and Grassland Biomes? *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 23, 100600. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100600>.
- Reizenberg, J.L., 2017, The thermal tolerances and preferences of native fishes in the Cape Floristic Region: towards understanding the effect of climate change on native fish species, Master's dissertation, University of Cape Town, Cape Town, South Africa.
- Republiek van Suid-Afrika (RSA), 1998, Nasionale Waterwet, Wet No. 36 of 1998. Verkrygbaar by: http://www.dwaf.gov.za/Documents/Legislature/nw_act/NWA.pdf. Toegang verkry 1 Oktober 2010 asook Staatsdrukkers, Pretoria, Suid-Afrika.
- Schulze, R., 2022, What did cause the April KZN floods? *The Water Wheel* July/August, 24-27. <https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/ejc-waterb-v21-n4-a5>.
- Snaddon, K., Robinson, J., Foden, W., et al., 2019, Chapter 3: Climate change - our changing environment from a freshwater ecosystems perspective. In: Van Deventer, H. et al., South African National Biodiversity Assessment 2018: Technical Report. Volume 2b: Inland Aquatic (Freshwater) Realm. WNNR, Verslag No. CSIR/NRE/ECOS/IR/2019/0004/A. SANBI, Pretoria. Verkrygbaar by: <http://hdl.handle.net/20.500.12143/6230>. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- South African National Biodiversity Institute (SANBI), 2012a, Rehabilitated Wetlands 2012. SANBI, Pretoria, Suid-Afrika. Verkrygbaar by: <https://bgis.sanbi.org/SpatialDataset/Detail/502>. Toegang verkry 1 Julie 2024.
- SANBI, 2012b, Wetland Interventions 2012. SANBI, Pretoria, Suid-Afrika. Verkrygbaar by: <https://bgis.sanbi.org/SpatialDataset/Detail/503>. Toegang verkry 1 Julie 2024.
- SANBI, 2024, National Wetland Map 6 (shapefile) [Vector geospatial dataset], SANBI, Pretoria, Suid-Afrika.
- SANBI, 2025, Bewaarareas van Suid-Afrika [bygewerk in Maart 2025, asook op 2 Februarie 2024, met wat as Privaateiendom beskou is], SANBI, Pretoria, Suid-Afrika.
- Skowno, A.L., Poole, C.J., Raimondo, D.C., et al., 2019, National Biodiversity Assessment 2018: The status of South Africa's ecosystems and biodiversity, Synthesis Report, SANBI, 'n entiteit van die DBVO, Pretoria, Suid-Afrika. Verkrygbaar by: <http://hdl.handle.net/20.500.12143/6362>. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- Story M., Congalton R., 1986, Accuracy Assessment: A User's Perspective. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) J Photogramm Remote Sens* 52, 397-399. https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1986journal/mar/1986_mar_397-399.pdf.
- Taylor, M.R., Peacock, F., 2018, State of South Africa's Bird Report 2018. BirdLife South Africa: Johannesburg, South Africa.
- Urban, M.C., 2015, Accelerating extinction risk from climate change, *Science* 348(6234), 571-573. <https://doi.org/10.1126/science.aaa4984>.
- Van Der Colff D., Raimondo D., Chakona K.A., et al., 2019, Chapter 7: Inland Aquatic Indigenous Freshwater Species Assessments. In: Van Deventer, H. et al. (Uitg.) South African National Biodiversity Assessment 2018: Technical Report. Volume 2b: Inland Aquatic (Freshwater) Realm. WNNR, Verslag No. CSIR/NRE/ECOS/IR/2019/0004/A. SANBI, Pretoria, Suid-Afrika. Verkrygbaar by: <http://hdl.handle.net/20.500.12143/6230>. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- Van Deventer H., Nel J.L., 2025, Assessment of the of inland wetland ecosystem types in South Africa: threats and protection, *African Journal of Aquatic Science* 50(1), 12-32. <https://doi.org/10.2989/16085914.2025.2465387>.
- Van Deventer H., Smith-Adao L., Collins N.B., et al., 2019, South African National Biodiversity Assessment 2018: Technical Report. Volume 2b: Inland Aquatic (Freshwater) Component. WNNR en SANBI, Pretoria, Suid-Afrika. WNNR, Verslag Nommer CSIR/NRE/ECOS/IR/2019/0004/A. SANBI handle, Verkrygbaar by: <http://hdl.handle.net/20.500.12143/6230>. Toegang verkry 10 Desember 2024.
- Van Deventer H., Van Niekerk L., Adams, J., et al., 2020, National Wetland Map 5 - An improved spatial extent and representation of inland aquatic and estuarine ecosystems in South Africa, *Water SA* 46(1), 66-79. <https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i1.7887>.
- Van Wilgen, B.W., Wannenburg, A., 2016, Co-facilitating invasive species control, water conservation and poverty relief: achievements and challenges in South Africa's Working for Water programme, *Current opinion in environmental sustainability* 19, 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.08.012>.
- Van Wilgen, B.W., Wilson, J.R., (Uitg.), 2018, The status of biological invasions and their management in South Africa in 2017, SANBI, Kirstenbosch en die Department van Wetenskap en Tegnologie – Nasionale Navorsingstigting (DWT-NNS) se Sentrum vir Uitnemendheid in Indringerbiologie, Stellenbosch, Suid-Afrika.
- Yakubu, S., Miao, B., Hou, M., et al., 2024, A review of the ecotoxicological status of microplastic pollution in African freshwater systems, *Science of The Total Environment* 946(10), 174092. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174092>.

Statistiese kartering van faktorverwantskappe vir leerdervordering in SA openbare hoërskole

E Becker, L Venter

Departement Logistiek, Stellenbosch Universiteit, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Lieschen Venter **E-pos:** lventer@sun.ac.za

Hierdie studie ontwikkel 'n verfynde faktorverwantskapskartering vir leerdervordering in Suid-Afrikaanse openbare hoërskole, met spesifieke fokus op die Wes-Kaap en Gauteng. Deur data uit die 2019- Algemene Huishoudelike Opname te gebruik, is kwantitatiewe tegnieke soos faktoranalise, meervlakkigeregressie-analise en strukturele vergelykingsmodellering toegepas om die verhoudings tussen sosio-ekonomiese status, gesondheid, huishoudelike toestande en skoolfaktore te ontleed. Hierdie studie het nie net belangrike faktore vasgestel nie, maar het ook die verhoudingskakels tussen hierdie veranderlikes en hul gesamentlike invloed op leerdervordering gekwantifiseer.

Resultate toon dat stabiele gesinstrukture en hoër huishoudelike welvaart positief verband hou met verbeterde akademiese uitkomst, terwyl lae voedselonsekerheid en betroubare nutsdienste leerderbehoud bevorder. Sosio-ekonomiese status speel 'n sleutelrol in leerdervordering, wat die belangrikheid van stabiele tuisomgewings uitlig. Hoewel gesondheid minder prominent as 'n direkte faktor voorkom, blyk dit dat omgewingsfaktore soos voedselonsekerheid en huishoudelike welvaart sterker voorspellers van leerderuitkomst is as wat voorheen gedink is.

Hierdie verwantskapsmodel verskaf waardevolle insigte vir beleidsingrypings om leerderuitval te verminder en akademiese prestasie in Suid-Afrikaanse hoërskole te verbeter. Dit beklemtoon die noodsaaklikheid van verbeterde huishoudelike omstandighede as deel van 'n breër strategie om leerderuitkomst te versterk.

Sleutelwoorde: leerdervordering, Suid-Afrikaanse hoërskoolstelsel, faktoranalise, strukturele vergelykingsmodellering, besluitnemingsondersteuning.

Statistical mapping of factor relationships for learner progress in SA public high schools: This study develops a refined factor relationship mapping for learner progression in South African public high schools, with a specific focus on the Western Cape and Gauteng. Using data from the 2019 General Household Survey, quantitative techniques such as factor analysis, multilevel regression analysis and structural equation modelling were applied to analyse the relationships between socio-economic status, health, household conditions and school factors. This study not only identifies important factors, but also quantifies the relationship links between these variables and their combined influence on learner progression.

Results show that stable family structures and higher household wealth are positively associated with improved academic outcomes, while low food insecurity and reliable utilities promote learner retention. Socio-economic status plays a key role in learner progression, revealing the importance of stable home environments. Although health appears less prominent as a direct factor, environmental factors such as food insecurity and household affluence appear to be stronger predictors of learner outcomes than previously thought.

This relationship model provides valuable insights for policy interventions to reduce learner dropout and improve academic performance in South African high schools. It reveals the need for improved household conditions as part of a broader strategy to strengthen learner outcomes.

Keywords: learner progression, South African high school system, factor analysis, structural equation modelling, decision support.

Inleiding

Ten einde die faktore te verstaan wat leerdervordering in Graad 8 tot 12 beïnvloed, is dit belangrik om hierdie fase binne die breër landskap van leerderprestasie, beleidsdoelwitte en sosio-ekonomiese uitdagings in die Suid-Afrikaanse onderwysstelsel te plaas. Die Suid-Afrikaanse basiese onderwysstelsel is in 'n kritieke toestand. Data oor twee dekades bevestig die stelsel se swak prestasie (Spaull, 2023). Internasionale assesserings soos die *Progress in International Reading Literacy Study* (PIRLS) 2021 en *Trends in International Mathematics and Science Study* (TIMSS) 2019, waarvan die Suid-Afrikaanse resultate in 2023 en 2024 gepubliseer is, toon dat leerders in Suid-Afrika steeds beduidend swakker presteer as dié in vergelykbare middelinkomste- en selfs sommige lae-inkomstelende. PIRLS 2021 het byvoorbeeld bevind dat 81% van Suid-Afrikaanse Graad 4-leerders nie met begrip kan lees nie – 'n agteruitgang van 3 persentasiepunte sedert 2016 (Mullis et al., 2023). TIMSS 2019 wys op soortgelyke tekorte in wiskunde- en wetenskapprestasie by Graad 9-leerders (Mullis et al., 2020). Hierdie prestasietings staan in kontras met leerdervordering – 'n konseptuele onderskeid wat in hierdie studie belangrik is, aangesien vordering oor grade heen nie noodwendig gepaard gaan met akademiese prestasie nie. Die meeste leerders is funksioneel ongeletterd, met slegs 'n klein, welgestelde minderheid wat behoorlike taal- en numeriese vaardighede toon.

Vyftienjarige Suid-Afrikaanse leerders het in TIMSS 2019, wat Graad 9-leerders (gemiddeld 15 jaar oud) assesseeer, tweede-laaste in internasionale vergelykings van wiskunde- en wetenskapprestasie geëindig (Mullis et al., 2020). Verder is die gehalte van wiskunde- en natuurwetenskaponderrig in Suid-Afrika reeds in 2015 as die swakste uit dié van 143 lande geëvalueer (Dutta, Geiger & Lanvin, 2015). Taalgeletterdheid verwys na die vermoë om in 'n spesifieke taal met begrip te lees, te skryf en te kommunikeer, terwyl numeriese geletterdheid die vermoë behels om basiese wiskundige konsepte in alledaagse situasies te verstaan en toe te pas. In die Suid-Afrikaanse konteks word 'n leerder as geletterd beskou indien hy of sy op Graad 4-vlak met begrip kan lees, en op Graad 9-vlak basiese syfervaardighede kan demonstreer, soos deur internasionale studies soos PIRLS en TIMSS gemeet (Mullis et al., 2023; Mullis et al., 2020). Spaull (2023) het egter bevind dat 78% van Graad 4-leerders nie met begrip kan lees nie, en beklemtoon dat hierdie probleem reeds in die vroeë grade begin.

Die COVID 19-pandemie het volgens Van der Berg et al. (2022) 'n dekade se terugslag in leesuitkomstetot gevolg gehad en Suid-Afrika verder weg van sy 2030-doelwitte geplaas. Hierdie doelwitte is oorspronklik gestel in die Nasionale Ontwikkelingsplan van 2012, wat onder meer beoog het dat alle Graad 4-leerders teen 2030 met begrip sou moes kon lees en dat onderwyskwaliteit beduidend sou moes verbeter het. Van der Berg et al. (2022) se ontleding van sistemiese toetse in die Wes-Kaap wys egter op agteruitgang: die persentasie Graad 3-leerders wat minstens 30% in taal behaal het, het van 68% in 2019 tot 59% in 2021 gedaal, en wiskundeprestasie het soortgelyk oor Graad 3, 6 en 9 verswak. Konserwatiewe ramings dui daarop dat leerders nou tussen 40% en 106% van 'n skooljaar

agter is in taal en wiskunde. Hierdie resultate beklemtoon die behoefte aan 'n herwaardering van die haalbaarheid van die Nasionale Ontwikkelingsplan (NPC, 2012) se onderwysdoelwitte gegewe die impak van die COVID-pandemie en die bestaande onderwyslandskap. Ondanks verbeterde slaagsyfers vir die Nasionale Senior Sertifikaat, bly uitvalsyfers in hoër onderwys hoog, met sowat 29% van eerstejaarstudente wat hul studies reeds ná die eerste jaar staak, en 'n kumulatiewe uitvalsyfer van 60,9% oor tien jaar (DHET, 2023). Umalusi en ander liggame het ook kommer uitgespreek oor die lae standarde van die slaagpunt (Dyomfana, 2022).

Onderwys is 'n komplekse proses wat deur verskeie veranderlikes beïnvloed word (Taylor et al., 2013), met leerderuitval as 'n sleuteluitdaging (Zero Dropout Campaign, 2022). In Suid-Afrika word leerderuitval gedefinieer as leerders wat die skool verlaat sonder om die Nasionale Senior Sertifikaat te behaal, met die grootste uitval wat in Graad 10 en 11 voorkom. Ongeveer 50% van leerders voltooi nie Graad 12 nie. Statistiek Suid-Afrika (2022) skat dat 48% van die 2009–2018-kohort nie matriek voltooi het nie, terwyl sowat 25% van agtienjariges reeds in 2019 nie meer skool bygewoon het nie.

Die Suid-Afrikaanse onderwysstelsel toon ernstige tekortkominge, en hierdie studie fokus op die identifisering en analise van faktore wat leerdervordering van Graad 8 tot Graad 12 in openbare hoërskole beïnvloed, spesifiek in die Wes-Kaap en Gauteng. Hierdie twee provinsies is gekies vanweë hul uiteenlopende opvoedkundige en sosio-ekonomiese kenmerke, wat insigte bied in beide stedelike uitdagings en suksesmodelle. Die navorsing sluit die verfyning en bekragtiging van verwantskarterings in, gebaseer op statistiese ontleding van nasionale data, met die doel om faktore soos skoolhulpbronne, leerdermotivering, gesins- en gesondheidsdinamika en sosiale ondersteuning te verstaan. Uiteindelik poog die studie om betroubare insigte te bied oor hoe om leerdervordering en onderwysuitkomstetot in die komplekse Suid-Afrikaanse konteks te verbeter.

Literatuur

Navorsing oor die Suid-Afrikaanse skoolstelsel toon dat leerderuitval in hoërskole grootliks beïnvloed word deur ekonomiese uitdagings, werksoek, druipeyfers en tienerwangerskap. Tienerwangerskap en swak onderrig in laer grade bly sleutelredes vir leerderuitval, veral onder meisies (CGE, 2023). Kohortgrootte speel 'n belangrike rol in skoolgehalte, waar groter klasse dikwels swakker leerderprestasie toon (Köhler, 2020).

Volgens Amnesty International (2020) kan verbeterde skoolomstandighede, soos kleiner klasse en beter toegang tot hulpbronne, leerderuitkomstetot versterk – veral in skole met lae sosio-ekonomiese status. Tog bly skoolinfrastruktuur 'n groot uitdaging, aangesien baie skole steeds van basiese hulpbronne ontnem is. Volgens Hofmeyr en McEwen (2018) speel ouers en gesinne 'n belangrike rol in leerderprestasie, met data wat toon dat leerders met albei ouers teenwoordig én ouers met hoër onderwysvlakke oor die algemeen beter vaar. Hulle beklemtoon egter dat teenwoordigheid alleen nie voldoende is nie – ouerlike

betrokkenheid, soos ondersteuning met skooltake en aktiewe deelname aan die leerproses, is eweneens van kritieke belang.

Swak akademiese prestasie, dikwels beïnvloed deur swak onderrig en 'n tekort aan vakkennis by onderwysers, bly 'n belangrike probleem (Van der Berg, Taylor, Gustafsson, Spaull & Armstrong, 2011; Spaull, 2015; Darling-Hammond, Hyler & Gardner, 2017). Verder toon verskeie studies dat die onderrigtaal 'n bepalende invloed het op leerderprestasie, veral in konteks van tweede- of derdetaalleerders. In Suid-Afrika is dit veral belangrik, aangesien baie leerders van Graad 4 skielik in Engels onderrig ontvang, ondanks die feit dat dit nie hul moedertaal is nie (Taylor, Van der Berg & Mabogoane, 2013; Zoch, 2017). Hierdie taalverskuiwing belemmer konsepbegrip en affekteer die ontwikkeling van lees- en redeneerfunksies, wat deurslaggewend is vir sukses in latere grade. Afknouery veroorsaak verdere afwesigheid en swak prestasie, wat leerderuitval bevorder. Meisies wat aan afknouery blootgestel word, is meer geneig om die skool te verlaat (Gubbels, Van der Put & Assink, 2019; McClinton Appollis et al., 2023). Gemeenskaps-ondersteuning speel ook 'n sleutelrol. Skole in gebiede met 'n laer sosio-ekonomiese status (SES-gebiede) sukkel met 'n gebrek aan hulpbronne, dissiplinêre uitdagings en swak bestuur. Tog kan gemeenskapsinisiatiewe soos mentors en tutors leerdermotivering bevorder (Botha, Booysen & Wouters, 2018).

Gesonde leerders kan gereeld skool bywoon, aktief met ander skakel en suksesvol leeraktiwiteite voltooi. Bywoningspatrone en akademiese vordering word egter negatief beïnvloed deur faktore soos graadherhaling, uitval en herinskrywing (Wills & Qvist, 2023). Leerderafwesigheid, dikwels as gevolg van onvermoë om skoolfonds te betaal, en 'n gebrek aan ouer-ondersteuning benadeel akademiese prestasie. Skoolkenmerke soos onderwyser- en leerderafwesigheid en graadherhaling het ook 'n negatiewe impak op leerders se gemiddelde prestasie.

Die doeltreffendheid en toewyding van onderwysers bly een van die belangrikste bepalers van leerderprestasie. In skole met min hulpbronne word hierdie rol selfs meer deurslaggewend, aangesien leerders dikwels nie toegang het tot aanvullende ondersteuning of leerhulp buite die klaskamer nie. Onlangse navorsing wys dat onderwysers met goeie vakkennis en professionele ondersteuning leerderuitkomste betekenisvol kan verbeter, selfs in arm gebiede (Spaull & Kotze, 2015; Darling-Hammond, Hyler & Gardner, 2017). Die ontwikkeling van hierdie onderwyserkapasiteit, saam met vroeë vordering in kernvaardighede soos lees en wiskunde, lê 'n stewige grondslag vir sukses op hoërskoolvlak en verminder die kans op uitval. Om regtig 'n verskil te maak, moet toegang tot onderwys nie net fisies wees nie, maar ook inhoudelik sinvol – deur leerders toe te rus met vaardighede en kennis wat hul lewensuitkomste kan verbeter (Department of Basic Education, 2023).

Navorsingsontwerp

Hierdie studie het 'n opeenvolgende kwantitatiewe navorsingsontwerp gevolg waarin drie gevorderde statistiese tegnieke, naamlik faktoranalise (FA), meervlakkigeregressie-analise

(MRA) en strukturelevergelykingsmodellering (SVM), toegepas is. Elke metode is gekies op grond van die spesifieke vermoë daarvan om onderskeidelik onderliggende faktore te identifiseer, die sterkte van verhoudings tussen hierdie faktore te kwantifiseer, en uiteindelik 'n konseptuele raamwerk te toets. Die navorsing beoog om die volgende vrae te beantwoord: (i) Watter persoonlike en huishoudelike faktore wat in die AHO van 2019 versamel is, dra by tot leerdervordering in openbare hoërskole in Gauteng en die Wes-Kaap? (ii) Hoe beïnvloed sosio-ekonomiese toestande, soos huishoudelike welvaart of toegang tot dienste, leerderuitkomste? (iii) Kan 'n konseptuele raamwerk ontwikkel word om hierdie faktore se gesamentlike invloede te beskryf en toets? Die analitiese volgorde is doelbewus gestruktureer: nadat die onderliggende faktore met FA geïdentifiseer is, is saamgestelde veranderlikes geskep en in MRA gebruik om die effek van huishoudelike en persoonlike faktore op leerdervordering te ontleed. Die doel van hierdie stap was om die relatiewe sterkte van die identifiseerde faktore as voorspellers van leerderuitkomste te kwantifiseer. Die finale model is vervolgens met SVM getoets om beide direkte en indirekte invloede in een geïntegreerde raamwerk te bevestig. SVM is hier ingespan om die geldigheid van die konseptuele raamwerk wat uit die vorige twee analises ontstaan het, statisties te ondersoek.

Data-insameling en steekproefneming

Die Algemene Huishoudelike Opname (AHO), wat sedert 2002 jaarliks deur Statistiek Suid-Afrika uitgevoer word, bied omvattende data oor die lewensomstandighede van Suid-Afrikaanse huishoudings en individue. Die data dek verskeie aspekte soos onderwys, gesondheid, voedselsekerheid, sosiale ontwikkeling, gesinsdinamika, behuisingstoestande, inkomste, vroeë kinderontwikkeling en blootstelling aan geweld. Hierdie openbare datastel, wat gebruik maak van 'n gestratifiseerde tweefase-steekproefontwerp, verteenwoordig stedelike, landelike en landbougemeenskappe en sluit jaarliks sowat 20 000 huishoudings in. Dis 'n uitgebreide datastel van deurslaggewende waarde vir navorsing en beleidsformulering in Suid-Afrika, aangesien dit insigte bied oor die uitdagings en behoeftes van gemeenskappe regoor die land.

Die 2019-weergawe van die AHO is gebruik omdat dit die mees onlangse opname is wat 'n volledige stel onderwysveranderlikes insluit. Vanaf 2020 is die onderwysmodule verkort: In 2019 was daar 25 vrae, terwyl daar teen 2022 slegs 15 was. Sleutelinsigting oor byvoorbeeld klasgrootte, handboeke, skoolafwesigheid en leerdervoer is verwyder, wat 2019 die laaste bruikbare jaar vir hierdie tipe analise maak (Statistiek Suid-Afrika, 2020; 2022).

Die 2019-datastel dien as die primêre bron vir hierdie studie, wat spesifiek fokus op die Wes-Kaap en Gauteng. Hierdie twee provinsies is gekies omdat hulle sowel stedelike as diverse sosio-ekonomiese kontekste insluit, met relatief beter data-gehalte, hoër onderwysuitgawes per leerder en beter toegang tot skoolinfrastruktuur (Departement van Basiese Onderwys, 2023). Albei toon ook hoër matriekslaagsyfers as die nasionale gemiddeld, maar met kontrasterende patrone in stedelike ongelykheid, wat dit moontlik maak om verwantskappe binne en tussen sosio-ekonomiese groepe te ondersoek sonder die

inmenging van strukturele diensleweringsverskille wat in ander provinsies meer ekstreme vorme aanneem. Die finale datastel bevat huishoudings- en persoonsvlakveranderlikes wat deur unieke identifiseerders verbind is.

Meetinstrumente en veranderlikes

Die AHO-data is in twee ASCII-vasteveldformaatlêers georganiseer – een met data oor huishoudelike toestande (bv. voedselonsekerheid, toegang tot nutsdienste en gesinsinkomste), en een met inligting oor individuele leerders (bv. taalvaardighede, graadouderdompas en afwesigheid). Hierdie skeiding maak dit moontlik om dinamiese verhoudings tussen kontekstuele en individuele invloede op leerdervordering te ontleed. Die formaat verseker versoenbaarheid met statistiese sagtewarepakette soos SAS, SPSS en Stata, wat die data toeganklik maak vir 'n diverse groep gebruikers. Die lêers is vervolgens skoonmaak deur duplikaatskrywings te verwyder en saamgevoeg tot 'n gekombineerde datastel. Hierdie proses, gefasiliteer deur unieke rekordidentifiseerders vir huishoudings en individue, het volledige huishoudelike en individuele data geïntegreer. Ontbrekende waardes is opgespoor en slegs waarnemings met volledige data vir die betrokke veranderlikes is ingesluit om onbetroubare patrone of wanvoorstellings te voorkom. Die integrasie het meervlakkige data tot 'n enkelvlak-datastel verenig, wat herhaalde waarnemings van huishoudelike eienskappe vir elke individu binne dieselfde huishouding moontlik gemaak het. Hierdie verwerkingskeuses het die steekproefgrootte vir huishoudingsvlakanalises vergroot, die akkuraatheid van die parameterberamings verhoog, en die geldigheid van die resultate in die multivlak- en strukturele modelle versterk. Die finale datastel vir Gauteng en die Wes-Kaap het 182 huishoudingsvlakveranderlikes bevat, met 6 665 huishoudings en 149 persoonsvlakveranderlikes, met 21 506 individuele respondente. Hierdie data is verder gefiltreer om slegs relevante huishoudings en leerders tussen 13 en 21 jaar in te sluit, wat dit verteenwoordigend maak vir analises van openbare hoërskole in Suid-Afrika. Eenaktiewe enkodering is gebruik om kategoriese veranderlikes binêr te kodeer, wat die data vereenvoudig en interpretasie vergemaklik het. Hierdie voorbereide datastel dien as 'n stewige basis vir verdere navorsing en analise.

Statistiese ontledingstegnieke

Die analitiese volgorde volg 'n stapsgewyse benadering: FA identifiseer faktore, MRA toets hul effek op leerderuitkomst, en SVM bevestig hierdie raamwerk in 'n geïntegreerde model.

'n Faktor, of verborge veranderlike, verwys na 'n onwaarneembare entiteit (O'Rourke & Hatcher, 2013). Die term verborge dui aan dat hierdie veranderlike nie direk gemeet kan word soos waarneembare veranderlikes nie. In plaas daarvan is 'n faktor 'n teoretiese konsep wat veronderstel is om te bestaan en wat 'n invloed uitoefen op spesifieke waarneembare veranderlikes wat wel direk gekwantifiseer kan word. Aanwyserveranderlikes word gebruik om die verborge veranderlikes te meet. Hierdie aanwysers moet spesifiek aangepas wees vir die populasie wat ondersoek word, en die antwoorde daarop word gebruik om die

verborge begrip te bepaal. Die antwoorde moet aandui dat al die aanwysers 'n gemeenskaplike onderliggende begrip meet. Dit beteken dat die aanwysers sterk tot matige korrelasies met mekaar moet hê, wat die interne konsekwentheid van die verborge begrip bevestig.

FA is 'n statistiese tegniek wat gebruik word om groot stel veranderlikes in kleiner, interpreteerbare groepe te herorganiseer, deur gemeenskaplike variansie tussen hulle te identifiseer. Twee hoofmetodes word gebruik: Verkennende faktoranalise (VFA) om patrone in data te ontdek, en bevestigende faktoranalise (BFA) om voorafbepaalde modelle te toets. VFA is in hierdie studie gebruik om onderliggende faktore op huishoudings- en persoonsvlak te identifiseer, wat later as saamgestelde veranderlikes in MRA gebruik is. FA is 'n eenvoudiger tegniek verkies omdat dit spesifiek ontwerp is om verborge konstruksie uit waarneembare veranderlikes te onttrek, en dus besonder geskik is vir studies wat op konseptuele raamwerke fokus.

Die faktore wat deur FA geïdentifiseer is, het temas soos skoolhulpbronprobleme, gesinstruktuur, gesondheid en leerderondersteuning verteenwoordig. Die knakgrafiekmetode is gebruik om 'n geskikte aantal faktore te bepaal, met 'n elumboogpunt as 'n aanduiding van watter faktore beduidend is. Rotasie is toegepas om die interpretasie van faktore te vereenvoudig, met die varimaks-metode, wat faktore ongekoreleerd hou en 'n eenvoudige struktuur skep. Hierdie metode help om die meeste variansie in die data te verduidelik, terwyl dit minder afhanklik is van steekproeffout.

Toetse soos Bartlett se toets van sferisiteit en die Kaiser-Meyer-Olkin-maatstaf (KMO-maatstaf) is gebruik om die geskiktheid van die data vir FA te evalueer. Bartlett se toets bevestig of daar betekenisvolle korrelasies tussen veranderlikes is, en 'n KMO-waarde van 0,70 of hoër dui op toepaslikheid vir FA (O'Rourke & Hatcher, 2013). Hierdie proses het gelei tot die formulering van vyf faktore op persoonsvlak en vyf op huishoudingsvlak, elk met konseptuele temas soos gesinstruktuur, skoolhulpbronne en huishoudelike welvaart.

Faktorladings toon die sterkte van die verhouding tussen veranderlikes en faktore en help om die temas van faktore te interpreteer. Hoë ladings identifiseer watter veranderlikes 'n faktor sterk beïnvloed, terwyl lae of nulladings gebruik word om die akkuraatheid van die faktore te bevestig. Kruisladinge, waar 'n veranderlike op twee of meer faktore laai ($\geq 0,32$), kan verwarring veroorsaak en word óf verwyder, óf behou indien dit by die teoretiese konteks pas. Ladings van $\geq 0,40$ word as betekenisvol beskou en word aangedui in die geroteerde faktorpatroonmatriks om die duidelikheid en interpretasie van faktore te verbeter. Hierdie proses, bekend as die interpreteerbaarheidskriterium, verseker dat die faktore sin maak binne die raamwerk van die studie (O'Rourke & Hatcher, 2013).

Die saamgestelde faktore wat uit FA ontstaan het, is daarna gebruik as insetveranderlikes in die MRA-modelle. BFA bou voort op die resultate van VFA om die geskiktheid van die

geïdentifiseerde faktore en aanwysers te toets. Hier is BFA gebruik om die faktorstrukture wat met VFA geïdentifiseer is te bevestig alvorens hulle in MRA en SVM gebruik is.

Modelle word geëvalueer met statistieke soos die vergelykende passingindeks (VPI, Engels "CFI"), die gestandaardiseerde wortel van gemiddelde kwadraatresidu (GWGKR, Engels "SRMR") en die vierkantwortel van gemiddelde kwadraatfoutering (VGKFR, Engels RMSEA). 'n CFI van $\geq 0,94$, 'n SRMR van $\leq 0,055$, en 'n RMSEA van $\leq 0,055$ dui op goeie modelpassing. Swak passing lei tot aanpassings soos die verwydering van aanwysers wat swak laai totdat bevredigende passing bereik word. Hierdie benadering verseker dat die finale model 'n akkurate en eenvoudige voorstelling van die datastruktuur bied, wat die verhoudings in die populasie effektief weerspieël. Hierdie metode is gebruik om verborge faktore te identifiseer wat leerdervordering beïnvloed, en handel dus direk met die eerste navorsingsvraag.

Nadat die onderliggende faktore op huishoudings- en persoonsvlak met FA geïdentifiseer en met BFA bevestig is, is hierdie faktore as insetveranderlikes in die MRA gebruik om te bepaal hoe sterk elke faktor leerdervordering beïnvloed. MRA is 'n statistiese metode om verhoudings tussen afhanklike en onafhanklike veranderlikes in hiërargiese datastrukture te analiseer. In hierdie studie is MRA gebruik om die invloed van huishoudelike faktore op leerderuitkomste te kwantifiseer, met ewekansige afsnitte om die hiërargiese aard van die data in ag te neem. MRA is verkies bo standaard- lineêre regressie omdat dit die genestelde aard van die data (leerders binne huishoudings) kon akkommodeer en dus meer akkurate en robuuste modelle gelewer het.

In vergelyking met tradisionele regressiemetodes akkommodeer MRA die afhanklikheid binne groepe en bied meer akkurate ramings van standaardfoute, wat die risiko van Tipe I-foute (vals positiewe resultate) aansienlik verminder. Deur rekening te hou met die genestelde aard van data (in hierdie geval individue binne huishoudings) stel MRA die navorser in staat om variasie op beide vlakke apart en gesamentlik te evalueer.

'n Kernmodel in MRA is die hiërargiese lineêre model, wat voorspellende veranderlikes op verskillende vlakke insluit. In hierdie studie is MRA toegepas om die invloed van beide persoonsvlak- en huishoudingsvlakfaktore op leerderuitkomste te bepaal. Modelle is gestruktureer met ewekansige afsnitte per huishouding om te korrigeer vir intrahuishoudelike afhanklikheid.

Die evaluasie van modelprestasie gebruik statistieke soos Akaike se inligtingskriterium (AIK, Engels AIC) en die Bayesiaanse inligtingskriterium (BIK, Engels BIC), waar laer waardes beter modelpassing aandui. Hierdie maatstawwe word weens hul breër toepasbaarheid algemeen bo aanneemlikheidsverhoudingstoetse verkies.

MRA hanteer ook multikollineariteit met behulp van variansie-inflasiefaktore (VIF). In hierdie studie dui VIF-waardes onder 10 en toleransiewaardes bo 0,1 aan dat daar geen multikollineariteit in die data is nie. Regressiekoëffisiënte (β) meet die sterkte en

rigting van verhoudings tussen veranderlikes, terwyl p -waardes die statistiese beduidendheid daarvan aandui. 'n P -waarde kleiner as 0,05 dui op beduidende verhoudings. Meervlakkige regressie is gebruik om te bepaal watter huishoudelike en persoonlike faktore leerderuitkomste beïnvloed. Dit handel met die tweede navorsingsvraag deur die invloed van sosio-ekonomiese toestande te kwantifiseer.

Omdat MRA slegs direkte effekte tussen faktore en uitkomste toets, is SVM vervolgens gebruik om beide direkte én indirekte invloede in 'n geïntegreerde raamwerk te ondersoek. SVM is gekies omdat dit, anders as tradisionele regressiemetodes, die metingsmodel (verhouding tussen aanwysers en verborge faktore) en die strukturele model (verhouding tussen verborge faktore onderling) gelyktydig evalueer. Dit maak dit moontlik om beide direkte en indirekte invloede in een geïntegreerde raamwerk te toets, terwyl daar ook vir meetfoute gekorrigeer word. In teenstelling met meervoudige regressie evalueer SVM egter die konsepuele en metingsmodelle gelyktydig. SVM ondersoek ook die struktuur van verborge veranderlikes, maak gebruik van verskeie metings vir onafhanklike veranderlikes en herstel meetfoute. Hoewel beide SVM en MRA soortgelyke strukturele modelle kan toets, gebruik SVM die metingsmodel om meetfoute te identifiseer, aangesien dit nie veronderstel dat veranderlikes perfek gemeet word of dat foutterme onafhanklik is nie. SVM maak gebruik van 'n maksimum aanneemlikheidsramingsprosedure wat onbevooroordeelde ramings vir nierekursiewe modelle lewer. In SVM word rigtinggewende verhoudings tussen verborge veranderlikes aanvaar, en elke verwantskap van belang word deur verskeie aanwysers gemeet.

Die eerste fase in SVM behels die gebruik van BFA om 'n geskikte metingsmodel saam te stel. Hierdie model identifiseer die verborge faktore van belang en dui aan watter waargenome veranderlikes elk van hierdie faktore meet. Hierdie metingsmodel sluit nie rigtinggewende verhoudings tussen faktore in nie, maar bepaal eerder die verband tussen aanwysers en hul onderliggende faktore. Die aanvanklike model word ontwikkel op grond van die sterk en die matige verhoudings wat deur MRA geïdentifiseer is. Hierdie verhoudings word verfyn en verbeter deur die evaluering van passingsindekse en die statistiese beduidendheid van die roetekoëffisiënte. 'n Baan-koëffisiënt dui dus die sterkte en rigting van die verband tussen twee veranderlikes in 'n gespesifiseerde model aan.

In die volgende fase word aanpassings aan die metingsmodel gemaak om rigtinggewende verhoudings tussen verborge veranderlikes in te sluit. Hierdie wysigings is daarop gemik om die model te belyn met die teoretiese raamwerk wat getoets word. Die resulterende teoretiese model word 'n gekombineerde model genoem, wat twee komponente bevat: 'n Metingsmodel, wat die verhoudings tussen verborge verwantskappe en hul aanwysers beskryf, en 'n strukturele model, wat rigtinggewende verhoudings tussen hierdie verborge verwantskappe spesifiseer. In SVM word 'n gelyktydige beoordeling gedoen om te bepaal of hierdie gekombineerde metings- en strukturele model die data voldoende pas. As die model goed pas, dui dit daarop dat die teoretiese raamwerk ondersteun word, wat die voorspellings daarvan bekragtig.

MRA het die hiërargiese struktuur van die data effektief hanteer deur die genestelde verhoudings in ag te neem en die variansie wat aan beide persoons- en huishoudingsvlak toegeskryf kan word, vas te vang. SVM bied 'n aanvullende benadering deur die gelyktydige modellering van verskeie verhoudings moontlik te maak, wat 'n omvattende oorsig van die hele stel veranderlikes bied, terwyl dit ook vir meetfoute korreger. Anders as tradisionele regressie-analise, sluit SVM verborge veranderlikes in en ondersoek hul wisselwerkings, wat die beoordeling van beide direkte en indirekte effekte binne 'n verenigde raamwerk moontlik maak. Verder verskaf SVM se globale passingsindekse 'n algehele maatstaf van hoe goed die teoretiese model by die waargenome data pas. Die gesamentlike gebruik van MRA en SVM fasiliteer 'n meervuldigemetode-bevestiging van bevindinge, wat sodoende die betroubaarheid van die resultate verhoog. In hierdie studie het SVM 'n uitstekende passing van die data getoon, wat die model se betroubaarheid verder bevestig.

SVM is as laaste stap gebruik om die konseptuele raamwerk wat uit FA en MRA ontstaan het, statisties te toets. Deur globale passingsindekse en roetekoëffisiënte te evalueer, is die model se geldigheid bevestig. Hierdie ontledings handel met die derde navorsingsvraag deur die gesamentlike invloed van verskeie faktore in een geïntegreerde raamwerk te toets.

Resultate

Iteratiewe FA lewer vyf faktore op persoonsvlak (PF₁ tot PF₅). Die veranderlikes vir die persoonsvlakmodel was geskik vir

faktoranalise, aangesien die algehele KMO-maatstaf 0,72 was, en die aanwysers KMO-tellings bo die verlangde drempel van 0,50 gehad het, soos getoon in Tabel I. Sommige aanwysers toon negatiewe ladinge op spesifieke faktore, wat aandui dat hierdie veranderlikes in teenstelling is met die oorheersende patroon van daardie faktor. Hierdie negatiewe ladinge is sinvol in konteks en word in die bespreking verder geïnterpreteer. Die faktorladinge in die geroteerde faktorpatrone is met 'n faktor van 100 vermenigvuldig om leesbaarheid te verbeter en die interpretasie van die waardes te vergemaklik.

PF₁ weerspieël uitdagings met skoolhulpbronne en onderrigkwaliteit. Die tweede faktor, PF₂, verteenwoordig die leerder se gesinstruktuur en ouerlike betrokkenheid, terwyl PF₃ onderriquitkomste soos letter- en syfervaardigheid uitbeeld. PF₄ beskryf hoërskole se ondersteuningsdienste wat leerderbehoud bevorder om sodoende 'n leerder in die regte graad vir sy ouderdom te hou. Laastens verteenwoordig PF₅ gesondheidsprobleme en die leerder se skoolafwesigheid as gevolg daarvan.

BFA bevestig hierdie vyffaktorstruktuur wat in die VFA geïdentifiseer is, met resultate wat op 'n goeie passing dui. Die χ^2 -statistiek ($\chi^2 = 990,87$, $df = 196$, $p < 0,0001$) is beduidend, soos vermag in groot steekproewe. Die RMSEA van 0,048 (90%-VI: 0,045–0,051) en SRMR van 0,04 dui op 'n sterk passing. Hoewel die CFI van 0,93 effens onder 0,95 is, val dit steeds binne die aanvaarbare reeks (>0,90), wat bevestig dat die model wesenlik beter presteer as die nulmodel. Die model benader dus die

Tabel I: Steekproefgeskiktheid en geroteerde faktorpatroon wat die ladinge van aanwysers op die vyf onttrekte faktore vir persoonsvlak toon

Aanwyser	KMO-maatstaf	PF ₁ : Skoolhulpbronprobleme	PF ₂ : Gesinstruktuur	PF ₃ : Onderriguitkomste	PF ₄ : Leerderbehoudsteun	PF ₅ : Gesondheidsprobleme
Swak onderwysers	0,77	72*	0	2	0	-1
Afwesige onderwysers	0,83	66*	-1	1	-1	-2
Onderwysertekort	0,76	64*	0	0	0	8
Oorvol klasse	0,83	63*	3	1	6	-3
Handboektekort	0,85	54*	-2	2	9	6
Slegte fasiliteite	0,83	52*	-2	-1	5	-2
Duur skoolfonds	0,82	49*	8	5	-15	-3
Onderwyserstakings	0,80	47*	-1	-1	3	-1
Aanwesige vader	0,71	-1	89*	1	0	0
Gehude voogde	0,76	0	82*	-1	-9	-3
Manlike familiehoof	0,68	-2	77*	-3	-15	0
Lewende vader	0,77	0	59*	4	6	2
Bloedverwante ouers	0,65	5	56*	3	9	-2
Leesvaardig	0,80	1	2	77*	5	-5
Skryfvaardig	0,83	1	2	71*	8	2
Redeneervaardig	0,78	3	-3	69*	-3	2
Formulierbekwaam	0,77	2	2	65*	-10	-5
Rekenvaardig	0,81	1	3	64*	7	3
Skoolmaaltye	0,70	4	-4	6	85*	-3
Skoolfondsvrystelling	0,71	-7	-7	0	80*	3
Leerder stap skool toe	0,77	0	-9	2	78*	-1
Ouderdomsgraadpas	0,76	11	16	4	49*	-2
Gereelde afwesigheid	0,50	1	-2	-1	-2	98*
Leerder is beseer	0,50	0	-2	0	-2	98*

populasiestruktuur met 'n klein foutmarge en minimale verskille tussen waargenome en voorspelde korrelasies. Hierdie maatstawwe dui nie net op goeie passing nie, maar ook op minimale voorspellingsfoute tussen die waargenome en modelvoorspelde waardes.

Iteratiewe FA lewer vyf faktore op huishoudingsvlak (HF₁ tot HF₅). Die veranderlikes vir die huishoudingsvlakmodel was ook geskik vir faktoranalise, aangesien die algehele KMO-maatstaf 0,82 was, en KMO-tellings van die aanwysers bo die verlangde drempel van 0,50 was, soos in Tabel II getoon word.

HF₁ verteenwoordig voedselonsekerheid en vang die variansie vas wat verband hou met die tekort aan beskikbaarheid van en toegang tot voldoende, voedsame kos. HF₂ dui op huishoudelike luukshede en weerspieël die variansie in die teenwoordigheid van waardevolle goedere, asook die algehele ekonomiese status van die huishouding. HF₃ fokus op huishoudelike nutsdienste, toestelle en toegang tot energie, wat die vlak van infrastruktuur en basiese dienste wat beskikbaar is vir huishoudings aandui. HF₄ beklemtoon besoedelings- en omgewingsuitdagings, en bied kommer oor omgewingsgehalte en die impak daarvan op huishoudings die hoof. HF₅ hou verband met huishoudelike welvaart en sluit finansiële hulpbronne, inkomste en uitgawes in.

Die BFA het die vyffaktor-huishoudingstruktuur wat in die VFA geïdentifiseer is, bevestig en 'n uitstekende passing getoon. Die χ^2 -statistiek ($\chi^2 = 776,63$, $df = 180$, $p < 0,0001$) was beduidend, soos verwag in groot steekproewe. Die SRMR van 0,03, wat ver onder die drempel van 0,08 is, dui op minimale verskille tussen waargenome en voorspelde korrelasies.

Die RMSEA van 0,05 (90%-VI: 0,052–0,059) bevestig 'n goeie passing, aangesien dit binne die aanvaarbare bestek val. Die CFI van 0,95, bo die ideaal van 0,94, toon aan dat die model die data

voldoende weergee, vergeleke met 'n basislynmodel. Oor die algemeen toon die huishoudingsvlakmodel 'n uitstekende passing oor verskeie maatstawwe, wat aandui dat die model die populasiestruktuur goed benader met minimale fout.

MRA is gebruik om die invloed van faktore op persoons- en huishoudingsvlak te analiseer. Saamgestelde veranderlikes is bereken vir die vyf persoonsvlak- en vyf huishoudingsvlakfaktore wat in die VFA geïdentifiseer en deur die BFA bevestig is. Die geweepte gemiddeld van hierdie faktore is as voorspellers in die meervlakkige modelle gebruik, met ewekansige afsnitte wat die hiërargiese datastruktuur verreken.

Die modelle het die wisselwerking tussen faktore oor die twee vlakke ontleed, waar huishoudingsvlakfaktore persoonsvlak-uitkomst beïnvloed, en andersom. Vir elk van die tien faktore as uitkomstveranderlikes is modelle gebou, met die ander nege faktore as voorspellers. Die modelle is op grond van hul AIC-waardes geëvalueer, en dié met die laagste AIC is behou.

Die vaste-effektematriks toon die sterkte en rigting van die verhoudings, gemeet deur regressiekoëffisiënte (β), wat die geraamde verandering in die afhanklike veranderlike vir 'n eenheidstoename in die onafhanklike veranderlike aandui. Faktore met beduidende effekte word met 'n asterisk (*) aangedui teen 'n 5%-vlak van beduidendheid. 'n Opsomming van die vaste effekte vir die tien faktore word in Tabel III verskaf.

Die studie het bevestig dat SVM 'n uitstekende passing van die data bied, gegrond op verskeie passingsindekse. Hoewel die χ^2 -waarde (61,32, $p = 0,0003$) beduidend is, word dit beïnvloed deur die groot steekproefgrootte ($n = 1,749$). Ander indekse dui egter op sterk passing: Die RMR en SRMR is 0,02, wat uitstekend is (onder 0,05 aanvaarbaar). Die GFI (0,99) en AGFI (0,98) toon

Tabel II: Steekproefgeskiktheid en geroteerde faktorpatroon wat die ladinge van aanwysers op die vyf onttrekte faktore vir huishoudingsvlak toon

Aanwyser	KMO-maatstaf	HF ₁ : Voedsel- onsekerheid	HF ₂ : Huishoud- luukshede	HF ₃ : Huishoud- nutsdienste	HF ₄ : Omge- wings uit- dagings	HF ₅ : Huishoud- welvaart
Voedselentonigheid	0,78	94*	-9	-4	-3	-8
Voedselkwaliteittkort	0,79	92*	-8	-4	1	-6
Minder etes beskikbaar	0,86	92*	-7	-5	0	-6
Voedseluitputting	0,87	90*	-7	-4	2	-6
Besit skottelgoedwasser	0,85	-2	77*	3	1	-7
Besit swembad	0,87	-4	75*	2	1	-1
Huishoudhulp	0,89	-3	73*	3	0	4
Privaat sekuriteit	0,89	-6	72*	4	-6	9
Besit stofsuier	0,90	-6	70*	5	-3	11
Meer as een voertuig	0,90	-12	66*	6	-9	14
Elektrisiteittoegang	0,73	-2	2	88*	-9	4
Besit stoof	0,76	0	4	85*	0	-3
Besit yskas	0,87	-11	5	73*	-5	13
Gemete elektrisiteit	0,84	-4	8	71*	-15	11
Lugbesoedeling	0,60	0	-6	-11	87*	2
Waterbesoedeling	0,60	-1	-4	-13	86*	1
Kwintiel 4/5 inkomste	0,72	-7	8	2	0	84*
Kwintiel 4/5 uitgawes	0,80	-13	14	23	3	75*

Ladinge groter as 0,45 is beduidend en word met 'n * aangedui.

ook goeie passing. Die RMSEA is 0,03 (90%-interval: 0,02–0,04; PCLOSE = 1), wat uitstekende passing bevestig. Die Bentler CFI-waarde van 0,96 ondersteun hierdie bevindinge.

Die geraamde roetekoëffisiënte, met 'n konsekwente standaardfout van 0,02, dui op akkuraatheid in die beramings. Verhoudings met *p*-waardes kleiner as 0,05 word as beduidend beskou, wat betekenisvolle wisselwerking tussen die veranderlikes impliseer. Die *t*-waardes toon sterk statistiese beduidendheid van hierdie verhoudings.

Die model identifiseer belangrike verhoudings tussen huishoudingsvlakfaktore, onderriguitkomste, skoolhulpbronprobleme en leerderbehoudsteun. Die geraamde roetekoëffisiënte wat deur SVM verkry is, tesame met hul ooreenstemmende standaardfoute en waarskynlikhede, word in Tabel IV aangebied.

Die analise van openbare hoërskoolleerders onthul verskeie beduidende verhoudings tussen huishoudingsvlakfaktore en onderriguitkomste, skoolhulpbronprobleme en leerderbehoudsteun, soos geïllustreer in die verwantskapskaart van die veranderlikes in Figuur 1. Hierdie kartering toon die ingewikkelde wisselwerking tussen die faktore, soos vasgelê deur die

beraamde roetekoëffisiënte. Belangrike verhoudings tussen huishoudelike faktore en leerderuitkomste word in die bespreking verder geïnterpreteer; onder andere die positiewe effek van nutsdienste op onderriguitkomste en die negatiewe verband tussen luukshede en leerderbehoudsteun.

Bespreking

Meervlakkige modellering is gebruik om persoon- en huishoudingsvlakfaktore te analiseer, met saamgestelde veranderlikes wat deur BFA bekragtig is. Die insluiting van ewekansige afsnitte het getoon hoe persoonlike faktore deur huishoudelike eienskappe beïnvloed word, en andersom.

Skole in hulpbronarm gemeenskappe voorsien noodsaaklike steun vir leerderbehoud ($\beta = 0,05, p < 0,02$) en het beter toegang tot nutsdienste ($\beta = 0,06, p < 0,03$), maar ervaar verhoogde omgewingsuitdagings ($\beta = 0,05, p < 0,05$). Tradisionele gesinstrukture hou verband met groter welvaart ($\beta = 0,25, p < 0,0001$) en minder voedselonsekerheid ($\beta = -0,07, p = 0,03$). Betroubare nutsdienste verbeter onderriguitkomste ($\beta = 0,07, p = 0,01$), terwyl leerders uit arm huishoudings meer steun benodig ($\beta = -0,23, p < 0,0001$).

Tabel III: Vaste-effektematriks vir persoons- en huishoudingsvlakaanwysers (**p* < 0,05)

	PF ₁	PF ₂	PF ₃	PF ₄	PF ₅	HF ₁	HF ₂	HF ₃	HF ₄	HF ₅
PF ₁	1,00	-0,04	0,02	0,06*	0,02	0,04	0,04*	0,06*	0,04*	-0,02
PF ₂	-0,02	1,00	0,01	-0,01	-0,02	-0,05*	0,18*	-0,07*	-0,03*	0,22*
PF ₃	0,01	0,01	1,00	0,04	-0,02	-0,01	0,03	0,06*	0,03	0,01
PF ₄	0,05*	0,01	0,04	1,00	-0,02	0,01	-0,21*	0,07*	0,07*	-0,06*
PF ₅	0,01	-0,01	-0,02	-0,03	1,00	0,01	-0,01	0,00	-0,03	-0,03
HF ₁	0,04	-0,06*	0,00	0,01	0,02	1,00	-0,11*	-0,06*	-0,03	-0,13*
HF ₂	0,04	0,19*	0,03	-0,23*	-0,01	-0,12*	1,00	0,08*	-0,07*	0,11*
HF ₃	0,06*	-0,07*	0,07*	0,08*	0,00	-0,06*	0,07*	1,00	-0,25*	0,24*
HF ₄	0,05*	-0,02	0,03	0,07*	-0,04	-0,03	-0,07*	-0,23*	1,00	0,07*
HF ₅	0,00	0,25*	0,03	-0,06*	-0,03	-0,15*	0,11*	0,25*	0,08*	1,00

Kolomme verteenwoordig afhanklike veranderlikes, terwyl rye die voorspellers aandui.

Tabel IV: Gestandaardiseerde resultate vir die roetekoëffisiënte verkry vanuit SVM

Pad na	Pad vanaf	Beraming	SE	t-waarde	Pr > t
Skoolhulpbronprobleme	Huishoudelike nutsdienste	0,06	0,02	2,31	0,021
Onderriguitkomste	Huishoudelike nutsdienste	0,07	0,02	3,01	0,003
Leerderbehoudsteun	Huishoudelike luukshede	-0,24	0,02	-10,54	< 0,0001
Leerderbehoudsteun	Onderriguitkomste	0,06	0,02	2,48	0,013
Leerderbehoudsteun	Skoolhulpbronprobleme	0,06	0,02	2,70	0,007
Voedselonsekerheid	Huishoudelike welvaart	-0,21	0,02	-9,21	< 0,0001
Huishoudelike luukshede	Gesinstruktuur	0,20	0,02	8,45	< 0,0001
Huishoudelike luukshede	Voedselonsekerheid	-0,11	0,02	-4,82	< 0,0001
Huishoudelike luukshede	Huishoudelike nutsdienste	0,07	0,02	2,83	0,005
Huishoudelike luukshede	Omgewingsuitdagings	-0,07	0,02	-2,78	0,005
Huishoudelike luukshede	Huishoudelike welvaart	0,13	0,02	5,41	< 0,0001
Huishoudelike nutsdienste	Huishoudelike welvaart	0,27	0,02	11,50	< 0,0001
Huishoudelike nutsdienste	Gesinstruktuur	-0,05	0,02	-2,10	0,035
Omgewingsuitdagings	Huishoudelike nutsdienste	-0,23	0,02	-10,13	< 0,0001
Omgewingsuitdagings	Leerderbehoudsteun	0,07	0,02	3,06	0,002
Huishoudelike welvaart	Gesinstruktuur	0,28	0,02	12,61	< 0,0001

Gesondheid toon 'n swak verband met die meeste faktore, wat dui op wydverspreide uitdagings. Huishoudelike voedselonsekerheid korreleer negatief met luukshede ($\beta = -0,12, p < 0,0001$) en welvaart ($\beta = -0,15, p < 0,0001$). Omgewingsuitdagings word minder in welvarender gebiede ($\beta = -0,23, p < 0,0001$), met beter toegang tot nutsdienste ($\beta = -0,25, p < 0,0001$). Welvaart bevorder stabiliteit ($\beta = 0,22, p < 0,0001$), terwyl armer gesinne meer voedselonsekerheid ervaar ($\beta = -0,13, p < 0,0001$).

Die ICC-waardes toon hoe huishoudingsvlakfaktore die variansie in verskillende uitkomst beïnvloed. Die skoolhulpbronprobleme faktor het 'n ICC van 0,765, wat aandui dat 76,5% van die variansie aan huishoudingsverskille toegeskryf kan word. Dit beteken dat leerders uit dieselfde huishouding waarskynlik soortgelyke skoolhulpbronkwessies ervaar. Die gesinstruktuur faktor het 'n hoë ICC van 0,92, wat te wagte is, aangesien gesinslede dieselfde gesinstruktuur deel. Die onderriguitkomstefaktor het 'n matige ICC van 0,498, wat voorstel dat sowat 49,8% van die variansie deur huishoudingsfaktore verklaar word, terwyl individuele faktore ook 'n beduidende rol speel. Die leerderbehoudsteunfaktor toon die laagste ICC van 0,286, wat beteken dat net 28,6% van die variansie aan huishoudelike verskille toegeskryf kan word. Dit dui daarop dat skole se ondersteuningsprogramme nie altyd konsekwent vir leerders uit soortgelyke huishoudings is nie. Laastens het die gesondheidsprobleme faktor 'n ICC van 0,597, wat aandui dat 59,7% van die variansie deur huishoudelike verskille verklaar word, maar ook dat persoonlike faktore 'n beduidende rol speel in gesondheidsuitkomst.

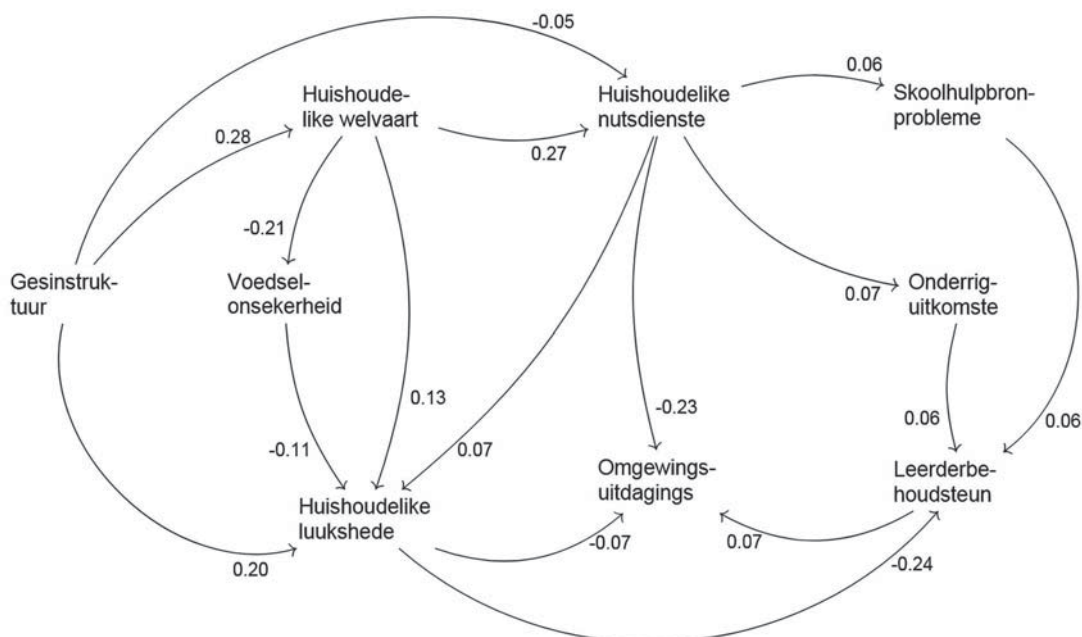
Die SVM ondersteun hierdie resultate deur te toon dat gesinstruktuur en huishoudelike welvaart 'n sentrale rol speel in die verbetering van huishoudelike toestande en akademiese uitkomst. SVM bevestig tradisionele gesinstrukture dra beduidend by tot meer finansiële hulpbronne ($\beta = 0,28, p < 0,0001$), wat lei tot hoër bestedingsvermoë en toegang tot

noodsaaklike dienste soos elektrisiteit en water ($\beta = 0,27, p < 0,0001$). Hierdie welvaart verminder ook voedselonsekerheid ($\beta = -0,21, p < 0,0001$), wat gesinsstabiliteit en emosionele welstand bevorder.

Besteding aan luukshede hou verband met minder omgewingsuitdagings ($\beta = -0,07, p = 0,0005$), aangesien welvarender huishoudings doeltreffender stelsels kan bekostig wat hul omgewingsvoetspoor beperk. Omgekeerd prioritiseer voedselonseker huishoudings basiese behoeftes bo luukshede ($\beta = -0,11, p < 0,0001$).

In gebiede met beperkte hulpbronne doen skole dikwels ekstra stappe om leerderbehoud te ondersteun ($\beta = 0,06, p = 0,007$), hoewel hierdie gesinne dikwels swak infrastruktuur ervaar, wat bydra tot omgewingsprobleme ($\beta = 0,07, p < 0,0001$). Verder wys die model op 'n negatiewe verband tussen huishoudelike nutsdienste en gesinstruktuur ($\beta = -0,05, p = 0,035$). Dit dui daarop dat gesinne met beperkte toegang tot basiese dienste soos elektrisiteit en water ook geneig is om minder stabiele gesinstrukture te hê, wat moontlik 'n weerspieëling is van onderliggende strukturele armoede en huishoudelike spanning. Die model toon ook 'n sterk negatiewe verband tussen omgewingsuitdagings en leerderbehoudsteun ($\beta = -0,24, p < 0,0001$). Dit impliseer dat in gebiede met groter omgewingsprobleme, soos besoedeling of swak watergehalte, skole se kapasiteit om leerders effektief te ondersteun, merkbaar daal.

Toegang tot dienste soos elektrisiteit en water het 'n positiewe invloed op akademiese prestasie ($\beta = 0,07, p = 0,0003$), wat weer die kans verhoog dat leerders op skool sal bly en ondersteuningsdienste benut ($\beta = 0,06, p = 0,013$). Interessant genoeg het die gesondheidsprobleme faktor geen beduidende verhoudings met ander faktore getoon nie, wat ooreenstem met vorige bevindinge. Daarom is hierdie faktor nie in die netwerkdiagram (Figuur 1) opgeneem nie.



Figuur 1: Verwantskapskaart van die voorspellers en uitkomst wat ingesluit is in die geraamde roetekoëffisiënte as 'n netwerkdiagram

Die SVM-analise beklemtoon dat beter gesinstruktuur en huishoudelike welvaart, tesame met verbeterde toegang tot dienste en die vermindering van voedselonsekerheid, 'n groot invloed het op opvoedkundige uitkomst. Institusionele ondersteuning, soos leerderbehoudprogramme, bly egter noodsaaklik om die uitdagings van sosio-ekonomiese agterstande die hoof te bied.

Die studie het faktore ondersoek wat leerdervordering in Suid-Afrikaanse openbare hoërskole beïnvloed. Die literatuur identifiseer interne faktore soos onderwyserdoeltreffendheid, leerdermotivering en ouerlike en gemeenskapsondersteuning as bepalend. Die AHO-verwantskapskaart beklemtoon egter eksterne sosio-ekonomiese en huishoudelike faktore soos gesinstruktuur, huishoudelike welvaart en nutsdienste.

Beide lyste toon ooreenkomste in sleuteltemas, soos onderwyserkwaliteit en skoolhulpbronne, en beklemtoon tydige graadvordering. Terselfdertyd dui die literatuur op die belangrikheid van interne dinamika, soos leerdermotivering en gereelde skoolbywoning, wat minder prominent in die AHO-analise is. Daarenteen bied die AHO-verwantskapskaart meer insigte oor hoe eksterne faktore, soos voedselonsekerheid en omgewingsuitdagings, opvoedkundige uitkomst beïnvloed.

Sommige faktore, soos gesondheid, toon verskillende invloede tussen die lyste. Hoewel gesondheid in die literatuur belangrik is, is dit nie beduidend in die AHO-ontleding nie. Omgekeerd speel voedselonsekerheid, wat prominent in die AHO-analise is, 'n minder direkte rol in die literatuur.

Uiteindelik is albei lyste aanvullend tot mekaar: Die literatuur fokus op interne skooldinamika, terwyl die AHO-verwantskapskaart 'n breër eksterne konteks bied. Die insigte van beide karterings kan geïntegreer word om 'n meer omvattende begrip te bied van die faktore wat leerdervordering beïnvloed.

Die resultate van die SVM-verwantskapskaart bied waardevolle geleenthede vir die modellering van sleutelverhoudings en die toepassing van simulasiemodellering. Stelseldinamika kan gebruik word om dinamiese terugvoer in die kaart in te sluit deur 'n oorsaaklusdiagram te skep wat wisselwerking tussen faktore soos huishoudelike welvaart, luukshede en onderwysuitkomste simuleer. 'n Tydsvertraagde lus kan ook modelleer hoe verbeterde onderwys oor tyd huishoudelike inkomste verhoog.

Masjienleertegniese, soos gebruik deur Van den Heever, Becker, Venter en Bekker (2024) toon hoe faktorrangorde en voorspelling van leerdervordering in simulaties geïntegreer kan word. Hierdie benadering het in hul studie suksesvol dinamika tussen opvoedkundige hulpbronne, huishoudelike faktore en leerderuitkomste vasgelê, hoewel verdere verfyning vir hoër grade nodig is.

Om toekomstige navorsing en beleidsaanbevelings te verbeter, is dit noodsaaklik dat die AHO-data voortdurend vrae insluit oor leerdermotivering, betrokkenheid en skoolinfrastruktuur, aangesien dit 'n groot impak op beleidsontwikkeling het. Die

weglating van belangrike vrae in onlangse opnames hou 'n bedreiging in vir die herhaalbaarheid van resultate en belemmer die identifikasie van kritieke faktore.

Die insluiting van stelseldinamika en masjienleer in toekomstige modellering, mits die regte hoeveelheid en tipe data ingesamel word, kan as 'n strategiese hulpmiddel dien om die impak van ingrypings op onderwysuitkomste in Suid-Afrika te evalueer.

Gevolgtrekking

Hierdie studie bied 'n waardevolle bydrae tot die begrip van die faktore wat leerdervordering in openbare hoërskole beïnvloed, met 'n spesifieke fokus op die Wes-Kaap en Gauteng. Deur statistiese ontleding van huishoudelike en persoonlike veranderlikes is belangrike skakels tussen sosio-ekonomiese status, gesinstruktuur, voedselonsekerheid en skoolsteun blootgelê. Die bevindinge toon dat huishoudelike welvaart, stabiele gesinstrukture en verbeterde toegang tot dienste en hulpbronne 'n positiewe uitwerking op leerderuitkomste het.

Verder beklemtoon die resultate die noodsaak van beleid wat omgewingsuitdagings die hoof bied en skole in hulpbronarme gemeenskappe versterk.

In hierdie konteks verwys omgewingsuitdagings na faktore soos lug- en waterbesoedeling, swak toegang tot basiese infrastruktuur en gemeenskapsomstandighede wat die leeromgewing belemmer. Hoewel gesondheidsfaktore 'n minder direkte rol speel, dui die resultate daarop dat gesins- en gemeenskapsteun onontbeerlik is vir langtermynsukses. Dit word weerspieël in die feit dat geen van die padkoëffisiënte met die gesondheidsfaktor statisties beduidend was nie, en dat hierdie faktor ook uitgelaat is in die netwerkdiagram. In hierdie studie was tradisionele gesinstrukture (bv. aanwesigheid van albei ouers of 'n manlike familiehoof) sterk verwant aan hoër huishoudelike welvaart en laer voedselonsekerheid, wat op hul beurt akademiese uitkomste positief beïnvloed het. Die voorgestelde raamwerke vir verdere modellering bied 'n grondslag vir die ontwerp van doeltreffender ingrypings wat opvoedkundige gelykheid bevorder.

Hierdie bevindinge ondersteun beleid wat gesinsdinamika en gemeenskapsbehoefte integreer, byvoorbeeld deur programme te prioritiseer wat ouerlike betrokkenheid bevorder, huishoudelike stabiliteit versterk en voedselonsekerheid verminder. Hoewel die Nasionale Ontwikkelingsplan (2012) spesifiek mik dat alle Graad 4-leerders teen 2030 met begrip moet kan lees, is dit duidelik dat hierdie doelwitte net haalbaar is indien leerderondersteuning regdeur die onderwysloopbaan, ook tydens die hoërskoolfases, versterk word. Die data dui ook daarop dat hierdie doelwitte waarskynlik nie haalbaar is sonder verhoogde ondersteuning aan huishoudings in armer gemeenskappe nie. Beleidsmakers kan hierdie faktormodel gebruik om ingrypings te prioritiseer in gemeenskappe waar huishoudelike welvaart en gesinstruktuur swak is, eerder as om hulpbronne slegs op skoolvlak te fokus. Hierdie bevindinge bevestig so ook Heyneman en Loxley (1983) se stelling dat beleide wat uitsluitlik op skoolingrypings fokus onvoldoende is

as dit nie terselfdertyd aandag aan die sosiale konteks van leerders gee nie.

Verdere navorsing kan die geldigheid van hierdie model in ander provinsies, soos die Vrystaat of KwaZulu-Natal, toets. Daar is ook ruimte vir tydreeksontledings om vas te stel of die faktorverhoudings oor tyd standhou. Laastens kan kwalitatiewe werk bydra tot 'n dieper begrip van die dryfkragte agter hierdie patrone. Hierdie studie het nie eksplisiet vir geskiedkundige skoolklassifikasies gekontroleer nie. Die sosio-ekonomiese veranderlikes wat gebruik is, mag dus deels die impak van historiese ongelykhede weerspieël. Hierdie aspek behoort in toekomstige studies meer doelbewus hanteer te word.

Bibliografie

- Amnesty International, 2020, South Africa: Broken and unequal education perpetuating poverty and inequality. Beskikbaar by <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2020/02/south-africa-broken-and-unequal-education-perpetuating-poverty-and-inequality/>. Geraadpleeg op 9 April 2025.
- Botha, F., Booysen, F., Wouters, E., 2018, Family functioning and socioeconomic status in South African families: A test of the social causation hypothesis, *Social Indicators Research* 137, 789-811. <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1600-x>.
- Commission for Gender Equality (CGE), 2023, National investigative hearing on teenage pregnancy report. Johannesburg: CGE. Beskikbaar by <https://cge.org.za/wp-content/uploads/2023/07/cge-teenage-pregnacy-report.pdf>. Geraadpleeg op 9 April 2025.
- Darling-Hammond, L., Hyler, M.E., Gardner, M., 2017, Effective teacher professional development, *Learning Policy Institute*. <https://doi.org/10.54300/122.311>.
- Department of Basic Education, 2017, The SACMEQ IV Project in South Africa: A Study of the Conditions of Schooling and the Quality of Education. SACMEQ. Beskikbaar by <https://www.education.gov.za/Portals/0/Documents/Reports/SACMEQ%20IV%20Project%20in%20South%20Africa%20Report.pdf>. Geraadpleeg op 29 November 2024.
- Department of Basic Education, 2023, National Senior Certificate Examination Report 2023. Pretoria: Department of Basic Education. Beskikbaar by [https://www.education.gov.za/Examinations/NationalSeniorCertificate\(NSC\)Examinations.aspx](https://www.education.gov.za/Examinations/NationalSeniorCertificate(NSC)Examinations.aspx). Geraadpleeg op 8 April 2025.
- Department of Higher Education and Training (DHET), 2023, 2000 to 2020 First Time Entering Undergraduate Cohort Studies for Public Higher Education Institutions. Pretoria: DHET. Beskikbaar by <https://www.dhet.gov.za/HEMIS/2000%20TO%202020%20FIRST%20TIME%20ENTERING%20UNDERGRADUATE%20COHORT%20STUDIES%20FOR%20PUBLIC%20HEIs.pdf>.
- Dutta, S., Geiger, T., Lanvin, B. (reds.), 2015, Global Information Technology Report 2015: ICTs for Inclusive Growth. World Economic Forum, Genève, Switzerland. Beskikbaar by <https://www.weforum.org/reports/global-information-technology-report-2015>. Geraadpleeg op 29 November 2024.
- Dyomfana, B., 2022, Half of university students drop out in first year. Careers Portal. Beskikbaar by <https://www.careersportal.co.za/news/half-of-university-students-drop-out-in-first-year>. Geraadpleeg op 23 Februarie 2023.
- Gubbels, J., Van der Put, C.E., Assink, M., 2019, Risk factors for school absenteeism and dropout: A meta-analytic review, *Journal of Youth and Adolescence* 48(9), 1637-1677. <https://doi.org/10.1007/s10964-019-01072-5>.
- Heyneman, S.P., Loxley, W.A., 1983, The effect of primary-school quality on academic achievement across twenty-nine high- and low-income countries, *American Journal of Sociology* 88(6), 1162-1194. <https://doi.org/10.1086/227799>.
- Hofmeyr, H., McEwen, H., 2018, Home background and schooling outcomes in South Africa: Insights from the National Income Dynamics Study. Stellenbosch Economic Working Papers: WP01/2018. Departement Ekonomie, Universiteit Stellenbosch. Beskikbaar by <https://resep.sun.ac.za/wp-content/uploads/2018/07/wp012018.pdf>. Geraadpleeg op 29 November 2024.
- Köhler, T., 2020, Socioeconomic Status and Class Size in South African Secondary Schools. Stellenbosch Economic Working Papers: WP01/2020, Departement Ekonomie en Buro vir Ekonomiese Navorsing, Universiteit Stellenbosch. Beskikbaar by <https://www.ekon.sun.ac.za/wpapers/2020/wp012020>, Geraadpleeg op 29 November 2024.
- McClinton Appollis, T., Jonas, K., Macleod, C., et al., 2023, School dropout among adolescent girls in South Africa: A syndemic of pregnancy, HIV and gender-based violence, *AIDS and Behavior* 28, 226-238.
- Mullis, I.V.S., Martin, M.O., Foy, P., et al., 2020, TIMSS 2019 International Results in Mathematics and Science. TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College, Chestnut Hill, MA. Beskikbaar by <https://timssandpirls.bc.edu/timss2019/>. Geraadpleeg op 29 November 2024.
- Mullis, I.V.S., von Davier, M., Foy, P., et al., 2023, PIRLS 2021 International Results in Reading. TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College, Chestnut Hill, MA. <https://doi.org/10.6017/lse.tpisc.tr2103.kb5342>.
- Musil, C.M., Jones, S.L., Warner, C.D., 1998, Structural equation modeling and its relationship to multiple regression and factor analysis, *Research in Nursing & Health* 21(3), 271-281. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-240X\(199806\)21:3<271::AID-NUR10>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-240X(199806)21:3<271::AID-NUR10>3.0.CO;2-G).
- Mutodi, P., Ndirande, H., 2014, The impact of parental involvement on student performance: A case study of a South African secondary school, *Mediterranean Journal of Social Sciences* 5(8), 279-289.
- National Planning Commission, 2012, National Development Plan 2030: Our future - make it work. Pretoria: Presidency of the Republic of South Africa. Beskikbaar by <https://www.gov.za/documents/national-development-plan-2030-our-future-make-it-work>. Geraadpleeg op 8 April 2025.
- O'Rourke, N., Hatcher, L., 2013, A step-by-step approach to using SAS for factor analysis and structural equation modeling. SAS Institute, Cary, NC.
- Statistiek Suid-Afrika, 2020, General Household Survey 2019. Pretoria: Statistics South Africa. Beskikbaar by <https://www.statssa.gov.za/publications/P0318/P03182019.pdf>. Geraadpleeg op 8 April 2025.
- Statistiek Suid-Afrika, 2021, General Household Survey 2020. Pretoria: Statistics South Africa. Beskikbaar by <https://www.statssa.gov.za/publications/P0318/P03182020.pdf>. Geraadpleeg op 8 April 2025.
- Statistiek Suid-Afrika, 2022, General Household Survey 2021. Pretoria: Statistics South Africa. Beskikbaar by <https://www.statssa.gov.za/publications/P0318/P03182021.pdf>. Geraadpleeg op 8 April 2025.
- Statistiek Suid-Afrika, 2023, General Household Survey 2022. Pretoria: Statistics South Africa. Beskikbaar by <https://www.statssa.gov.za/publications/P0318/P03182022.pdf>. Geraadpleeg op 8 April 2025.
- Spaull, N., 2015, Schooling in South Africa: How low-quality education becomes a poverty trap, *South African Child Gauge* 12(1), 34-41.
- Spaull, N., 2023, 2023 Reading Panel Background Report. 2030 Reading Panel. Beskikbaar by <https://www.readingpanel.co.za/resources>. Geraadpleeg op 29 November 2024.
- Spaull, N., Kotze, J., 2015, Starting behind and staying behind in South Africa: The case of insurmountable learning deficits in the early years, *International Journal of Educational Development* 41, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2015.01.002>.
- Taylor, N., Van der Berg, S., Mabogoane, T. (reds.), 2013, What makes schools effective? Report of the National Schools Effectiveness Study. Kaapstad: Pearson.
- Van den Heever, M., Becker, E., Venter, L., et al., 2024, Using machine learning and agent-based simulation to predict learner progress for the South African high school education system, *South African Journal of Industrial Engineering* 35(3). <https://doi.org/10.7166/35-3-3080>.
- Van der Berg, S., Louw, M., 2006, Lessons learnt from SACMEQII: South African student performance in regional context, *Proceedings of the Conference on Investment Choices for Education in Africa* pp. 19-21.
- Van der Berg, S., Taylor, S., Gustafsson, M., et al., 2011, Improving education quality in South Africa. Verslag vir die Nasionale Beplanningskommissie. Departement Ekonomie, Universiteit Stellenbosch. Beskikbaar by <https://resep.sun.ac.za/wp-content/uploads/2012/10/2011-Report-for-NPC.pdf>. Geraadpleeg op 29 November 2024.
- Van der Berg, S., Hoadley, U., Galant, J., et al., 2022, Learning losses from COVID-19 in the Western Cape: Evidence from systemic tests. ReSEP, Stellenbosch Universiteit. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4212977>.
- Wills, G., Qvist, J., 2023, Repetition and dropout in South Africa before, during and after COVID-19. Research on Socio-Economic Policy (RESEP), Stellenbosch University. Beskikbaar by https://resep.sun.ac.za/wp-content/uploads/2024/01/2023-12-21-Wills_Qvist_covid_dropout_repetition_report_v4_upload.pdf. Geraadpleeg op 10 April 2025.
- Zero Dropout Campaign, 2022, School dropout: A South African crisis. Beskikbaar by <https://zerodropout.co.za/school-dropout-a-south-african-crisis/>. Geraadpleeg op 9 April 2025.
- Zoch, A., 2017, The effect of neighbourhoods and school quality on education and labour market outcomes in South Africa. Stellenbosch Werksdokumentreeks No. WP08/2017. Departement Ekonomie, Universiteit Stellenbosch. Beskikbaar by <https://econpapers.repec.org/RePEc:sza:wpaper:wpapers284>. Geraadpleeg op 29 November 2024.

3D-modellering as fasiliteerder by die konteksuitbeelding van topografiese integrasie van petrogliewe

A Lamprecht,¹ L Boardman,² T de Klerk,² C Yates³

¹ Antieke Teks: Teks, Konteks en Resepsie, Noordwes-Universiteit, Suid-Afrika

² Navorsingseenheid vir Omgewingswetenskappe en Bestuur, Noordwes-Universiteit, Suid-Afrika

³ Mantis Books, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Lynette Boardman **E-pos:** lynette.boardman@gmail.com

Hoewel dit min in die rotskunsstudieveld toegepas word, word die digitale 3D-skepping van petrogliewe nie meer as 'n uitsonderlike metodologie in hierdie veld beskou nie. Sagteware wat ontwikkel word om meer gebruikersvriendelik te wees, tesame met die imperatief tot die opskerpings van dokumenteerders se digitale kundigheid, het daartoe gelei dat hierdie vorm van opname en verwerking van petrogliefdata¹ 'n algemene standaard geword het. Nietemin val die fokus tans grotendeels op die estetiese waarde van só 'n 3D-model, asook op die uitdaging van hoe om die groot 3D-datastelle doeltreffend te stoor. 'n Kwessie wat tot op hede nog nie veel aandag geniet het nie, is die ondersoek na die diverse navorsingsaspekte wat ontsluit word met die 3D-modellering van petrogliewe. Die doel van hierdie studie is gevolglik om te toon hoe 'n 3D-modelleringspylyn toegepas kan word om 'n meer holistiese begripvorming te bereik ten opsigte van die kunstenaar se benutting van die topografie van die rots met betrekking tot die konteksuitbeelding van die bepaalde petrogliewe. Die data wat vir dié oogmerk as gevallestudie gebruik word, is twee rotspanele met petrogliewe wat op 'n erfenisterrein in die Schoonspruitvallei, Klerksdorpdistrik, Suid-Afrika, aangetref word. Die proses word begin deur elke paneel in 2D uit te beeld en daarna in kontras te plaas met die navorsingsvermoë wat die 3D-modelle van elkeen bied. Die bevinding van hierdie studie toon gevolglik die mate aan waarin 3D-modellering van rotskuns relevante konteks aan die analiseerder van petrogliewe kan bied op 'n wyse wat nie moontlik is in 'n 2D-verteenvoordinging nie.

Sleuteltermes: Rotskuns, petrogliewe, 3D-modellering, argeologie, erfenis, rotstopografie, fotogrammetrie, Schoonspruitvallei, Klerksdorpdistrik.

3D Modelling as facilitator in the contextual representation of topographical integration of petroglyphs: Although rarely used in the field of rock art studies, the digital 3D creation of petroglyphs is no longer regarded as an exceptional methodology in this field. Software being developed to be more user-friendly, combined with the imperative enhancement of documenters' digital expertise, has led to this form of recording and processing petroglyph data becoming a common standard. Nevertheless, the current focus largely remains on the aesthetic value of such a 3D model, as well as the challenge of efficiently storing large 3D datasets. An aspect that has not yet received much attention is the exploration of the diverse research opportunities unlocked by the 3D modelling of petroglyphs. The aim of this study is, therefore, to demonstrate how a 3D modelling pipeline can be applied to achieve a more holistic understanding of the artist's utilisation of the rock's topography in relation to the contextual depiction of specific petroglyphs. The data used for this purpose as a case study consists of two rock panels containing petroglyphs located at a heritage site in the Schoonspruit Valley, Klerksdorp District, South Africa. The process starts by depicting each panel in 2D, followed by contrasting it with the research capabilities provided by the 3D models of each panel. The findings of this study consequently illustrate the extent to which 3D modelling of rock art can provide relevant context to the analyst of petroglyphs in ways that are not possible with a 2D representation.

Keywords: rock art, petroglyphs, 3D modelling, archaeology, heritage, rock topography, photogrammetry, Klerksdorp District, Schoonspruit Valley.

1. Die woord "petroglief" is afgelei van Griekse woorde wat "rots" en "skryf" beteken.

Inleiding

Dit is die verantwoordelikheid van argeoloë om deurgaans te streef om die veld van hul dissipline uit te brei deur te verken hoe aspekte van die verlede op 'n nuwe wyse bestudeer kan word, asook op watter wyse die verlede relevansie het vir verdere fasette van die hede wat voorheen nie oorweeg is nie (Mithen, 2001). So is rotskuns 'n studieveld binne argeologie wat nog meer ontvanklik moet wees (en wel is) vir nuwe metodologieë en interpretasies. Die bestaande leemte in kennis rakende die ouderdom, tegnieke en betekenis van hierdie ryk kulturele erfenis maak die ontvanklikheid vir nuwe navorsingsmetodes vir rotskunsnavorsing soveel groter. Waaroor wel sekerheid bestaan, is dat rotskuns reeds millennia lank regoor die wêreld beoefen word, selfs tot op hede. Dit is as middel gebruik om inligting oor te dra van die tye waartydens dit geskep is, 'n getuie van die mens se belewenis van sy/haar omgewing, kulturele oortuigings, betekenisvolle gebeure en natuurlik ook die vermoë van die kunstenaar (Wilcox, 1963).

Hierdie antieke uitdrukkings in die vorm van rotskuns word deur UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) geklassifiseer as 'n tasbare, (grootliks) onbeweeglike kulturele erfenis (Ioannides & Patias, 2023). In teenstelling met die meeste kulturele erfenisse waarvan die objek vir 'n lang tydperk ondergronds "bewaar" bly, is rotskuns se ligging hoofsaaklik bogronds en is dit daarom uitgelewer aan voortdurende antropogeniese en natuurlike elemente wat tot die degenerasie van hierdie kunswerke lei (Plets *et al.*, 2012; Lopez-Menchero Bendicho *et al.*, 2017). Die realiteit hiervan is dat rotskunswerke met verloop van tyd heeltemal tot niet sal gaan en slegs die data wat analogies en digitaal opgeneem en bewaar is, beskikbaar sal wees vir visuele tentoonstelling en bestudering. Om hierdie rede word daar al etlike jare gepoog om oplossings te vind vir die bewaring van hierdie kulturele nalatenskap. Tog het die doel hiervan nie altyd die middele geheilig nie en is die eerste tydperk van "oplossings" gekenmerk deur rotspaneel wat uit hul natuurlike omgewing verwyder is na hoofsaaklik museums en private versamelings. Hierdie optrede het gelei tot die beskadiging van kunswerke tydens die verwydering uit hul natuurlike omgewing, asook die verdere agteruitgang daarvan vanweë die onvoldoende sorg waarmee dit daarna in die nuwe bestemmings gehuisves is (Hollmann & Msimanga, 2008; Henry, 2007; Universiteit van die Witwatersrand, Johannesburg, 2020). Hierna het 'n tydperk gevolg waartydens gepoog is om die rotskunswerke eerder in hul natuurlike omgewing te dokumenteer by wyse van natrektekening, asook vryf- en gietwerk (Plets *et al.*, 2012). Volgens resente rotskunsliteratuur is die meeste rotskunsspesialiste dit vandag eens dat bogenoemde metodes ook 'n negatiewe impak op die behoud van rotskuns het en word dit grootliks vermy. Die groter bekostigbaarheid van digitale dokumenteringstoerusting die afgelope vier dekades, asook opsies om die data digitaal te stoor en aanlyn beskikbaar te stel, het die gewildheid van hierdie nuwe digitale metode as alternatief laat toeneem. Die aantal publikasies hieroor dien as bewys van hierdie nuwe voorkeur (Cerasoni *et al.*, 2022; Horn *et al.*, 2019; Katsianis *et al.*, 2008; Kęsik *et al.*, 2022; Marín-Buzón *et al.*, 2021; McCarthy, 2014; Plets *et al.*, 2012; Sapirstein, 2018; Sharp & Litschi, 2014).

Aangesien argeologie 'n veld is waarin verskeie dissiplines soos geografie, rekenaarprogramering, antropologie, ens geïnkorporeer is, het dit die voortou geneem om die nuwe metodologieë en digitale tegnologie op die proef te stel (Valdez-Tullett & Figueiredo-Persson, 2023). Só het rotskunsnavorsing dan ook nie teruggestaan toe een van hierdie ontwikkelings, naamlik 3D-modellering, die lig in die akademiese wêreld gesien het nie. Die gewildheid hiervan het veral gegroei onder dokumenteerders van spesifiek petrogliewe, want waar piktograwe 2D-uitbeeldings is, is petrogliefskeppings in wese 3D met die skeppingsproses wat reduktief van aard is. Tydens hierdie proses is die buitelyne van die motief uitgekrap om dan lynpetrogliewe te vorm, of harde klippe is gebruik om dit uit te skraap, of het as 'n pons gedien wat met 'n ander voorwerp gehamer is om gekepte petrogliewe te skep (Jalandoni & Tacon, 2018; Malan, 1965). Soms is meer as een metode ook gekombineer en die buitelyne van 'n kunswerk is eers uitgekrap, waarna kepies op die oppervlak binne hierdie omlyning verder uitgekrap is (Willcox, 1984; Parkington *et al.*, 2008).

Saam met die ontwikkeling van 3D-metodologieë hou sagtewarepakkette wat aan die verbruiker ingeboude opsies vir verbeterde visualisering van 'n 3D-model se oppervlak bied, 'n groter voordeel in. Voorbeelde van hierdie opsies sluit onder meer in die Minnaertrefleksiealgoritme en die sogenaamde *Radiance Scaling*-variante in *Meshlab* (Carrero-Pazos *et al.*, 2018; Gil-Docampo *et al.*, 2019).

Een van die oogmerke tydens argeologiese 3D-dokumentering is om soveel moontlik konteks- en (ten minste die onmiddellike) ruimtelike data van die objek vir navorsingsdoeleindes in die fotodatastel in te werk. Hierdie oogmerk impliseer 'n balans tussen die grootte van die area rondom die objek wat bykomend gedokumenteer word en om steeds genoeg op die objek ingefokus te wees om nie die kwaliteit van die fynere besonderhede in die eindproduk te verlaag nie. Toegepas op petrogliewe, moet vooraf bepaal word hoeveel van die omliggende rotstopografie relevant is vir die fotodatastel wat geskep wil word. Die dokumenteerder kan dan foto- of lasergrammetrietegnieke, of beide, op die bepaalde area toepas (Cassen *et al.*, 2014; Peña-Villasenin *et al.*, 2019). Die grootte van die area wat gedokumenteer word, staan in 'n regstreekse verhouding tot die hoeveelheid tyd wat in die veld gespandeer word om dit op te neem, asook die verwerkingstyd en lêergrootte van die verwerkte 3D-model. Gevolglik word dikwels slegs die onmiddellike area waarop die petrogliewe voorkom, gedokumenteer sonder om ag te slaan op die rotstopografie waarop dit geskep is (Martinez, 2001). Só 'n metodiese inkorting het tot gevolg dat die dokumentering van die konteks en onmiddellike ruimte rondom die petroglief(petrogliewe) uitge laat word en dus 'n leemte kan laat in die latere holistiese begripvorming van die geskepte 3D-data.

Dus, om die waarde van 'n 3D-modelleringsspylyn waar die petroglief(petrogliewe) tesame met die relevante omliggende rotstopografie in 3D geskep word te illustreer, is in hierdie studie van terrestriële fotogrammetrie en sagtewarepakkette wat gratis en oopbron is, gebruik gemaak. Hoewel lasergrammetrie ook 'n algemene 3D-dokumenteringstegniek vir petrogliewe is

(Alexander *et al.*, 2015; Wojcicki *et al.*, 2022), is op 'n fotogrammetriemetodiek besluit. Die redes sluit in (1) die kosteaspek daarvan en (2) die uitvoerbaarheid van die beoogde opname. Met slegs 'n kamera wat rondgedra en opgestel moet word, in teenstelling met 'n skandeerder, rekenaar en kragtoevoer wat met die gebruik van lasergrammetrie in die veld nodig is, is die proses vergemaklik en kostedoeltreffend gehou. In verskeie vergelykende studies is ook bevind dat fotogrammetrie beter resultate in die dokumentering van komplekse geometrieë lewer (Peña-Villasenin *et al.*, 2019; Gil-Docampo *et al.*, 2019). Pena-Villasenin *et al.* (2019) sê:

...with an extremely simple photogrammetry technique that is accessible to everyone and that has great performance in terms of execution and cost, results were obtained that improve on those obtained with terrestrial laser scanning for the documentation of a petroglyph with complex geometry.

Vir die doel van hierdie studie is twee rotspanele met petrogliewe wat op 'n erfenisterrein in die Schoonspruitvallei in die Klerksdorpdistrik in Suid-Afrika aangetref word, geïdentifiseer om as gevallestudie te dien. Die keuse van die rotspanele is gemaak na aanleiding van die afwyking in die patroonmatigheid van die data-analise, in die sin dat hierdie twee rotspanele addisionele rotstopografiese eienskappe getoon het wat van die "normale" patroonmatigheid verskil het. Die waarde van die resultate wat verkry is, is bepaal op grond van die addisionele navorsings-aspekte wat ontsluit word met betrekking tot begripsvorming van die kunstenaar se moontlike oogmerk met die skep van die betrokke petrogliewe.

Agtergrond van studie

Die betrokke gevallestudieterrrein is 'n verklaarde graad II-provinsiale erfenisterrein, geleë noord van Klerksdorp, in die Noordwes-provinsie van Suid-Afrika. Die petrogliewe op die terrein is verspreid oor 'n gebied van ongeveer 70 000 m², waarvan die grootste korpus gevind word op 'n heuwel met die hoogste punt wat nagenoeg 20 m bo die omliggende vlaktes uitstaan. Die rotskunswerke hier bestaan uitsluitlik uit petrogliewe, beide in lyn- en gekepte vorm (Boardman, 2022), wat waarskynlik deur die Khoi-San- inheemse volkere geskep is (Ouzman, 2001). 'n Aantal petrogliewe is duidelik met die blote oog sigbaar, terwyl die oorgrote meerderheid slegs waargeneem kan word as die vroegoggend- of laatmiddagson teen 'n lae hoek daaroor skyn. Die soek, vind en identifisering van die petrogliewe is 'n langsame en duur proses wat daarom groterdeels slegs moontlik is binne die tyd van hoër sigbaarheid, van ongeveer 'n halfuur ná sonsopkoms tot en met 11:00, en dan net voor sonsondergang. Daarbenewens is rotspanele ook bedek met jare se plantreste en natuurlike plantegroei soos doringstruik, veldgras en diere- en voëluitwerpsels.

In-persoon-identifisering van petrogliewe met relevante rotstopografie

Die eerste stap van die navorsingsproses is die identifisering van relevante rotspanele (Figuur 1 en 3). Alhoewel verskeie panele met petrogliewe op die terrein geïdentifiseer is met rotstopografie wat moontlik relevant kan wees tot navorsers se holistiese

begripsvorming van die kunstenaar se oogmerk, is daar vir hierdie studie twee panele gekies waar hulle in hul skeppings op 'n eiesoortige manier van die topografie van die betrokke rotse gebruik gemaak het.

Paneel 1

Met die eerste oogopslag lyk dit of die volledig gekepte petroglief op hierdie paneel slegs 'n alleenstaande eland is wat digby 'n natuurlike holte in die rots geskep is (Figuur 1).

Met verdere fisiese visuele bestudering het die moontlikheid ontstaan van 'n hipotese waar die kunstenaar doelbewus beoog het om die eland uit te beeld in 'n posisie wat hy by die "watergat" water drink, veral siende dat die holte met water sou vul wanneer dit reën (Figuur 2). In die San-kultuur is 'n watergat as 'n "poort" na die spirituele wêreld geag (Lewis-Williams *et al.*, 2000), terwyl die elandbul se konnotasie met water en die bonatuurlike maak en/of beheer van reën 'n algemene verskynsel in dié kultuur se rotskunswerke is (Stewart & Challis, 2023). Die hoeveelheid water wat dit neem om die holte te vul alvorens dit aan die onderkant ten opsigte van die oriëntasie van Figuur 2 begin uitloop, is ongeveer 650 ml.

Paneel 2

Opmerklik van hierdie rots in Paneel 2 is dat, hoewel daar ruimtelik verskeie opsies rondom die natuurlike holte in die rots beskikbaar was om die eland te skep, die uitbeelding wat uit gekepte buitelyne bestaan, spesifiek binne die holte gemaak is (Figuur 3).

Met oorweging van die moontlike hipoteses rondom die San-kultuur se assosiering van die eland met water/reën, is daar besluit om die holte met water te vul (Figuur 4). Die holte se volume was nagenoeg 200 ml water alvorens dit begin uitvloei het, eers met die eland se stert langs (regs op die foto) en toe verder af met die natuurlike kontoere van die rots saam tot waar dit op die grond uitloop.

In die San-kultuur is een van die mites met betrekking tot die eland dat die eerste eland in 'n watergat geskep is en ook daar geslaap het (Lewis-Williams, 2015). Die eland sou dan deur heuning en water wat in 'n holte in 'n klip gemeng is om hom te voer, uit sy slaapplek gelok word (Bleek, 1924). Tydens transdansen van die San word die "reëndier", wat onder meer 'n elandbul kan wees, denkbeeldig in 'n watergat gevang en weggelei na die plek waar reën benodig word, waar dit dan geslag word (Orpen, 1874; Lewis-Williams, 1981; Lewis-Williams & Pearce, 2004).

Sou die panele in Figuur 1 en 3 nie persoonlik besoek en bestudeer gewees het nie, is dit onwaarskynlik dat 'n persoon slegs uit die 2D-foto's 'n hipotese sou kon vorm dat die rotstopografie moontlik deel van die kunstenaar se uitbeeldingsoogmerk kon uitmaak.

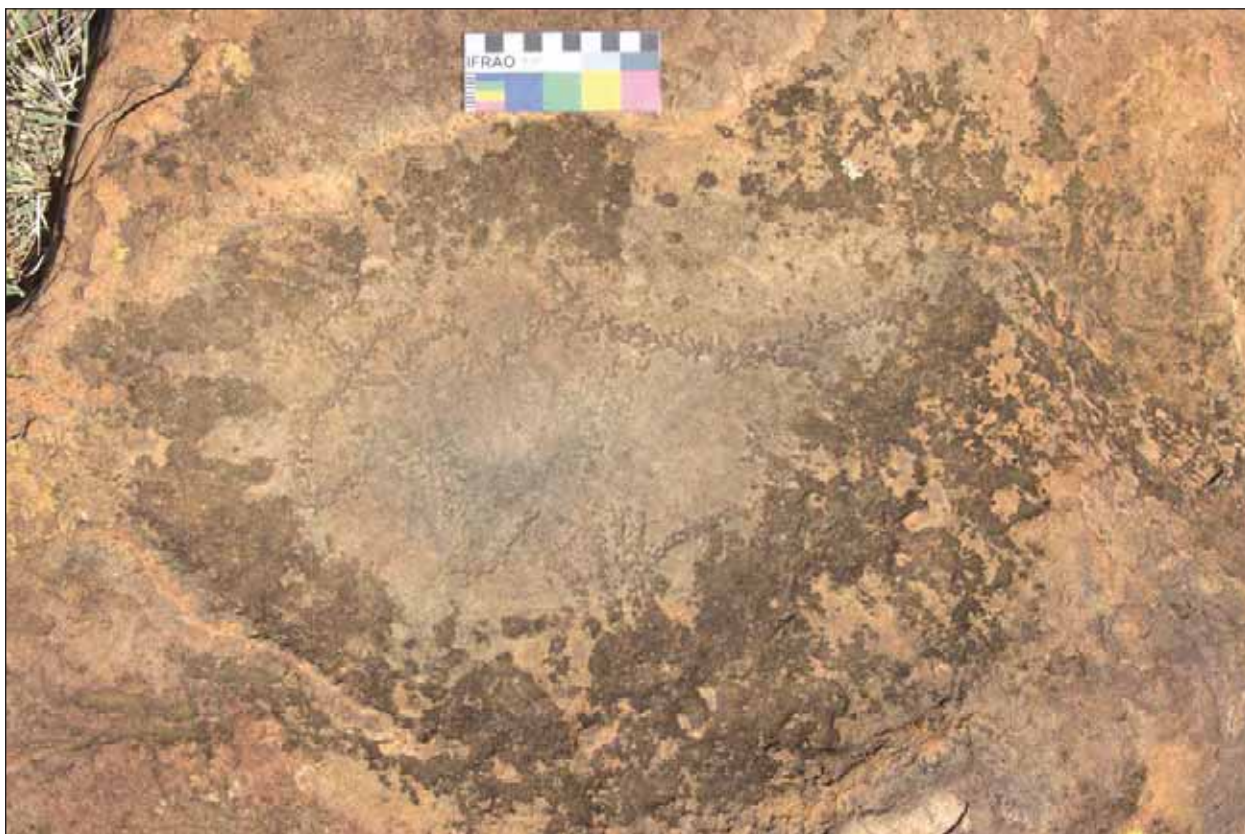
Hoewel data-insameling en navorsing steeds aktief op die rotskunsterrein deur die outeurs van hierdie artikel gedoen word (Boardman *et al.*, 2024), het die betrokke studie se



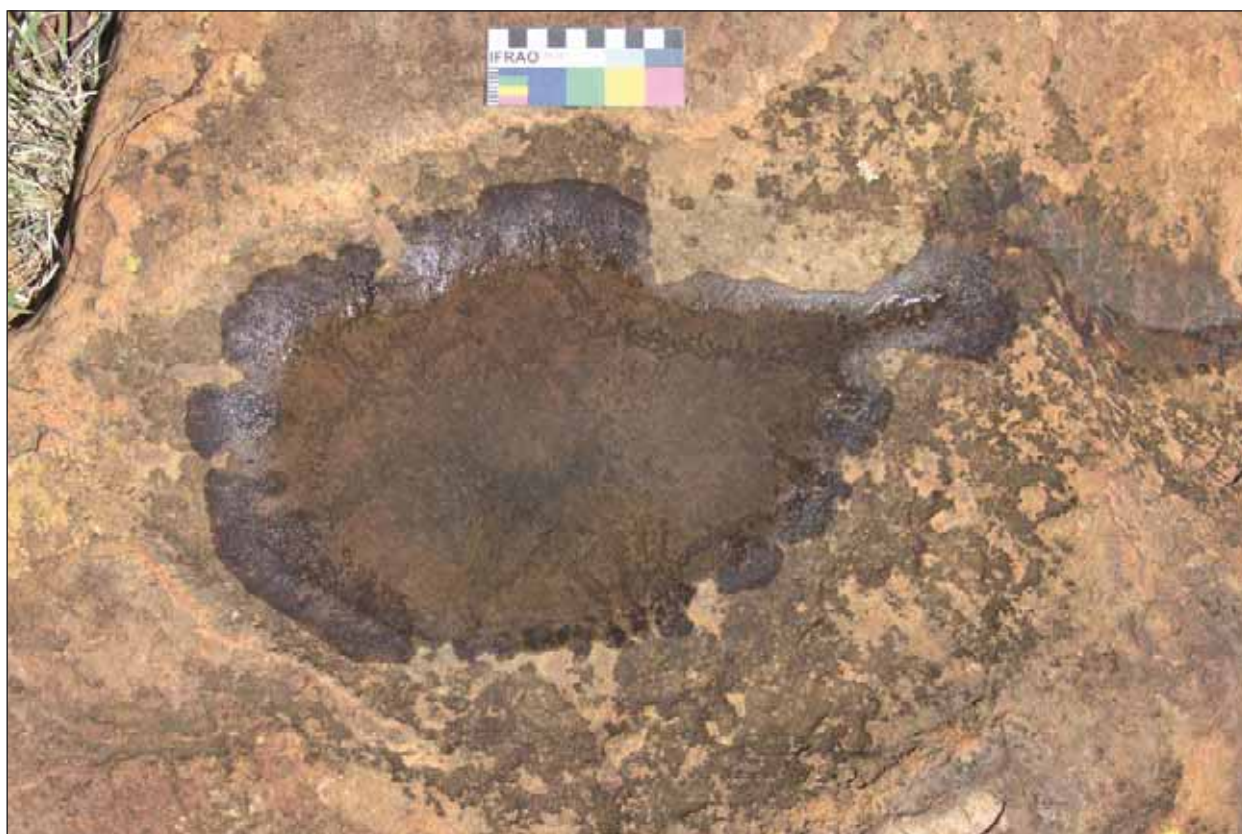
Figuur 1: Paneel 1 met 'n eland-uitbeelding regs bo van die natuurlike holte in die rotsoppervlak



Figuur 2: Paneel 1 – Die natuurlike holte gevul met water



Figuur 3: Paneel 2 – 'n Petroglief van 'n eland geskep in 'n natuurlik holte in die rotsoppervlak



Figuur 4: Paneel 2 – Die holte met die petroglief van die eland, gevul met water

3D-modelleringspylyn (soos uiteengesit in Figuur 5) 'n onderdeel uitmaak van 'n spesifieke projek wat geloods is met die oogmerk om die petrogliewe op die terrein volledig te dokumenteer en 3D-modelle daarvan te skep vir bewarings- en navorsingsdoeleindes.

Metodologie

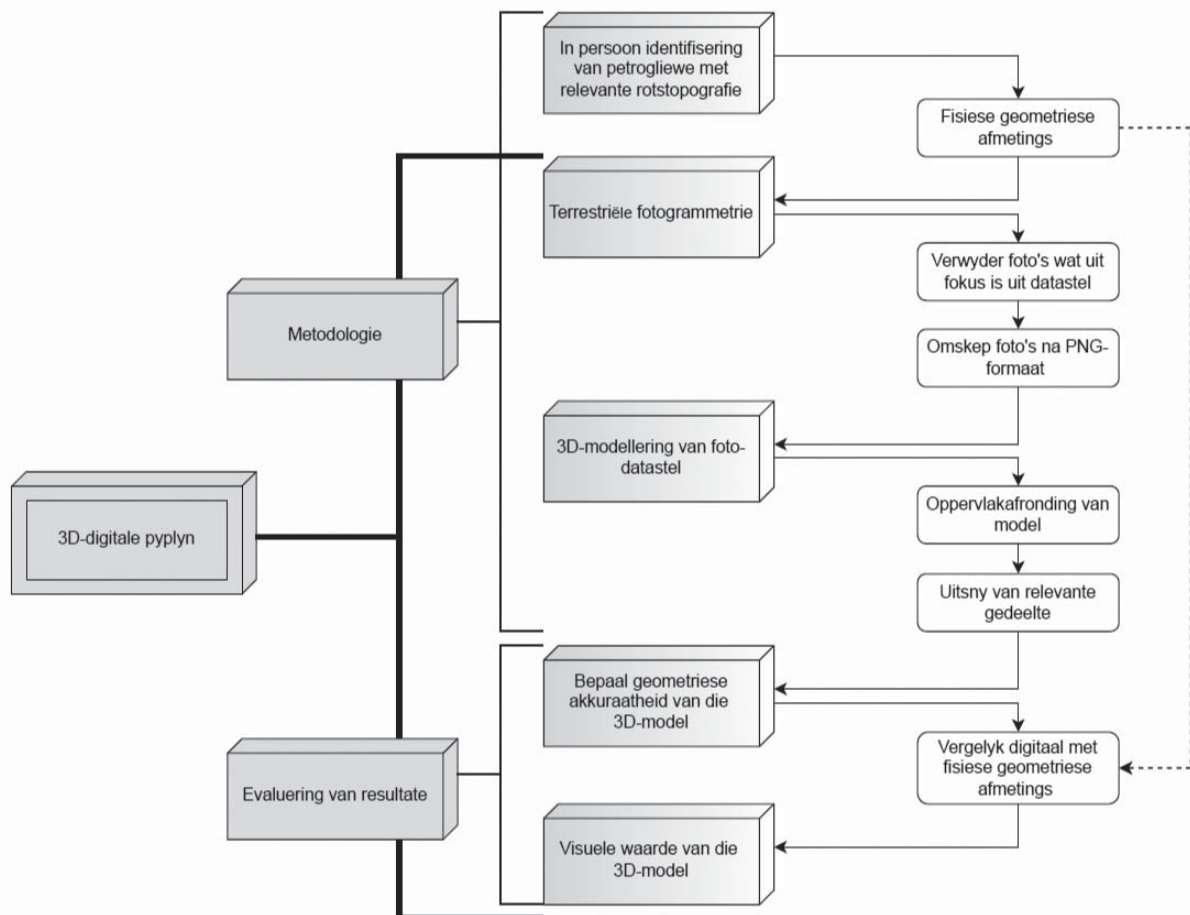
Nadat die relevante rotspanele gekies is, is met die eerste stap in die 3D-modelleringspylyn begin, naamlik terrestriële fotogrammetrie (TF).

Terrestriële fotogrammetrie

Vir TF is 'n draagbare DELR-kamera (digitale enkellensrefleks-kamera), die Nikon EOS 90D met 'n EF 18-135 IS USM-lens, gebruik. Die beginsel waarvolgens hierdie dokumenteringstegniek uitgevoer is, is reeds in besonderhede in verkeie publikasies beskryf (Boardman, 2022; Lesvignes *et al.*, 2019; George *et al.*, 2017). Iets spesifiek daarvan wat op hierdie studie van toepassing is, is dat die stellings van die sluiterspoed (tydsmeting van hoeveel lig deur die sluiterspoed deurgelaat word), f-stop (grootte van die lensopening) en ISO (ligsensitiwiteit van die sensor), oorgelaat is aan die kamera se sagteware om by wyse van algoritmes die beste verhouding tussen die verstellings te bepaal. Hoewel die petrogliewe in die reël meer sigbaar is in die vroeë oggend- of laatmiddagson, kon daar in hierdie geval egter ook nie gedurende hierdie bepaalde tydgleuwe foto's

geneem word nie. Die rede hiervoor was dat die lae hoek van die sonlig nie net skaduwees van nabygeleë plantegroei oor die panele gewerp het nie, maar ook dat die ongelike rotstopografie tot skaduwees oor gedeeltes van die panele gelei het. Dus kon fotogrammetrie slegs plaasvind in die tydgleuf tussen laatoggend en vroeëmiddag.

Voorts moes die TF ook twee maal op beide panele toegepas word om data van die gewenste kwaliteit te verkry. Met die uitvoer van die eerste TF op Paneel 1 het die wind deurgaans takkies en los gras in die water in die holte gewaai. Met die beweging van die water wat deur die wind teweeggebring is, het die takkies en gras daarin deurgaans van posisie verander. Om optimale resultate met fotogrammetrie te verkry, is dit belangrik dat die objek wat gefotografeer word gedurende die proses in 'n stilstande posisie moet wees. Die kamera is die bewegende objek, wat ook nie nodig is om op 'n driepootstaander monteer te word nie. Die rede hiervoor is dat die montering vir elke foto te lank sal neem met inagnome van die hoeveelheid foto's wat per paneel geneem word; en ook dat dit nie moontlik is om so 'n staander op baie lae grade bo die grondoppervlak op te stel nie (wat nodig is met die uitvoering van TF in 'n natuurlike omgewing). Verder is die fotogrammetriesagteware wat die verwerking van die fotodata hanteer só ontwikkel dat dit matige distorsie in die foto's kan hanteer sodat dit nie 'n nadelige uitwerking op die eindproduk het nie.



Figuur 5: 3D-modelleringspylyn van die studie

Met die terugkeer na die terrein vir 'n tweede fotosessie, was dit 'n windstil dag en kon 70 foto's suksesvol geneem word. Met Paneel 2 is 'n "toets-TF" eers gedoen om die resultate te bestudeer alvorens 'n volledige TF-proses uitgevoer is. Só 'n "toets-TF" behels 'n kleiner hoeveelheid foto's wat geneem word vanuit verskillende hoeke en hoogtes. Die kwaliteit van die fotodatastel is nie die oogmerk nie, maar dis eerder om relevante data in te samel om te bepaal of daar wel 'n wesenlike moontlikheid bestaan van die hipotese wat in die veld gevorm is. Na afloop van verwerking van die "toets-TF" is besluit om ook 'n volledige TF op Paneel 2 te doen.

Met die tweede TF van beide panele is 'n totaal van 70 foto's van elk vanuit verskillende hoeke rondom die panele en op vier verskillende hoogtevlakke geneem, wat by wyse van 'n digitale gradeboog (Figuur 6) bepaal is.

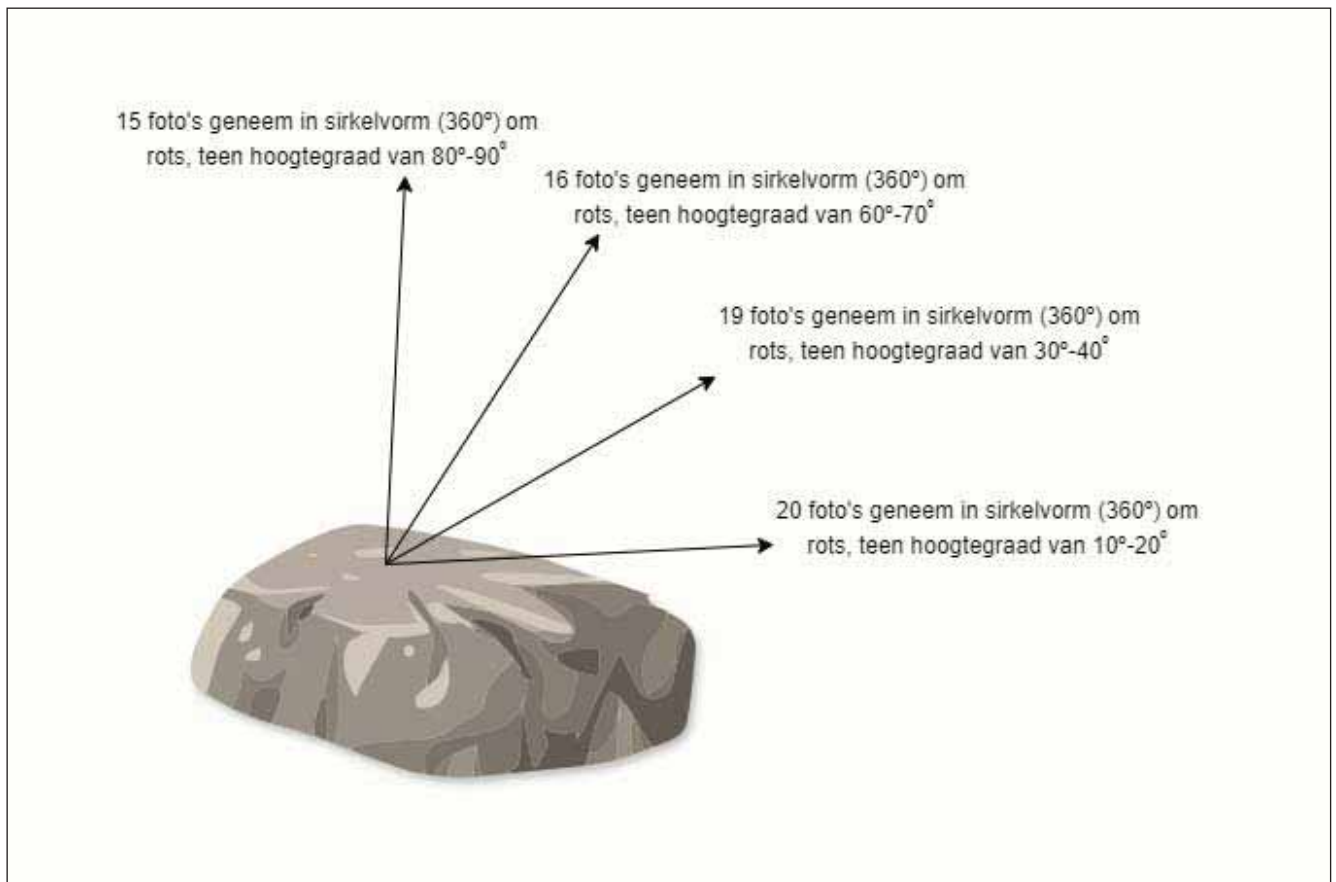
Hoewel 'n groter aantal foto's die potensiaal bied om meer besonderhede van die paneel te toon, beteken dit ook groter datastelle wat verwerk en gestoor word (tyd en stoorruimte wat oorweeg moet word). Daarom moet gepoog word om 'n goue middeveg te vind ten opsigte van die hoeveelheid foto's wat geneem word teenoor die maksimum oppervlakbesonderhede wat met die sensor van 'n kamera verkry kan word.

Geometriese afmetings

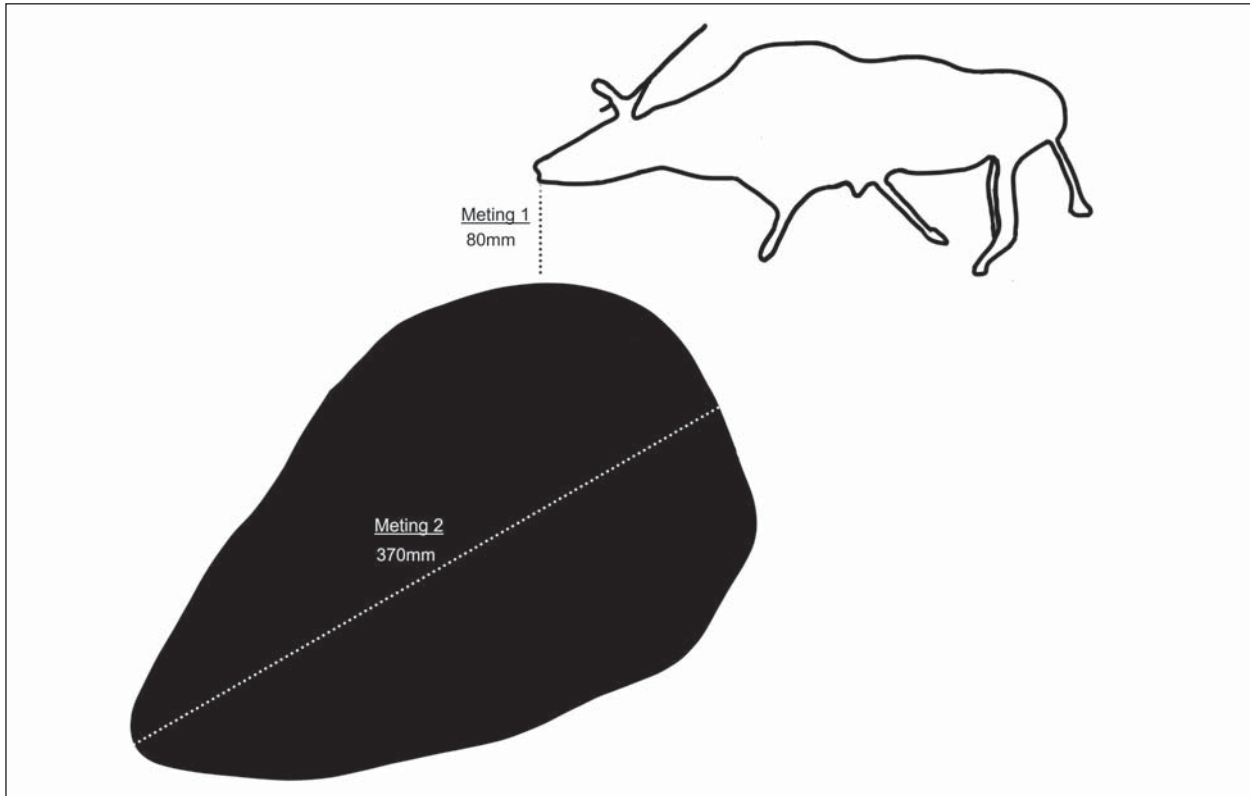
Om die afmetings in die veld te neem om gevolglik die akkuraatheid van die 3D-modelle te bepaal nadat die fotodatastelle verwerk is, is 'n maatband gebruik. Vir die onderskeie afmetings moes areas op die panele geïdentifiseer word wat digitaal maklik herkenbaar is en waarvan die afstande se begin- en eindpunte duidelik bepaal kon word sodat daar sekerheid kon bestaan dat die fisiese en digitale afmetings dieselfde is.

Vir Paneel 1 is *Meting 1* (80 mm) geneem vanaf die onderkant van die eland se bek, op die verste punt daarvan, tot die naaste punt aan die water. *Meting 2* (370 mm) is diagonaal geneem beginnende links onder, op die verste punt van die water, teen 'n 45°-hoek tot waar die wateroppervlak die rots aan die teenoorgestelde kant ontmoet (Figuur 7).

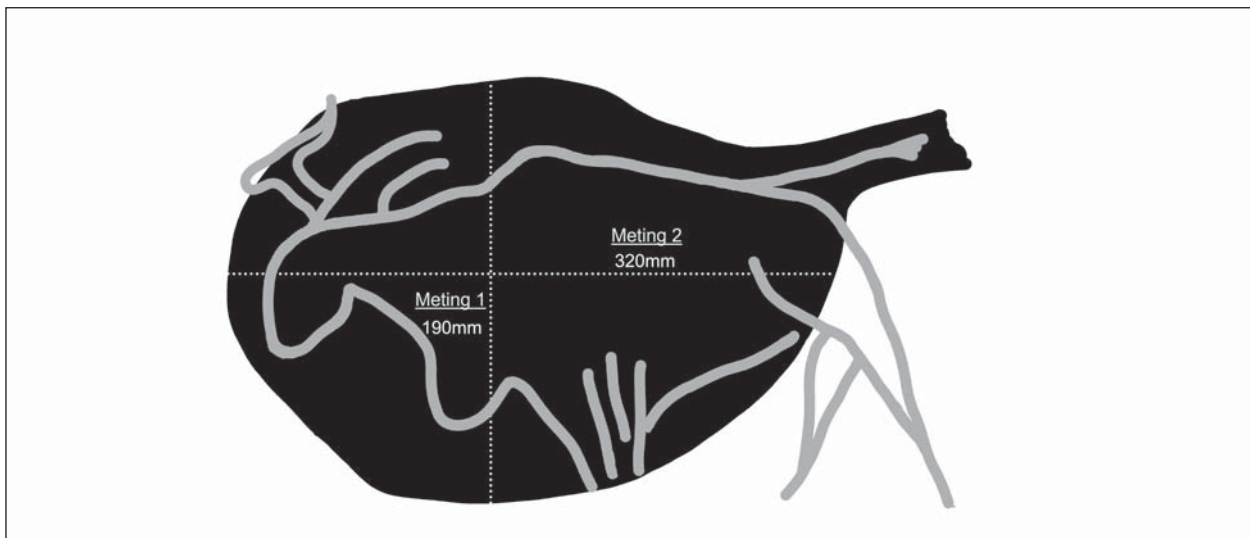
Aangesien Paneel 2 se rotstopografie so ongelyk is, is daar besluit om slegs die mates van die water in die natuurlike holte te neem. *Meting 1* (190 mm) is daarom van bo na onder ten opsigte van die oriëntasie van die petroglief in Figuur 8 geneem, terwyl *Meting 2* (320 mm) horisontaal van links na regs geneem is. Verskillende kleurpatrone wat natuurlik op die rots voorkom, het as merkers vir die bepaling van spesifieke begin- en eindpunte van die afmetings gedien.



Figuur 6: Terrestriële fotogrammetrie (TF) van die onderskeie panele



Figuur 7: Afmetings geneem van Paneel 1 (Figuur 3 is as basis gebruik vir die digitale natrektekening)



Figuur 8: Afmetings geneem van Paneel 2 (Figuur 5 is as basis gebruik vir die digitale natrektekening)

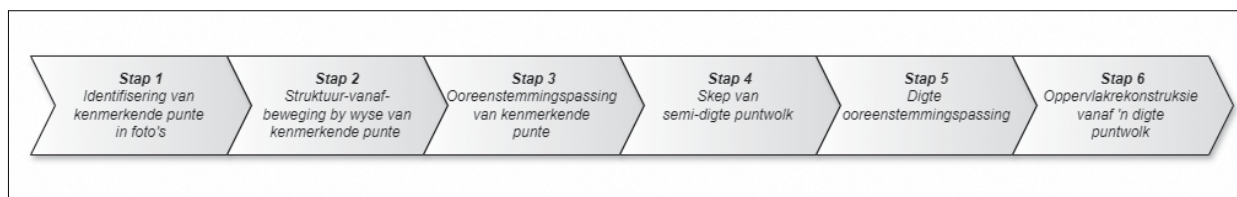
3D-modellering van fotodastel

Na afloop van die veldwerk is die foto's deurgegaan en is dié wat nie duidelik in fokus was nie uit die fotodastelle verwyder. Gevolglik het 62 foto's goeie gehalte van Paneel 1 oorgebly, en 64 van Paneel 2. Hierdie hoeveelheid foto's was voldoende, in ag genome die besonderhede van die panele wat daardeur verkry is.

Met TF is die foto's in RAW-formaat geneem en is dit daarom na PNG-formaat omgeskakel, aangesien die sagteware slegs data

in JPG- of PNG-formaat met die skep van 'n 3D-model kan verwerk.

Colmap 3.9 is die fotogrammetriese sagtewarepakket en weergawe wat vir die 3D-modellering van die twee panele gekies is. Dis 'n gratis en oopbron sagtewarebiblioteek wat 'n verskeidenheid van funksies bied vir die rekonstruksie van gerangskikte sowel as ongerangskikte foto's (Colmap, 2020). Verskeie studies het getoon dat die resultate wat met *Colmap* verkry word, soortgelyk is aan ander fotogrammetriese sagtewarepakkette en in sommige gevalle selfs beter resultate lewer



Figuur 9: Vloei-diagram van 3D-modellering nadat 'n stel foto's ingevoer is

(Boardman & De Klerk, 2022; Bianco *et al.*, 2018). In Figuur 9 word die stappe aangedui wat só 'n sagtewarepakket tydens modellering volg.

Stap 1: Identifisering van kenmerkende punte in foto's

'n Stel kenmerkende punte word deur die sagteware in die onderskeie foto's binne die datastel van die paneel geïdentifiseer. Die identifisering hiervan verminder dan ook die aantal punte wat later deur *Colmap* tydens ooreenstemmingspassing in Stap 3 vergelyk moet word (Maiti & Chakravarty, 2016). Die *SIFT* (*Scale-Invariant Feature Transform*-) algoritme word vir hierdie identifisering van die kenmerkende punte op die foto's gebruik. *SIFT* kan kenmerke identifiseer en bymekaar pas ten spyte van wisseling in skaal en oriëntering van die onderskeie foto's. Hierdie stap kan 'n kragtige rekenaar vereis en ook heelwat tyd in beslag neem omrede al die foto's in die datastel met mekaar vergelyk moet word. Hierbenewens neem die aantal vergelykings wat uitgevoer word eksponensieel toe met elke foto wat bygevoeg word (McCarthy, 2014).

Stap 2: Struktuur-vanaf-beweging (*structure-from-motion*) by wyse van kenmerkende punte

Struktuur-vanaf-beweging is 'n iteratiewe proses waartydens die 3D-posisies van die ooreenstemmingspassingpunte saam met die parameters van die kamera vanaf 'n stel gepaste punte in 'n fotodatastel bereken word. Die sukses van hierdie proses word bepaal tydens die skep van die semidigte puntwolk (*point cloud*) in Stap 4.

Stap 3: Ooreenstemmingspassing van kenmerkende punte

Die eerste funksie in die struktuur-vanaf-beweging-proses is om die ooreenstemmingspassings vir die *SIFT*-geïdentifiseerde punte in die volledige fotodatastel te bepaal. Hier word 'n benaderde-naaste-bure-soektoeg toegepas om vas te stel watter punte pas, en die 3D-kd-boom-datastruktuur word dan gebruik om die ooreenstemmingspassing te implementeer.

Die proses om die kenmerke bymekaar te pas, is soos volg:

1. 'n Fotopaar wat 'n oorvleuelende gedeelte van die paneel tussen hulle het, word uit die fotodatastel gekies.
2. Al die kenmerkende punte van een van hierdie foto's word in die blare van die kd-boom ingevoer. Die punte in die tweede foto van die paar word dan gebruik as basis om met die eerste foto se punte te vergelyk.
3. Vervolgens word die kd-boom gebruik om die K-naaste-bure aan 'n kenmerkende punt vas te stel. Die drempelafstand word bepaal na aanleiding van die resoluusie van die foto.

4. Hierdie sifting deur die blare van die kd-boom lei tot die ooreenstemmingspassing van die kenmerkende punte in die fotopaar.
5. Die akkuraatheid van die gepaste punte word dan getoets met behulp van die *RANSAC*-gebaseerde raming van die fundamentele matriks. Die gepaste punte wat nie aan die fundamentele matriksvergelyking voldoen nie, word as wanpassings verwerp. (Maiti & Chakravarty, 2016)

Stap 4: Skep van semidigte puntwolk

Nadat die onderskeie gepaste punte van die volledige fotodatastel geïdentifiseer is, word alle stellinge gepaste punte daarbinne getrianguleer om die 3D-posisie van die punte in die objek te verkry. Hierdie triangulasieproses bou 'n 3D-puntwolk in die ruimte waar elke punt deel uitmaak van 'n komponent van die objek wat gerekonstrueer word. Die uitvoer daarvan geskied met behulp van die bondelaanpassingsmetode.

Bondelaanpassing word gebruik om getrianguleerde 3D-punte in 'n iteratiewe benadering by te voeg en te verfyn deur die raming van die oriëntasies van die kamera en relatiewe beweging tussen die fotorame. Tydens hierdie proses word 'n kostefunksie toegepas om die herprojekteringsfout tussen die 3D-punt wat deur struktuur-vanaf-beweging getrianguleer is en die waargenome ligging van die 3D-punt te minimaliseer.

Nadat 'n 3D-punt van 'n ooreenstemmende puntepaar getrianguleer is, word verskeie ander foto's met dieselfde stellinge ooreenstemmende punte by die stelsel gevoeg. Al die gepaste punte word iteratief by die triangulering gevoeg. Die fout wat deur triangulering gepropageer word, word geminimaliseer namate meer gepaste punte gebruik word om 'n 3D-punt te trianguleer (Maiti & Chakravarty, 2016).

Stap 5: Digte ooreenstemmingspassing

'n Semidigte puntwolk wat by wyse van struktuur-vanaf-beweging geskep word, bevat slegs die 3D-koördinate van die *SIFT*-geïdentifiseerde kenmerkende punte. Die gevormde puntwolk se digtheid is dus laag en nie geskik vir rekonstruksie nie, aangesien dit nie die fyner besonderhede van die objek wat gerekonstrueer word, bevat nie. Daarom is digte ooreenstemmingspassing nodig om 'n digte puntwolk te vorm (Maiti & Chakravarty, 2016).

Hoewel interpolasie van die semidigte puntwolk gebruik kan word om 'n digte puntwolk te bou, gaan verskeie fyner besonderhede van die objek tydens die proses verlore, en ook kan die geometrie van die objek nie presies deur inter-

polasiemetodes behou word nie. In digte ooreenstemmingspassing word alle punte in die foto's heranaliseer vir ooreenstemmende punte oor die hele fotodastel heen (McCarthy, 2014; Maiti & Chakravarty, 2016). Hierdie digte ooreenstemmingspassingproses, soos beskryf deur Alcantarilla *et al.* (2013), skep 'n digte 3D-puntwolk uit groot fotodastelle wat die geometrie van die objek wat rekonstrueer word, akkuraat weergee.

Stap 6: Oppervlakrekonstruksie vanaf 'n digte puntwolk

Hierdie stap behels die interpolering van die puntwolk na 'n aaneenlopende oppervlak, bekend as 'n 3D-maas (*mesh*) met tekstuur wat van die bronfoto's afkomstig is (McCarthy, 2014). Vir hierdie oppervlakrekonstruksie bied *Colmap* 'n keuse tussen óf die *Delaunay*-algoritme óf die *Poisson*-algoritme vir triangulasie (Fisher *et al.*, 2021; ProgrammerSought, 2024). *Poisson*oppervlakrekonstruksie bied in die reël 'n gladder resultaat as die *Delaunay*-triangulasie vanweë die groter getal punte wat in die oppervlakdata van eersgenoemde vervat is (Kazhdan *et al.*, 2006). Om hierdie rede is die *Poisson*-algoritme vir die studie gekies. *Poisson* skep 'n 3D-maas vanaf 'n digte puntwolk deur die verskil tussen die normale rigtings van die gerekonstrueerde oppervlak en die 3D-punte in die puntwolk te minimaliseer. Hierdie algoritme word in meer besonderhede beskryf in Kazhdan *et al.* (2006). Daar word dan ook na hierdie geskepte 3D-maas verwys as 'n "3D-model".

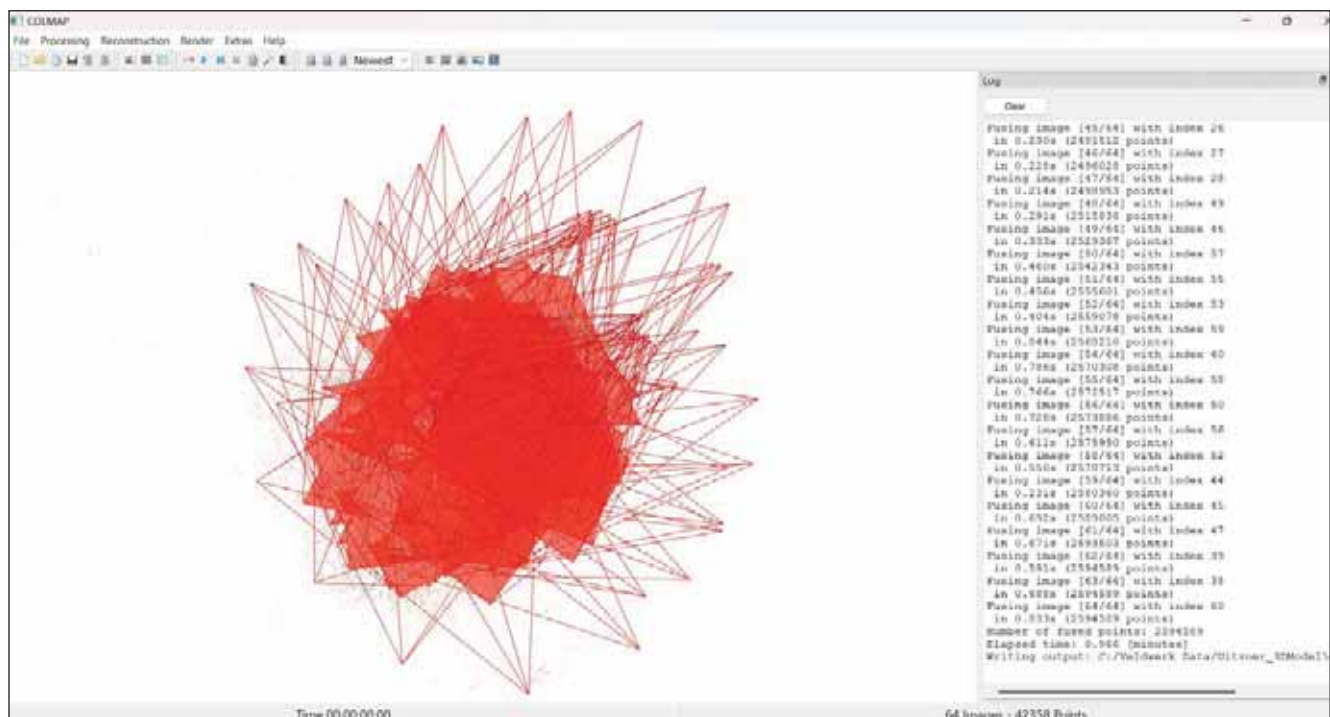
Vir die verwerkingstappe van die fotodastelle in die studie is 'n skootrekenaar gebruik met *Intel® Core(TM) i7-14650HX CPU (2.20GHz)*, met *64 Gb ETG (Engels RAM)* en 'n *NVIDIA GeForce RTX 4050* grafiese kaart. Die panele se fotodastelle het onderskeidelik 65 minute (Paneel 1) en 55 minute (Paneel 2) geneem om deur die ses stappe te werk en 'n 3D-model te lewer.

In Figuur 10 kan die eindresultaat van *Colmap* se verwerking van Paneel 2 gesien word. Die hoeke waaruit die foto's geneem is, asook die areas wat deur die onderskeie foto's gedek is, word hierin aangetoon. Ook word in die sagteware se opsomming, regs onder in die venster, aangedui dat 42 358 ooreenstemmende punte in die 64 ingevoerde foto's geïdentifiseer is. Die geskepte 3D-model en metadata is uitgevoer en in die vooraf aangeduide uitvoerlêer gestoor.

Die uitvoerformaat van *Colmap* is die *PLY*-poligoonlêerformaat wat algemeen gebruik word sedert die bekendstelling daarvan in die middel 1990s. Die formaat is aanvanklik hoofsaaklik toegepas in die uitvoer en stoor van 3D-modelle van artefakte nadat dit geskandeer is (Library of Congress, 2020).

Hierna is die twee panele se 3D-modelle om die beurt in *Meshlab*, 'n gratis en oopbron sagtewaresuite vir die verwerking en redigering van 3D-modelle, ingevoer. Wanneer lig (natuurlike lig in hierdie geval) tydens fotogrammetrie vanaf die rotsoppervlakte weerkaats, kan dit daartoe lei dat die finale 3D-model se oppervlakte 'n karteleffek toon. In *Meshlab* is die *Laplacian Smooth*-filtreerder gebruik om beide panele se oppervlakte meer egalig te maak om hierdie karteleffek in die modelle teen te werk en sodoende so na as moontlik aan 'n lewensgetroue oppervlakrekonstruksie te kom (Hedman, 2016).

In die laaste fase van verwerking en afronding van die 3D-modelle is elke paneel in *Blender* ingevoer om die relevante gedeelte van die model netjies uit te sny. *Blender*, weereens gratis en oopbronsagteware, is 'n 3D-skeppingsuiting wat ondersteuning bied vir 'n totale 3D-modelleringsspylyn. Dit sluit funksies soos modellering en die redigering van elemente



Figuur 10: Paneel 2 se verwerking in *Colmap*

in 3D-modelle in (Blender Institute, 2024). Die doel van hierdie stap is tweërlei van aard, naamlik dat die model:

- i) Minder spasie opneem met die stoor daarvan; en
- ii) bestudeer kan word sonder die ongewenste data, soos plantegroei en oormatige ruimtes rondom die relevante paneel, wat onvermydelik ingesluit word tydens die bou van die model.

Evaluering van resultate en bespreking

Vir optimale potensiaal in begripsvorming by wyse van 'n 3D-verteenvoording is dit noodsaaklik dat die kwaliteit van die geskepte model voldoende is en die geometriese oppervlak so akkuraat moontlik aangebied word. Die taksonomie van faktore wat 'n rol speel hierin, is:

- Toerusting (soos kwaliteit van kamera se sensor).
- Tipe oppervlak ('n baie donker/lichte oppervlak weerkaats skerp, direkte sonlig) en topografie van die rots (met 'n hoë mate van ongelykheid moet seker gemaak word dat elke gedeelte van die oppervlak opgeneem word).
- Omgewingsfaktore (natuurlike beligting, plantegroei, ens).
- Menslike faktore (vaardigheid in dokumentering en verwerking).
- 3D-modelleringsagteware (daar is 'n verskeidenheid wat almal resultate van hoë gehalte lewer om van te kies).

Hoewel skaduwees van die plantegroei en die hoek van die vroeë oggendson se lig oor die panele problematies was, kon dit maklik oorkom word met beplande tydsbestuur en het dit daarom nie 'n invloed gehad op die kwaliteit van die eindproduk (3D-model) nie. 'n Groter uitdaging was die bewegende takkies en los gras in die water in die holte van Paneel 1, waarna dit vir 'n tweede maal gefotografeer moes word op 'n tydstip toe die wind nie so sterk gewaai het nie. Uiteindelik was daar dus geen impakdraende faktore wat die kwaliteit of akkuraatheid van die finale 3D-paneel nadelig beïnvloed het nie.

Om 'n standaard te bereik om die kwaliteit van so 'n geskepte 3D-model te bepaal, is in ag geneem dat verskeie dokumenteringsprojekte van petrogliewe getoon het dat die minimum getal poligone (driehoek) wat in 'n triangulasienetwerk van 'n 3D-model nodig is vir voldoende oppervlakanalise, ten minste 2 000/cm² is. In sommige gevalle waar die petrogliewe baie vlak is of reeds in 'n groot mate verdof het, kan hierdie vereiste minimum getal poligone vermeerder tot 5 000/cm². Daar is

gevind dat 'n verhoging bó hierdie getal poligone in die reël nie 'n verbetering in die resoluasie van die model meebring nie, omrede die kamera se vermoë om fyn besonderhede op te neem, bereik is (Devlet *et al.*, 2018). In Paneel 1 was daar dus 3 067 poligone per 1 cm², terwyl Paneel 2 saamgestel is uit 4 566 poligone per 1 cm².

Om andersyds die akkuraatheid van die konstruksie van die 3D-modelle te bereken, moes die digitale skaal van die panele eers bepaal word:

$$\text{Skaalfaktor} = \frac{\text{Digitale meting (Meting 1)}}{\text{Fisiese meting (Meting 1)}}$$

Vir hierdie doel is *Meting 1* van elke model as die kontrole gebruik om die skaalfaktor te bepaal, waarna die gemiddelde afwyking (akkuraatheid) by wyse van *Meting 2* bereken kon word (Tabel 1).

$$\text{Gemiddelde afwyking (\%)} = \frac{\text{Digitale meting (Meting 2) / Skaalfaktor}}{\text{Fisiese meting (Meting 2)}}$$

Uit Tabel 1 kan afgelei word dat die persentasie gemiddelde afwyking baie laag is (1,1%-1,3%) en dus ideaal is vir oppervlakanalise en begripsvorming². Kennis moet wel geneem word dat die gemiddelde afwyking groter kan wees na gelang daar verder van die kontrolemeting wegbeweeg word, wat binne die fotograaf se fokusarea van die paneel gedoen is. Die rede hiervoor is dat die hoeveelheid kenmerkende punte in die fotodataset in die reël afneem hoe verder daar van die fokuspunt wegbeweeg word, siende dat minder van die area in die geneemde foto's gedek word. Die persentasie afwyking wat in só 'n geval van toepassing sal wees, wissel na aanleiding van die hoeveelheid kenmerkende punte wat *Colmap* in die fotodataset verder van die fokuspunt af identifiseer (kyk **Stap 1: Identifisering van kenmerkende punte in foto's**). Aangesien die gefotografeerde area van hierdie twee panele nie groot is nie en hoofsaaklik rondom die verlangde fokusareas gesentreer is (kyk Figuur 7 en 8), is dit onwaarskynlik dat die afwyking drasties op enige gegewe punt daarvan sal verhoog.

Die vergelykende resultate van die 3D-modelle van Paneel 1 en Paneel 2 word soos volg in Figuur 11 geïllustreer:

Tabel 1: Berekening van skaalfaktor en afwyking in die digitale panele

	<i>Meting 1</i> (kontrole)			<i>Meting 2</i> (na skaal-aanpassing)		Gemiddelde afwyking
	Fisies	Digitaal	Skaalfaktor	Fisies	Digitaal	
Paneel 1	80 mm	452 mm	1 : 5,7	370 mm	375 mm	1,1%
Paneel 2	190 mm	1 294 mm	1 : 6,8	320 mm	324 mm	1,3%

2. In hierdie studie is die persentasie gemiddelde afwyking vir slegs twee rotspaneel bereken. Daar kan verwag word dat die persentasie sal varieer wanneer dit op ander rotspaneel toegepas word, na gelang van die getal en kwaliteit van die foto's wat geneem is, asook die akkuraatheid van die gekose fotogrammetriese sagtewarepakket wat die verwerking van die data hanteer.

In Figuur 11 kan waargeneem word dat daar 'n parallele verband is tussen die verhoging in kwaliteit (getal poligone) van 'n 3D-model en die grootte van die model in megagrepe (mb). Dit blyk dat die persentasie afwyking onafhanklik van die ander twee elemente fluktureer.

Die visualisering van die eindresultaat van beide panele in 3D is in *Blender* ingevoer en bestudeer by wyse van funksionaliteite wat reeds in hierdie sagteware beskikbaar is, naamlik:

- 'n Model wat in enige rigting 360° roteer kan word.
- In- en uitsoem op 'n model.
- Virtuele beligting wat uit verskeie hoeke oor die model gewerp kan word.
- Die opsie om tussen verskillende oppervlaktebeeldings soos spekulêr, mat en dan ook sônder tekstuur wat oor die model gedrapeer is te wissel.

Die toepassing van hierdie funksionaliteite op die panele het die volgende resultate opgelewer:

Paneel 1

Met die virtuele beligting in *Blender* en rotering van die model kan die rotstopografie van die paneel baie duidelik waargeneem word (Figuur 12). Die elandpetroglief se morfologie is ook meer identifiseerbaar as op die 2D-foto's (Figuur 2 en 3).

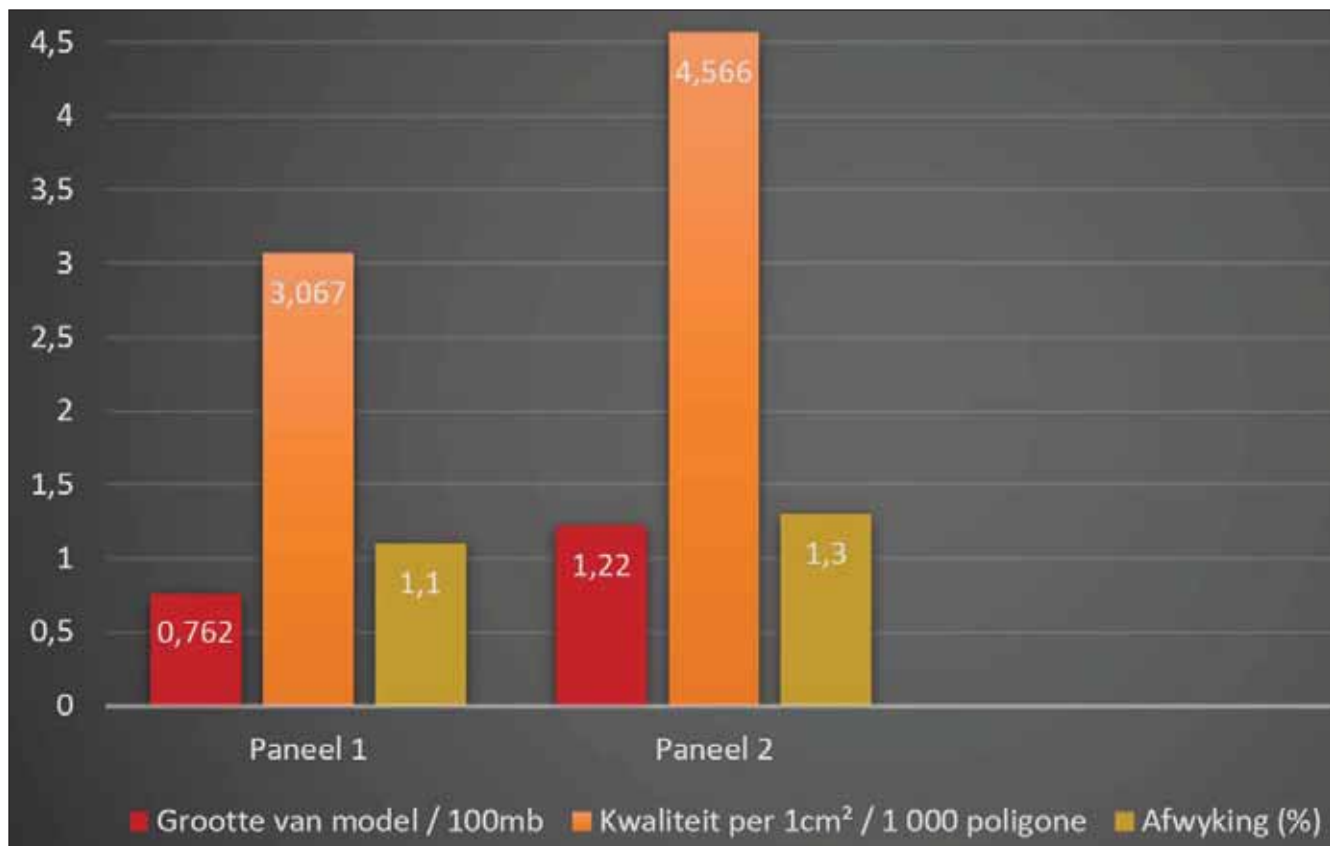
Met verdere rotasieproefnemings, virtuele beligting en met die tekstuur (kleur) afgeskakel, was die wyse waarop die kunstenaar die eland se kop pertinent oor die rand, nader aan die "watergat"

gegraveer het, opvallend (Figuur 13). Hoewel dit reeds 'n groter uitdaging moes wees om oor die ongelyke rotstopografie die eland proporsioneel korrek uit te beeld, het die kunstenaar spesifiek gepoog om te toon dat die dier se kop geboë is tot naby aan die "watergat", om sodoende 'n drinkende posisie voor te stel. Vir dié doel moes die kunstenaar die kop gedeeltelik oor 'n helling graveer.

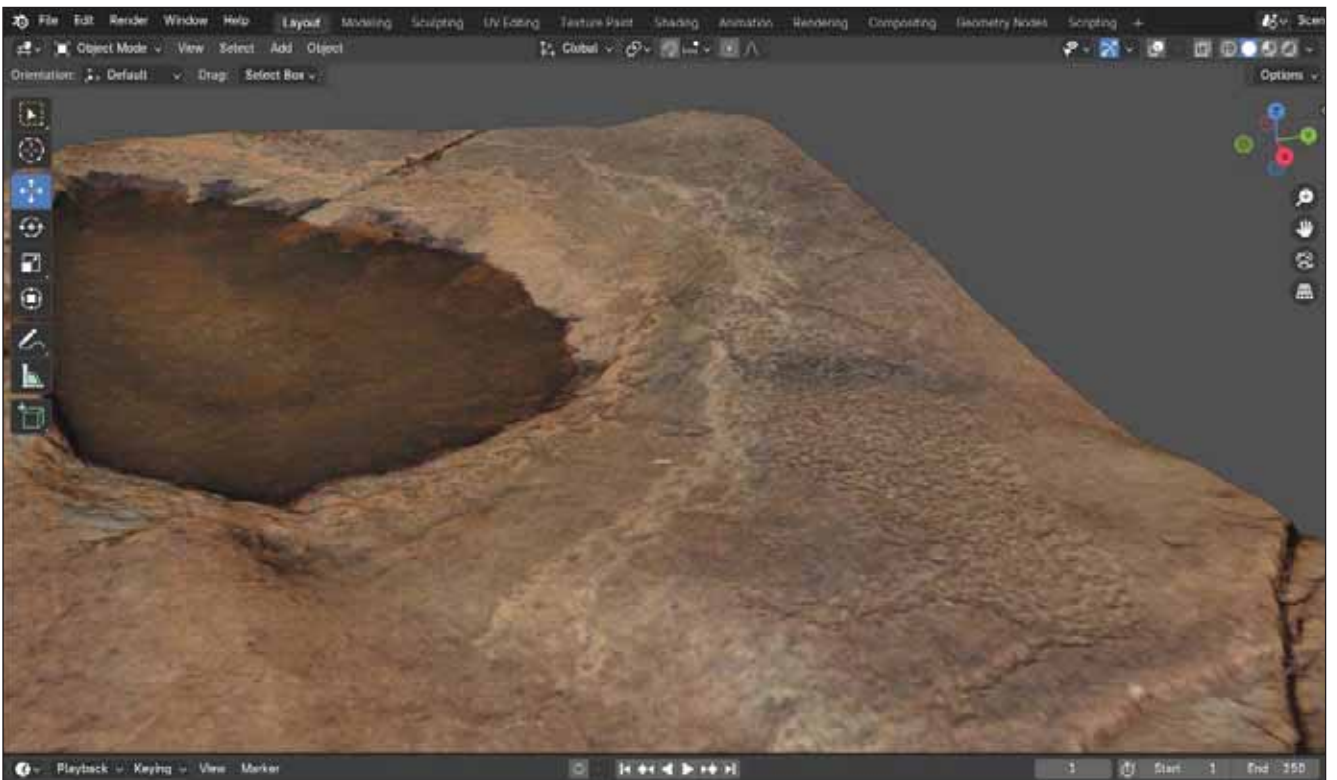
In Figuur 1 en 2 is slegs die platvlakgeometrie, lengte en breedte van die paneel sigbaar vir bestudering. Die moontlike begrip van die topografiese konteks van die petroglief op die paneel is uiters beperk en bemoeilik die navorsers en leser se vorming van hipoteses rakende die moontlike betekenis van die "toneel". Sou die petroglief in so 'n geval in isolasie bestudeer word, is daar nie meer sprake van die begripsvorming van 'n "toneel" wat heel moontlik in die skepper se denkwêreld afgespeel het nie. Die 3D-model bied egter lengte, breedte én hoogte (of diepte) in die visualisering, wat 'n meer holistiese bestudering daarvan moontlik maak.

Paneel 2

Met die toepassing van die virtuele beligting en 'n byna 90°-rotasie kan in Figuur 14 gemerk word hoe steil die inwaartse helling in hierdie paneel werklik daar uitsien. Die kunstenaar moes die betrokke petroglief goed beplan deur veral daarop te let hoe die reënwater in 'n bepaalde vlak en rigting begin uitloop. Daarom het die kunstenaar die grootste gedeelte van die eland binne die spesifieke ruimte geskep om die beoogde effek van "onder die water wees" te verkry.



Figuur 11: Vergelykende resultate van die 3D-modelle van Paneel 1 en Paneel 2



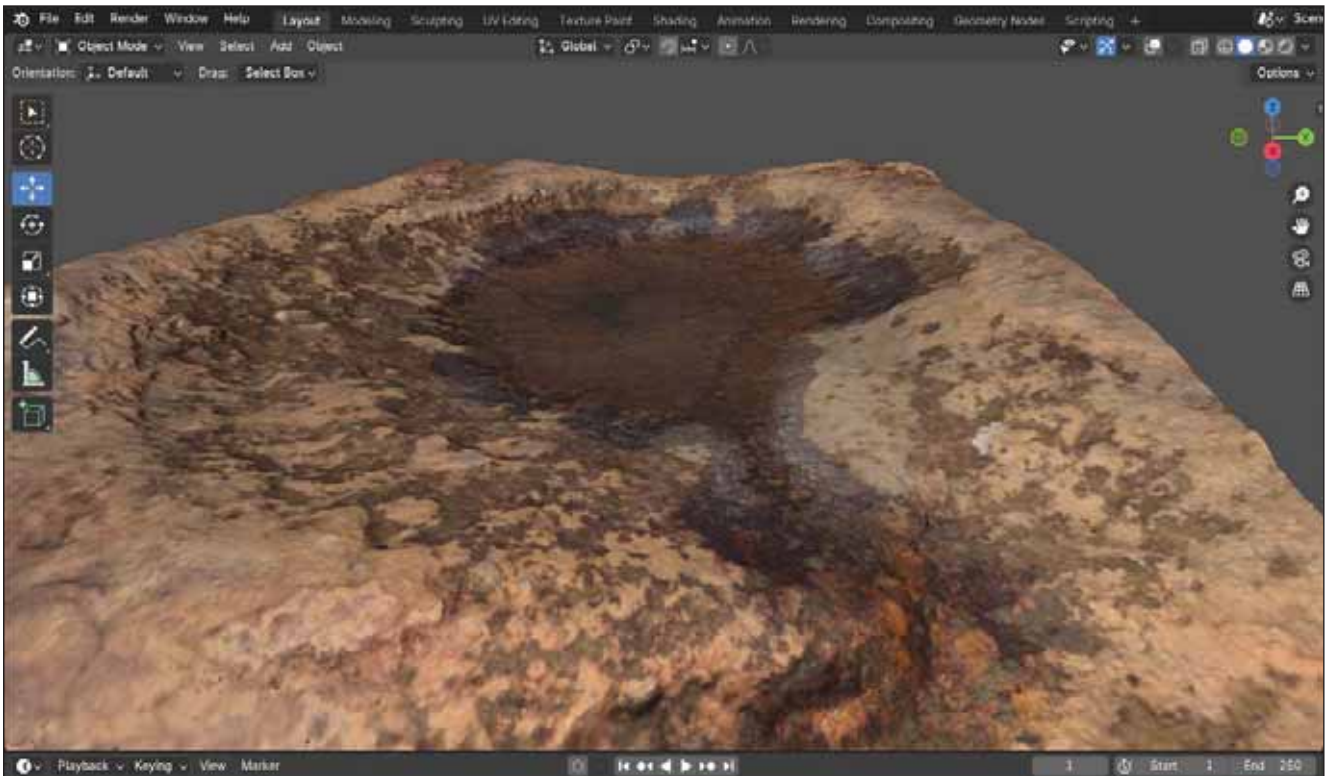
Figuur 12: Paneel 1 geroteer en met virtuele beligting



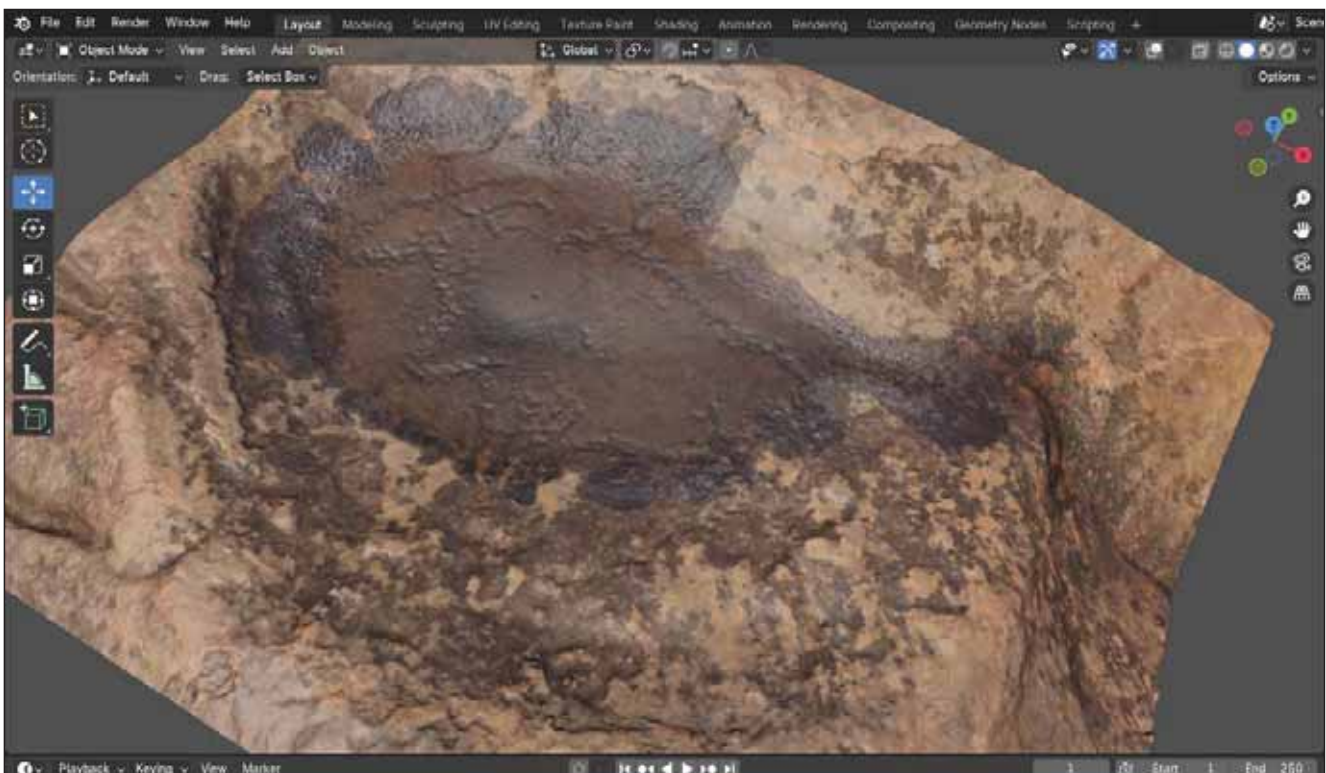
Figuur 13: Paneel 1 effens geroteer en sonder tekstuur

In die skermgreep van die paneel teen 'n meer vertikale skuinshoek geneem en op spekulêre oppervlaktuitbeelding gestel, kan selfs die graving wat onder water is, duidelik waargeneem word (Figuur 15). Met spekulêre beligting word virtuele lig uit verskeie rigtings deur die sagteware op die

digitale oppervlak gewerp, en die glans wat die refleksie daarvan meebring, laat die oppervlak blink vertoon. Die water in die model reflekteer nie die beligting in die foto's op dieselfde wyse nie en daarom, in hierdie geval, laat dit die gedeelte van die petroglief wat onder die water is, duideliker vertoon.



Figuur 14: Paneel 2 getoet om die topografie van die rotsoppervlak duideliker waar te neem



Figuur 15: Paneel 2 met spekulêre oppervlaktuitbeelding in Blender

In Figuur 16 kan die kunstenaar se noukeurige beplanning weereens gemerk word deurdat die eland se stert geskep is in die ruimte waar die water uitloop as dit 'n sekere vlak in die holte bereik. Die water vloei dan verder teen die rots af tot op die grond.

Ter illustrasie van die eindresultate met die genoemde funksies van *Blender* toegepas, kan die volgende skakel besoek word: <https://www.youtube.com/watch?v=AK3vQZ5blpk>



Figuur 16: Die rots waarop Paneel 2 is. Water vloei tot op die grond wanneer die holte oorloop

Gevolgtrekking

Alhoewel 3D-modellering met ope arms verwelkom is op die gebied van kulturele erfenis en met die hoogste graad van entoesiasme geïmplementeer is, ook op petrogliewe, is die studiepotensiaal wat dit meebring nog in 'n groot mate 'n "ongeslypte diamant". In hierdie studie is slegs die punt van die ysberg aangeraak ten opsigte van moontlikhede wat met hierdie tegniek ontsluit kan word, spesifiek van toepassing op kleiner areas. Aangesien die interpretasie van petrogliewe nie veronderstel is om binne 'n datavakuum te geskied nie, is die konteks van (veral) die onmiddellike omgewing onontbeerlik vir 'n holistiese begripvorming van die kunstenaar se oogmerk. Die studie het getoon dat, hoewel hierdie onmiddellike konteks van die twee panele in beide die 2D-foto's én 3D-modelle geïnkorporeer is, dit onwaarskynlik is dat 'n persoon op grond van die visuele potensiaal wat die 2D-verteenvoordingings bied, die topografiese uniekheid van die betrokke panele sou kon sien en dieselfde hipoteses vorm. Dit is daarom duidelik dat 3D-modellering van petrogliewe relevante konteks bied aan die analiseerder op 'n wyse wat 'n 2D-verteenvoordinging nie kan nie.

Die grondslag van hierdie metodologie is die TF-tegniek, wat eenvoudig en koste-effektief is om toe te pas om sodoende die nodige konteksdata in te samel. Hierdie metodologiese voorbeeld kan op dieselfde wyse op ander rotskunssterreine toegepas word indien dit blyk dat natuurlike holtes in die rotsoppervlak moontlik gebruik is om deel te vorm van die betrokke kunstenaars se uitbeeldings (Van Riet Lowe, 1937; Fock, 1979). Hierbenewens bied aanlyn platforms soos *Sketchfab* ook die geleentheid om die 3D-modelle gratis vir besigtiging en bestudering te publiseer. Ten slotte kan daar gesê word dat, op dieselfde wyse wat klem gelê word op die konteks wat die omliggende landskap se integrasie met rotskuns bied, die topografie van die rots waarop dit geskep is ook met die betrokke rotskunswerke se betekenis verweef is (Martinez, 2001).

Befondsing

Befondsing vir hierdie navorsing is verskaf deur die SAAWK (Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns) en die noordelike tak van die Argeologiese Vereniging van Suid-Afrika.

- University of the Witwatersrand, Johannesburg. 2020. Ancient Southern African rock engravings finally find a fitting home. Besikbaar by: <https://www.wits.ac.za/news/latest-news/opinion/2020/2020-01/ancient-southern-african-rock-engravings-finally-find-a-fitting-home.html>. Toegang verkry: 20 Nov. 2024.
- Valdez-Tullett, J., Figueiredo-Persson, S., 2023, Digital rock art: Beyond 'pretty pictures', *F1000Research* 12, 523. <https://doi.org/10.12688/f1000research.127249.1>.
- Van Riet Lowe, C., 1937, Prehistoric rock engravings in the Vaal River Basin. Cape Town: Royal Society of SA. <https://doi.org/10.1080/00359193709518919>.
- Willcox, A.R., 1963, The rock art of South Africa. Johannesburg: Nelson and Sons.
- Willcox, A.R., 1984, The Rock Art of Africa. Johannesburg: Macmillan.
- Wojcicki, P., Kotga, S., Milosz, M., 2022, Preliminary application of the algorithm highlighting petroglyph patterns, *Applied Sciences* 12(3), art. #e1660. <https://doi.org/10.3390/app12031660>.

Die probleem van nikotien- en alkoholgebruik tydens swangerskap: Opsomming van die bevindings van die Veiligegeboortestudie

HJ Odendaal

Emeritus professor, Departement Verloskunde en Ginekologie, Fakulteit Geneeskunde en Gesondheidswetenskappe, Stellenbosch Universiteit, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: HJ Odendaal **E-pos:** hjo@sun.ac.za

Die Veiligegeboortestudie was 'n groot multinasionale prospektiewe studie, in 18 604 swangerskappe, om die verband tussen nikotien- en alkoholgebruik tydens swangerskap met doodgeboortes en wiegiesterftes te ondersoek. Akkurate metodes is gebruik om vroue by soveel as vyf geleenthede tydens swangerskap te ondervra oor hulle drink- en rookgewoontes tydens die voorafgaande maand. Die daaglikse gebruik is bepaal en daarna is vroue in vyf en sewe groepe ingedeel, onderskeidelik, volgens hulle nikotien- en alkoholgebruik, met niegebruikers as die kontrolegroep vir die ontledings.

Die risiko van doodgeboortes was byna twee maal hoër indien vroue nikotien gebruik het, maar byna drie keer hoër indien hulle nikotien en alkohol gebruik het. Die gebruik van alkohol tydens swangerskap het nie die risiko van suigelingsterfte aan 'n bekende oorsaak vergroot nie, in teenstelling met die byna drie keer hoër risiko by nikotiengebruik. Die gebruik van alkohol het die risiko van wiegiesterftes byna vier maal vergroot, maar dié van nikotien meer as sesvoudig, en die gesamentlike gebruik van nikotien en alkohol byna vyftienvoudig. Ontleding van die pons en medulla van die brein van die fetus of kind, wat tydens outopsie verkry is, het aangetoon dat nikotienreseptorbinding verband hou met die gebruik van nikotien en alkohol, 'n verandering wat met die meganisme van wiegiesterftes verband hou. Hierdie gewoontes het ook 'n nadelige invloed op breinstamoudiometrie van sommige babas ná geboorte gehad.

Verdere ontleding van 5 809 swangerskappe uit Bishop Lavis, Kaapstad, het getoon dat die vloeispoed in die uteriene arterie betekenisvol verminder het indien vroue baie nikotien en alkohol gebruik het. In die umbilikale arterie het selfs matige gebruik vloeispoed betekenisvol verminder. Die voorkoms van voortydige loslating van die plasenta was 0,11% onder die 875 vroue wat nie nikotien en alkohol gebruik het nie, maar 1,25% onder die 2 804 vroue wat min gebruik het. Groei van die fetus, soos gemeet met ultraklank, is ook betekenisvol deur die gebruik van nikotien en alkohol verminder.

Op die ouderdom van vier jaar is die neurokognitiewe ontwikkeling en gedrag van 500 kinders ondersoek. Indien die moeder hoër volumes alkohol gebruik het, het die kinders moeite ondervind om gelyktydige of opeenvolgende take uit te voer, en het hulle laer tellings in taal- en sensomotoriese domeine en meer aandag- en omvattende ontwikkelingsprobleme getoon. By hierdie kinders was die intima- en media-lae van die *A. carotis communis* dikker indien hulle aan nikotien en alkohol blootgestel was. Die lengtes van die niere en pankreasliggaam was betekenisvol minder indien die moeder nikotien gebruik het. Hierdie verandering is waarskynlik 'n aanduiding van die risiko van die ontwikkeling van hipertensie en diabetes in die latere lewe.

Verdere opvolging met magnetiese resonansbeelding van 313 kinders het getoon dat blootstelling aan nikotien verband hou met kleiner kortikale volumes van die orbitofrontale streek, 'n breinarea wat verband hou met die verwerking van beloning en straf sowel as emosionele en sosiale regulering.

Die nadele van die gebruik van nikotien en alkohol tydens swangerskap vir groei en ontwikkeling van die kind is duidelik uitgewys en aanduidend van wat in die volwasse lewe verwag kan word.

Sleutelwoorde: alkohol, doodgeboortes, drink, gehoortoetse, magnetiese resonansbeelding, nikotien, nikotienreseptorbinding, rook, swangerskap, tabak, umbilikale arterie, uteriene arterie, vloeispoed, wiegiesterftes.

The problem of nicotine and alcohol use during pregnancy: Summary of the findings of the SafeBirth Study: The Safe Passage Study was a large international prospective study, in 18 604 pregnancies, to examine the association of alcohol and nicotine use during pregnancy with stillbirth and cot deaths. By using accurate methods women were questioned at up to five occasions about their use of nicotine and alcohol during the preceding month. The daily consumption of nicotine and alcohol was determined, and women were then classified into five or seven groups, respectively, according to their drinking and smoking habits, with the abstainers as the control group for the analyses.

The risk of stillbirth was almost twice as high when women had used nicotine, but almost three times higher when they had used both substances. Alcohol use by the mother during pregnancy did not increase the risk of an infant death from a known cause, in contrast to nicotine where the risk increased by almost three times. Alcohol use increased the risk of cot deaths almost four times, the use of nicotine more than six times and the concomitant use almost 15 times. Analyses of the pons and medulla of the

brain, which were collected at autopsy, demonstrated that changes in the nicotine receptor binding were associated with the use of nicotine and alcohol by the mother, a finding associated with the mechanism of cot deaths. Nicotine and alcohol also negatively affected some hearing tests in the newborn baby.

Further analyses of 5 806 pregnancies from Bishop Lavis, Cape Town demonstrated that impedance to flow velocity in the uterine artery was significantly higher when women had used much nicotine and alcohol. Impedance in the umbilical artery was significantly higher even in mild users of nicotine and alcohol. The prevalence of early detachment of the placenta was 0,11% in the 875 women who did not use nicotine or alcohol, but 1,25% in the 2 804 women who had made mild use of nicotine and alcohol. Foetal growth, as examined by ultrasound, was significantly reduced by nicotine and alcohol.

At the age of four years, 500 children were examined for neurocognitive development. Use of high volumes of alcohol by the mother was associated with problems performing simultaneous as well as sequential tasks, lower scores in the language and sensorimotor domains and more attention and pervasive developmental problems. The intima and media layers of the *A. carotis communis* in these children were thicker when they had been exposed to alcohol and nicotine, and the length of their kidneys and the body of the pancreas were significantly lower when the mother had used nicotine.

Further follow-up by magnetic resonance imaging of 313 children demonstrated that exposure to nicotine was associated with lower cortical volumes of the lateral orbitofrontal region, an area associated with processing reward and punishment, as well as emotional and social regulating.

The adverse effects of the use of alcohol and nicotine during pregnancy on the growth and development of the child were clearly demonstrated. These changes are indicative of what to expect in adulthood.

Keywords: alcohol, cot deaths, drinking, flow velocity, hearing tests, magnetic resonance imaging, nicotine, nicotine receptor binding, pregnancy, smoking, stillbirths, tobacco, umbilical artery, uterine artery.

Afkortings

Term	Afkorting
Aangepaste kansverhouding	aKV
Aorta	aIMD
<i>A carotis communis</i>	ciMD
Elektro-enkefalogram	EEG
Elektrokardiogram	EKG
Etielglukuronied	EtG
Fetale alkoholsindroom	FAS
<i>International Classification of Diseases</i>	ICD
Kansverhouding	KV
Klein-vir-datums	KVD
Lae geboortemassa	LGM
Liggaamsmassa-indeks	LMI
Nadelige kinderervarings	NKE
<i>National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism</i>	NIAAA
<i>National Institutes of Health</i>	NIH
Nitrietoksiedbiobeskikbaarheid	NO
Ouditiewe Breinstamresponsie	OBR
Safe Passage Study	SPS
Sosio-ekonomiese omstandighede	SEO
<i>Sudden infant death syndrome</i>	SIDS
Transiëntontlokte Otoakoestiese Emissie	TOOAE
Veiligegeboortestudie	VGS
Voortydse kraam	VK
Wêreldgesondheidsorganisasie	WGO

Inleiding

Fetale alkoholsindroom (FAS) is in 1973 beskryf (Jones KL en Smith 1973), maar later het dié outeurs genoem dat 'n Franse studie ook soortgelyke toestande elders ter wêreld beskryf het (Jones en Smith 1975). Kort daarna is FAS ook in Suid-Afrika beskryf (Beyers en Moosa 1978; Palmer 1985; Maritz 1996).

Hierna is die enorme probleem van die gebruik van alkohol gedurende swangerskap deur Viljoen onder die vergrootglas geplaas (Viljoen 1999; Croxford en Viljoen 1999). Hy het ook daarin geslaag om internasionale kenners van FAS na Suid-Afrika te nooi om die probleem onder hulle aandag te bring (May et al. 2000), veral die erg nadelige uitwerking op die kognitiewe en motoriese ontwikkeling van die betrokke kinders (Adnams et al. 2001). Internasionale navorsing oor FAS in Suid-Afrika is aangemoedig (Warren et al. 2001), waar May en sy medewerkers die leiding geneem het (May et al. 2000). Aanvanklik het hulle op die Wellington-area gekonsentreer (Viljoen et al. 2005; May et al. 2008), maar later het hulle na die Robertson-area verskuif (May et al. 2023; May et al. 2024).

Hoewel hulle die nadelige gevolge van alkoholgebruik tydens swangerskap duidelik uitgewys het, het hulle minder op die nadele van die gebruik van nikotien gekonsentreer en nie die gesamentlike effekte van nikotien en alkohol ondersoek nie.

Die gesamentlike gebruik van nikotien en alkohol tydens swangerskap

Sover bekend was Okah et al. (2005) die eerste om die effek van gesamentlike gebruik van nikotien en alkohol tydens swangerskap op die voorkoms van lae geboortemassa (LGM) onder pasgeborenes te ondersoek. Ná aanpassing van die effekte van kovariate, met geen gebruik van hierdie middels as verwysingspunt, was die kansverhouding (KV) vir nikotien op sy eie 2,3 (95% vertrouensintervalle 2,0-2,5) en vir nikotien en alkohol 4,4 (95% vertrouensintervalle 3,4-5,7). Die gesamentlike gebruik het dus die kansverhouding van LGM meer as vier keer verhoog in teenstelling met die meer as twee keer van nikotien alleen. In 'n Suid-Afrikaanse studie is vir dieselfde gesamentlike effekte gesoek, maar die studie is beperk tot LGM-babas wat by voltyd gebore is (Jackson et al. 2007). Vir nikotien alleen was die aangepaste kansverhouding (aKV) 2,67 (95% vertrouens-

intervalle 1,69-4,20), vir alkohol alleen 1,32 (95% vertrouensintervalle 0,80-2,20), maar 4,24 (95% vertrouensintervalle 1,01-17,76) indien swanger vroue nikotien- sowel as alkoholprodukte gebruik het. Dieselfde gesamentlike effek is waargeneem toe die voorkoms van voortydse kraam (VK) ondersoek is (Dew et al. 2007). In teenstelling met die 9,5%-voorkoms van VK onder vroue wat nie middels gebruik het nie, was dit 13,6% onder rokers ($p < 0,01$), 17,3% indien vroue alkohol gebruik het ($p < 0,01$) en 18% indien hulle nikotien- en alkoholprodukte gebruik het. Indien hulle ook ander dwelmiddels gebruik het, het die voorkoms van VK tot 31,4% gestyg. Wanneer hierdie drie voorafgaande artikels se eindpunte van LGM en VK saamgevoeg word en as swak perinatale uitkomst beskou word, kom die gesamentlike effek van nikotien- en alkoholgebruik nog duideliker na vore (Odendaal et al. 2009). Vir nikotien alleen is die KV 1,64 (95% vertrouensintervalle (1,57-1,72)), vir alkohol alleen 1,79 (95% vertrouensintervalle 1,61-1,99), maar vir beide saam is dit 2,65 (95% vertrouensintervalle 2,31-3,05).

Nog 'n groot retrospektiewe ontleding is dieselfde jaar gepubliseer (Aliyu et al. 2009). Hier is aangetoon dat vroue wat tydens swangerskap alkohol gebruik het, 'n 20% groter risiko gehad het vir die geboorte van klein-vir-datums (KVD) babas as moeders wat nie alkohol gebruik het nie (aKV 1,2; 95% vertrouensinterval 1,1-1,3). Die relatiewe risiko het betekenisvol verhoog na gelang die hoeveelheid drankies per week verhoog het. Die relatiewe risiko was konstant hoër onder vroue wat ook nikotien gebruik het, teenoor dié wat slegs nikotien maar nie alkohol nie gebruik het. Die hoogste risiko was onder vroue wat nikotien en vyf of meer drankies per week gebruik het (aKV 4,8; 95% vertrouensinterval 4,2-5,5).

Begin van die veiligegeboortestudie

Omdat die kleutersterfesyfer onder Amerikaanse Indiane hoog was (Kleinman 1990), en omdat wiegiesterftes (*Sudden infant death syndrome* (SIDS)) een van die grootste redes daarvoor was (MacDorman en Atkinson 1999), is 'n prospektiewe studie in die Aberdeen-area van die VSA aangepak om die probleem te ondersoek (Iyasu et al. 2002). Drie-en-dertig wiegiesterftes is met 66 lewende kontrolesuigelinge vergelyk. Moeders van wiegiesterftes het in 72,7% van gevalle gefuifdrink (vier of meer standaarddrankies per geleentheid), in teenstelling met 45,5% moeders uit die kontrolegroep. Logistiese regressie het 'n betekenisvolle verband getoon tussen wiegiesterftes en perikonsepsiegebruik van alkohol deur die moeder (aKV 6,2; 95% vertrouensintervalle 1,6-23,3), en fuifdrinkery van die moeder in die eerste trimester (aKV 8,2; 95% vertrouensintervalle 1,9-35,5).

Om meer inligting te kry oor die verband van alkoholgebruik tydens swangerskap en doodgeboortes en wiegiesterftes, het drie takke van die *National Institutes of Health* (NIH) (die *National Institute of Child Health and Human Development*, die *National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism* en die *National Institute on Deafness and other Communication Disorders*) die PASS-netwerk (*Perinatal Alcohol SIDS Stillbirth*-netwerk) saamgestel met ondersoekareas in Noord- en Suid-Dakota in die VSA en in Kaapstad (Dukes et al. 2014). So het die Veiligegeboortestudie (VGS) of die *Safe Passage Study* (SPS) ontstaan, met die doel om

die invloed van alkoholgebruik tydens swangerskap op wiegiesterftes en doodgeboortes van babas vas te stel. Hierdie artikel is 'n opsomming van die hoofbevindings van die VGS wat die afgelope 11 jaar in vaktydskrifte gepubliseer is.

'n Gemodifiseerde terugskouende metode is gebruik om die presiese blootstelling aan alkohol by tot vyf geleenthede tydens swangerskap (by werwing vir die VGS, drie studiebesoeke op verskillende swangerskapsduurtes en een maand ná geboorte) vas te stel deur die alkoholgebruik op elke dag tydens die maand voor die onderhoud te bepaal. 'n Kalender met die dag en datum van die studiebesoek is aan die deelnemer gewys sodat sy dag vir dag kon aandui of sy op 'n bepaalde dag in die voorafgaande maand gedrink het. Naweek-, betaal- en verjaarsdae of ander moontlike spesiale geleenthede is uitgewys om haar in haar terugdink te help. Die volume en alkoholkonsentrasie van elke drankie is vasgestel. Omdat die alkoholkonsentrasie van verskillende alkoholprodukte verskil, selfs tussen verskillende wyne en biere, is foto's van elke drankbottel of -blik/-boks aan die vroue gewys om so vas te stel watter spesifieke drank dit was.

In Suid-Afrika is drank waarmee begin is in gelyke porsies verdeel onder die groepie wat bymekaargekom het. Deur vas te stel met hoeveel drank die sessie begin is en hoeveel drinkers daar was, kon bereken word hoeveel elke deelnemer gedrink het. So was dit moontlik om volgens selfrapportering aan die navorsingsverpleegster die alkoholstatus in 99,9% van deelnemers te bepaal (Dukes et al. 2017a). Die algemeenste alkoholprodukt wat gebruik is, was bier (50,6%), gevolg deur spiritualieë (13,0%), appelbier (12,6%) en wyn (12,6%), mengeldrankies (6,4%), likeur (3,9%) en klein sopies sterk drank (*shooters/skopdoppe*) (0,6%). Die hoeveelheid alkohol in 'n drankie is soos volg bereken: volume in ml x alkoholkonsentrasie van die drank x 0,79/100, waar 0,79 die relatiewe digtheid van alkohol is. So bevat een bier van 440 ml met 'n alkoholinhoud van 4% 12,64 g absolute alkohol ($440 \times 4 \times 0,79/100 = 12,64$). Volgens die *National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism* (NIAAA) bevat 'n standaarddrankie 14 g absolute alkohol. Vir vergelykings en ontledings is alle alkoholinnames na standaarddrankies verwerk (Dukes et al. 2017b).

Volgens hul alkoholgebruik kon deelnemers in vyf verskillende kategorieë ingedeel word: hoog maar hou later op (9,7%), aanhoudend hoog (6,0%), matig en hou vroeg op (25,1%), aanhoudend min (10,9%) en geen (48,4%). Nikotiengebruikers is in sewe kategorieë ingedeel: Baie hoog en aanhoudend (1,9%), hoog maar hou later op (2,3%), aanhoudend hoog (8,3%), aanhoudend matig (16,9%), matig en hou vroeg op (7,5%), aanhoudend min (8,9%) en geen (54,2%). Die alkoholstatus kon bepaal word by 99,9% van die 11 892 vroue (6 896 van SA en 4 883 van Noord- en Suid-Dakota) wat aan die projek deelgeneem het, en by 92% gedurende elke trimester van swangerskap.

Omdat die akkuraatheid van selfrapportering van alkoholgebruik bevraagteken kan word, is die mekonium (eerste stoelgang van die pasgeborene) van 107 pasgeborenes ondersoek vir die vetsuurafbraakprodukt van alkohol, etielglukuronied

(EtG). Dertig van die vroue het nie alkoholgebruik rapporteer nie, 16 het teen die 19e week van swangerskap ophou drink en 58 het ná 19 weke nog gedrink. 'n EtG-waarde van ≥ 30 ng/g mekonium is as die goue standaard vir die gebruik van die vasstelling van alkoholgebruik op en ná 19 weke swangerskapsduurte vasgestel. Die sensitiwiteit was 82% en die spesifisiteit 75%. 'n Betekenisvolle dosiskonsentrasieverwantskap tussen die selfrapportering van alkoholgebruik en mekonium EtG ≥ 30 ng/g is ook vasgestel ($p < 0,01$) (Himes et al. 2015).

Doodgeboortes

Daar was 145 vroeë doodgeboortes (op of ná 'n swangerskapsduurte van 20 weke) in die studie (Figuur 1), waarvan 30 uit Noord- en Suid-Dakota en 115 uit Kaapstad was. Daar was 82 laat doodgeboortes (op of ná 'n swangerskapsduurte van 28 weke), 15 uit Noord- en Suid-Dakota en 67 uit Kaapstad. 'n Deel van die ingeligte toestemming tot die studie was toestemming tot ondersoek van die plasenta. Daar is dus gepoog om die plasentas van vroue wat aan die studie deelgeneem het en wat tot ondersoek van die plasenta toestemming verleen het, onmiddellik ná geboorte te bewaar (Odendaal et al. 2021).

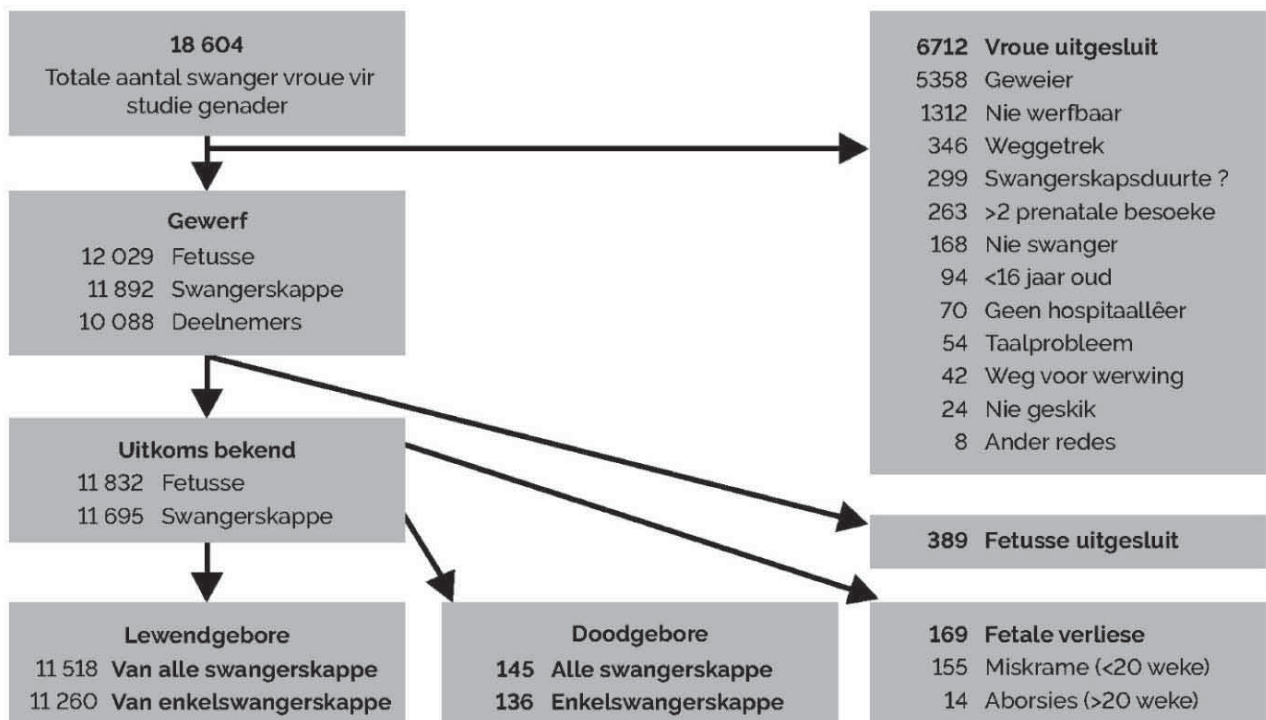
Sodra die diagnose van 'n intra-uteriene dood gemaak is, voor of by geboorte van die baba, het een van die personele van die VGS berading met die moeder gevoer en die maatskaplike werkster van die studie in kennis gestel. Op die mees toepaslike tyd is die moeder, of soms die moeder en vader, vir toestemming tot outopsie van die baba genader (Odendaal et al. 2011).

Ná makro- en mikroskopiese ondersoek van die plasenta en die outopsie van die baba is hierdie bevindings op 'n perinatale mortaliteitsvergadering bespreek om op die oorsaak van dood te besluit. Al die inligting oor ondersoek van die plasenta en die outopsie, wat ook mikroskopiese ondersoek van die fetus se

organe insluit, ook die brein, is op gereelde telefoonkonferensies van die patologiesekomitee van die PASS-netwerk (die Netwerk) bespreek om op die finale oorsaak van dood te besluit. Hiervoor het die Netwerk sy eie klassifikasie vir doodgeboortes opgestel, gebaseer op meganismes en oorsake (Boyd et al. 2017). Vasstelling van die oorsaak van dood deur die ondersoek van die plasenta is vergelyk met inligting oor die oorsaak van dood volgens die *International Classification of Diseases* (ICD) van die Wêreldgesondheidsorganisasie (WGO). Daar is bevind dat ondersoek van die plasenta voldoende inligting verskaf het om in 85% van doodgeboortes 'n diagnose van die waarskynlike oorsaak van dood te maak (Odendaal et al. 2022).

Daar was 'n totaal van 11 892 swangerskappe by 8 506 vroue, van wie 16% meer as een keer in die studie was (Figuur 1). Die uitkoms van swangerskap is by 98% van die vroue vasgestel, waarvan 59% swangerskappe uit Kaapstad was. Wat hulle selfrapportering van ras betref, was 59% van die vroue bruin, 23% wit, 17% Amerikaanse Indiane en 0,9% van ander rasse. Vier persent vroue het aangedui dat hulle kokaïen of metamfetamien tydens swangerskap gebruik het. Oorsake van die 145 doodgeboortes was vroeëtydige loslating van die plasenta (*abruptio placentae* – 26%), plasentale ontoereikendheid (moederlike vasculêre onderperfusie – 17%), naelstringpatologie (fetale vasculêre onderperfusie – 16%), onvoldoende inligting om 'n oorsaak vas te stel (soos geen outopsie of ondersoek van die plasenta nie – 12%), onbepaalbaar (10%), opstygende infeksie (10%), hematogene infeksie (4%), intrinsieke fetale probleme (3%) en ander (3%).

Vergeleke met vroue wat nie tydens swangerskap nikotien of alkohol gebruik het nie, was die risiko vir doodgeboorte meer as twee keer hoër indien swanger vroue alkohol of nikotien gebruik het, maar meer as drie keer hoër indien hulle beide



Figuur 1: Profiel van die Veiligegeboortestudie (Figuur uit Engels vertaal; Odendaal et al. 2021).

substansie gebruik het (Tabel I). Ná aanpassing vir verskeie veranderlikes was die assosiasie van doodgeboorte met nikotiengebruik nie meer betekenisvol nie, maar die kombinasie van gebruik het die kans van doodgeboorte met 30% verhoog. Dit wil dus voorkom of daar 'n sinergisme tussen die effekte van nikotien en alkohol bestaan.

Wiegiersterftes

Wat die wiegiesterfte-deel van die studie betref, was daar 9 818 vroue met 11 518 geboortes waarvan die uitkoms van die geboorte by 97,3% bekend was. Die uitkoms van die kleuters op die ouderdom van een jaar was by 94,2% bekend. Daar was 124 sterftes voor die ouderdom van een jaar, 45 voor ontslag uit die hospitaal ná geboorte, 28 wiegiesterftes, 38 met 'n bekende oorsaak van dood en twee waar toestemming tot die studie teruggetrek is (Elliott et al. 2020).

Daar was 77 kinders waar sterfte ná ontslag uit die hospitaal plaasgevind het. By 57 (74,0%) is toestemming tot outopsie verkry en dit is op 56 kinders uitgevoer. Die diagnose van wiegiesterftes is by 28 kinders gemaak, waar almal 'n outopsie gehad het. By 11 kinders kon die oorsaak van dood nie vasgestel

word nie; by net vier van hulle is toestemming vir outopsie verkry en op drie is dit uitgevoer. Die mees algemene oorsaak van dood was lugweginfeksies (15), ongelukke (4), wanontwikkeling van die hart (3), gastroënteritis (3), breinvliesontsteking (2) en geboorte-asfiksie (2). Alkoholgebruik van die moeder tydens swangerskap het nie die risiko van sterfte van kinders aan 'n bekende oorsaak vergroot nie, maar nikotiengebruik het die risiko met amper drie keer verhoog, en gesamentlike gebruik van nikotien en alkohol met net meer as twee keer (Tabel II).

Wat wiegiesterftes betref, het alkoholgebruik tydens swangerskap die risiko met net minder as vier keer vergroot, met nikotiengebruik tydens swangerskap wat die risiko meer as ses keer vergroot het, en met die gesamentlike gebruik van nikotien en alkohol amper 15 keer (Tabel III). Hierdie studie was die eerste prospektiewe multisentrumstudie wat getoon het dat blootstelling aan nikotien en alkohol ná die eerste trimester van swangerskap gepaard gaan met 'n betekenisvol hoër risiko van wiegiesterftes. Die studie het verder aangetoon dat gesamentlike blootstelling 'n sinergistiese effek op die risiko van wiegiesterftes het.

Tabel I: Viervlakassosiasie van nikotien en alkohol met doodgebore babas (Tabel 2 aangepas en in Afrikaans vertaal; Odendaal et al. 2021)

Geboortes op of ná 'n swangerskapsduurte van 28 weke, uit 11 542 deelnemers				
Gebruik	% van alle swangerskappe	Doodgebore N = 82	Relatiewe risiko (95% VI)	p
Routelling (neem meer as een deelname aan studie in ag)				
Geen	5 946 (51%)	22 (0,4%)	1 (verwysing)	NT
Slegs alkohol	1 027 (9%)	10 (1%)	2,53 (1,08-5,93)	0,03
Slegs nikotien	2 549 (22%)	20 (0,8%)	2,08 (1,07-4,02)	0,03
Nikotien en alkohol	2 139 (18%)	30 (1%)	3,69 (2,05-6,67)	< 0,001
Aangepas* (neem meer as een deelname aan studie en tweelinggeboortes in ag)				
Geen	5 806 (51%)	21 (0,4%)	1 (verwysing)	NT
Slegs alkohol	1 004 (9%)	10 (1%)	2,22 (0,78-6,18%)	0,06
Slegs nikotien	2 501 (22%)	20 (0,8%)	1,60 (0,64-3,98)	0,22
Nikotien en alkohol	2 092 (18%)	30 (2%)	2,78 (1,12-6,67%)	0,03

*Aangepas vir meer as een deelname, meeringelingswangerskappe en geneigdhedstelling gebaseer op die viervlakblootstelling (sluit in plek van werwing, moederlike ouderdom, ras, getroude status, opvoedingsvlak, armomtrek en geskiedenis van diabetes).

VI = Vertrauensintervalle, NT = Nie toepaslik

Tabel II: Verband van bekende oorsaak van dood met nikotien- en alkoholgebruik (aangepas uit Tabel 3 en in Afrikaans vertaal; Elliott et al. 2020)

Gebruik	Swanger vroue	Bekende oorsaak	Relatiewe risiko (95% VI)	p
Geen	5 596 (52,2%)	12 (0,21%)	1 (verwysing)	NT
Slegs alkohol	935 (8,7%)	2 (0,21%)	1,00 (0,23-4,40)	> 0,99
Slegs nikotien	2 320 (21,6%)	14 (0,60%)	2,80 (1,30-6,03)	0,009
Nikotien en alkohol	1 875 (17,5%)	10 (0,53%)	2,47 (1,07-5,71)	< 0,03

BI = vertrauensintervalle, NT = Nie toepaslik

Tabel III: Verband van wiegiesterftes met nikotien- en alkoholgebruik (aangepas uit Tabel 3 en in Afrikaans vertaal; Elliott et al. 2020)

	Swanger vroue	Wiegiersterfte N = 28	Relatiewe risiko (95% VI)	p
Geen	5 596 (52,2%)	3 (0,05%)	1 (verwysing)	NT
Slegs alkohol	935 (8,7%)	2 (0,21%)	3,96 (0,66-23,71)	0,13
Slegs nikotien	2 320 (21,6%)	8 (0,34%)	6,39 (1,70-24,07)	0,006
Nikotien en alkohol	1 875 (17,5%)	15 (0,79%)	14,75 (4,28-50,97)	< 0,001

VI = vertrauensintervalle, NT = Nie toepaslik

Die breinstamserotonienhipotese is tans die mees aanvaarbare denkrigting oor die oorsake van wiegiesterftes. Dit dui op een of ander wanfunksie in die neuronnetwerke van die pons en *medulla oblongata* van die brein, wat beide wek- en kardiovaskulêre refleksie beheer. Onder stressoestande kan die suigeling dus nie uit diep slaap of 'n periodieke asemhalingstilstand gewek word nie (Kinney et al. 2019). Om nader aan die spesifieke oorsaak van wiegiesterftes te kom, was dit dus nodig om hierdie netwerke in die pons en medulla van wiegiesterftesuigeling te ondersoek en te vergelyk met dié waar sterfte 'n ander oorsaak gehad het. Daarom is monsters van die sentrale senuweestelsel by outopsie ná stilgeboortes of suigelingsterftes met toestemming verwyder, by -80°C bewaar, en dan op droë ys na die patologieselaboratorium van die Kinderhospitaal en Harvard-Universiteit in Boston gevestig, waar dit verder bewaar is en later vir ondersoek voorberei is.

So is 15 streke in die pons en medulla van die brein by 12 wiegiesterftesuigeling vergelyk met dieselfde streke van 20 suigeling waar die oorsaak van dood bekend was. Binding aan die nikotienreseptor is met $^{[125\text{I}]}$ -epibatidienreseptorautoradiografie (Vivekanandarajah et al. 2021) bepaal. Daar is bevind dat binding betekenisvol verminder het in die *nucleus pontis dorsalis*, 'n kritieke komponent van die cholinergiese stygende weksisteam in wiegiesterftes, indien dit met bekende oorsake van dood vergelyk word. Verder is gevind dat nikotiengebruik van die moeder by wiegiesterftes ($n = 11$), gekombineer met bekende oorsake ($n = 8$), $^{[125\text{I}]}$ -epibatidienbinding in drie spesifieke areas van die medulla met ouderdom verlaag (tussen 20 en net meer as 60 dae ná konsepsie). Gebruik van alkohol het geen effek op $^{[125\text{I}]}$ -epibatidienbinding gehad nie. Opsommend kan dus gesê word dat die veranderings in die nikotienreseptorbinding verband hou met die oorsaak van dood van die kind en nikotiengebruik van die moeder.

Ander effekte van nikotien en alkohol

Min is bekend oor die meganismes waardeur gelyktydige blootstelling aan nikotien en alkohol abnormale ontwikkeling van kinders veroorsaak. 'n Moontlike meganisme is verandering van die ontwikkeling van die fetale outonome senuweestelsel, soos weerspieël deur beheer van die fetale harttempo en tempoveranderlikheid (die opeenvolgende veranderings in die R-tot-R-intervalle van die fetale elektrokardiogram [EKG]). Om hierdie moontlikheid verder te ondersoek is die fetale EKG's, wat gedurende 34-38 weke swangerskapsduurte opgeneem is, verwerk en ontleed (Chowdhury et al. 2022; Hofmeyr et al. 2014). Data van 4 025 fetusse uit Kaapstad en 2 466 uit Noord- en Suid-Dakota is gebruik. Indien die moeders ná die eerste trimester aanhou nikotien gebruik het, is blootstelling hieraan geassosieer met 'n dosisafhanklike vermindering in die gemiddelde fetale harttempo tydens aktiewe fetale slaap. By strawwe gebruikers van nikotien was daar ook 'n betekenisvolle vermindering in fetale bewegings. Data uit SA het 'n betekenisvolle styging in die gemiddelde harttempo tydens stil fetale slaap getoon indien die moeders baie alkohol gebruik het en vroeg opgehou het, maar ook erg aanhoudend alkohol gebruik het (Lucchini et al. 2021).

'n Paar dae asook een maand ná geboorte is die gehoor van

2 613 kinders ondersoek deur gebruik te maak van die Transiëntontlokte Otoakoestiese Emissie (TOOAE) en Ouditiewe Breinstamresponsie (OBR). Betekenisvolle hoofeffekte van nikotien was verminderde OBR-latensie in die pasgeborene. Op die ouderdom van een maand is nikotiengebruik geassosieer met 'n betekenisvolle vermindering in die piekamplitude van die OBR. Op die ouderdom van een maand is blootstelling aan alkohol geassosieer met 'n vermindering van die TOOAE-amplitude, maar slegs in die linkeroor. Die resultate toon dus aan dat blootstelling aan nikotien en alkohol vroeë ontgrigting van perifere, breinstam- en kortikale ontwikkeling kan veroorsaak (Singer et al. 2021).

In 'n verdere substudie is die elektro-enkefalogramme (EEG's) van 1 739 pasgebore babas ontleed om die effekte van blootstelling aan nikotien en alkohol op breinaktiwiteit vas te stel. Uitsluitings van hierdie studie was geboortes voor 37 of ná 41 weke swangerskapsduurte, veelvuldige geboortes en die gebruik van psigiatriese medikasie deur die moeder (Shuffrey et al. 2020). Ontleding van die EEG's het getoon dat blootstelling aan alkohol of nikotien geassosieer is met veranderde breinaktiwiteitspatrone gedurende aktiewe slaap. Blootstelling aan alkohol is op 'n dosisafhanklike wyse met verhoogde teta- en alfa-aktiwiteit geassosieer, waar matige of hoë aanhoudende blootstelling die grootste verhoging gegee het, vergeleke met kinders waar daar geen blootstelling was nie. Hoewel geen statistiese interaksie tussen blootstelling aan nikotien en alkohol op EEG-aktiwiteit aangetoon kon word nie, dui die onafhanklike assosiasies daarvan op abnormale ontwikkeling van kortikale netwerke. Selfs lae vlakke van nikotien- en alkoholblootstelling tydens swangerskap het gepaardgegaan met veranderde breinaktiwiteit in die kind.

Kaapstadbevindings

Omdat groot verskille in die drie populasies van die studie die verwerking van resultate, en veral van gevolgtrekkings, bemoeilik het, en veral omdat die ultraklankondersoeke in Kaapstad meer akkuraat was vanweë goeie riglyne en kwaliteitskontrole, asook omdat die ondersoeke deur enkele persone gedoen is, is die verdere ontledings tot die Kaapstaddeel van die VGS beperk.

Omdat loslating van die plasenta die mees algemene oorsaak van dood in hierdie studie was, en aangesien loslating van die plasenta en plasentale ontoereikendheid die belangrikste oorsake van perinatale verliese by Tygerberg-hospitaal is, van waar die VGS gekoördineer is, (Pattinson et al. 1989), is daar spesifiek na die verwantskap van hierdie toestande met nikotien- en alkoholgebruik tydens swangerskap (Odendaal et al. 2020a) gekyk.

Daar was 5 806 swangerskappe in hierdie deel van die studie. Die hoogste maandelikse inkomste was onder deelnemers wat nie nikotien of alkohol gebruik het nie, en die laagste onder die twee groepe waar elke deelnemer min of baie nikotien en alkohol gebruik het (Figuur 2).

Omdat vloeispoed, soos bepaal met Doppler-ultraklank, in die uteriene en umbilikale arterieë goeie aanduidings gee van

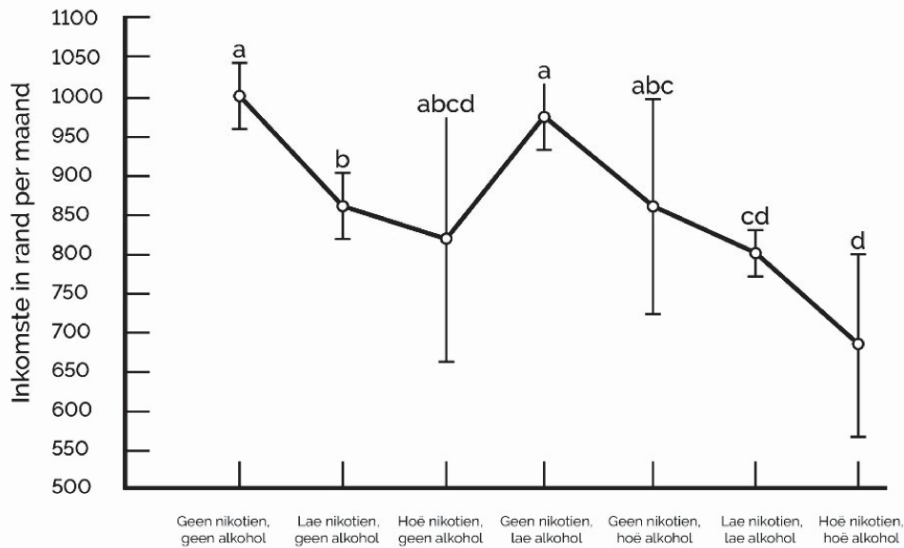
plasentale funksie en fetale groei, is die invloed van nikotien- en alkoholgebruik op vloeieerstand in hierdie slagare ondersoek. In die uteriene arterie (Figuur 3) was die weerstand teen vloei (soos aangedui deur 'n verhoogde pulsatiliteitsindeks) betekenisvol hoër indien vroue se nikotien- en drankgebruik hoog was, in teenstelling met die ander kombinasies van blootstelling.

In die umbilikale arterie was die vloeieerstand betekenisvol hoër by vroue wat min en baie nikotien en alkohol gebruik het (Figuur 4), vergeleke met vroue wat niks van hierdie produkte gebruik het nie. Groter weerstand teen bloedvloei kan vertolk

word as 'n aanduiding van swakker perfusie van die orgaan.

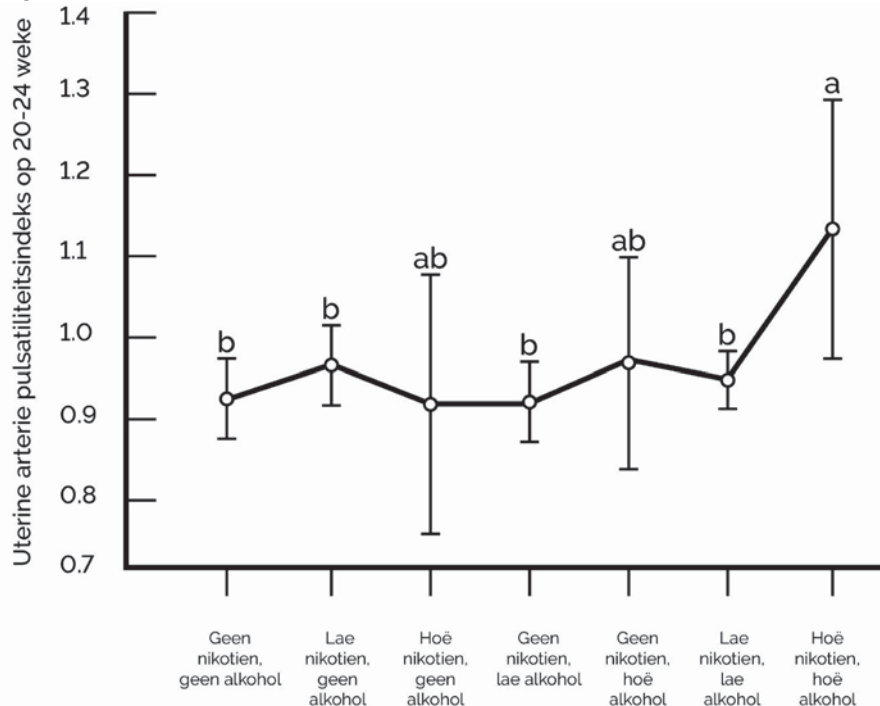
Indien vroue wat nie nikotien gebruik het nie vergelyk is met dié wat slegs nikotien gebruik het, was die voorkoms van plasentale loslating betekenisvol hoër ($p = 0,009$) onder die nikotiengebruikers. By die vroue wat uitsluitlik alkohol gebruik het, was daar nie 'n groter kans van loslating nie. Die voorkoms van loslating was 0,11% by die 875 vroue wat nie nikotien of alkohol gebruik het nie (die kontrolegroep) en 1,25% by die 2 804 vroue wat min nikotien en alkohol gebruik het ($p = 0,003$).

Figuur 2: Maandelikse inkomste volgens nikotien- en alkoholgebruik (Figuur 3b in Afrikaans vertaal; Odendaal et al. 2020a)



Versekerings tussen die veranderlikes is betekenisvol indien daar geen oorvleueling van die letters bo die vertikale lyne is nie.

Figuur 3: Invloede van kombinasies van nikotien en alkohol op die vloeispoed in die uteriene arterie (Figuur 4a in Afrikaans vertaal; Odendaal et al. 2020a)



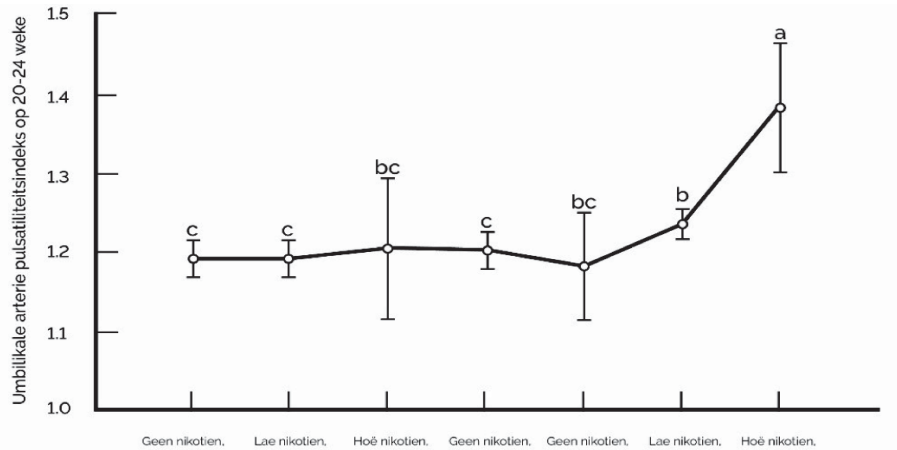
Versekerings tussen die veranderlikes is betekenisvol indien daar geen oorvleueling van die letters bo die vertikale lyne is nie.

Vergeleke met die kontrolegroep was die bipariëtale afmeting van die fetale skedel op 'n swangerskapsduurte van 20 weke, soos gemeet met ultraklank, betekenisvol kleiner by deelnemers wat baie nikotien en alkohol gebruik het ($p = 0,02$). Gemeet op 'n swangerskapsduurte van 34-38 weke was die skedelomtrek van die fetus laer by deelnemers wat baie nikotien en alkohol gebruik het ($p = 0,05$). Wat die femurlengte van die fetus betref, was dit op 34-38 weke betekenisvol laer ($p = 0,02$) by deelnemers wat baie nikotien en alkohol gebruik het. Die plasentale massa was betekenisvol laer by deelnemers wat baie nikotien gebruik het (maar nie alkohol gebruik het nie), en baie nikotien en alkohol gebruik het ($p = 0,01$). Die fetale massa was betekenisvol laer by deelnemers wat min nikotien gebruik het (maar nie alkohol gebruik het nie), min en baie alkohol gebruik het (maar nie nikotien gebruik het nie) en by dié wat beide min en baie nikotien en alkohol gebruik het ($p < 0,01$).

Metamfetamien is slegs gebruik deur twee deelnemers wat nie nikotien en alkohol gebruik het nie (0,2%), in teenstelling met die 8,2% en 13,0% deelnemers wat onderskeidelik min en baie nikotien en alkohol gebruik het ($p < 0,0001$). Die gebruik van nikotien en alkohol het 'n betekenisvolle verband met loslating van die plasenta gehad ($p = 0,0017$).

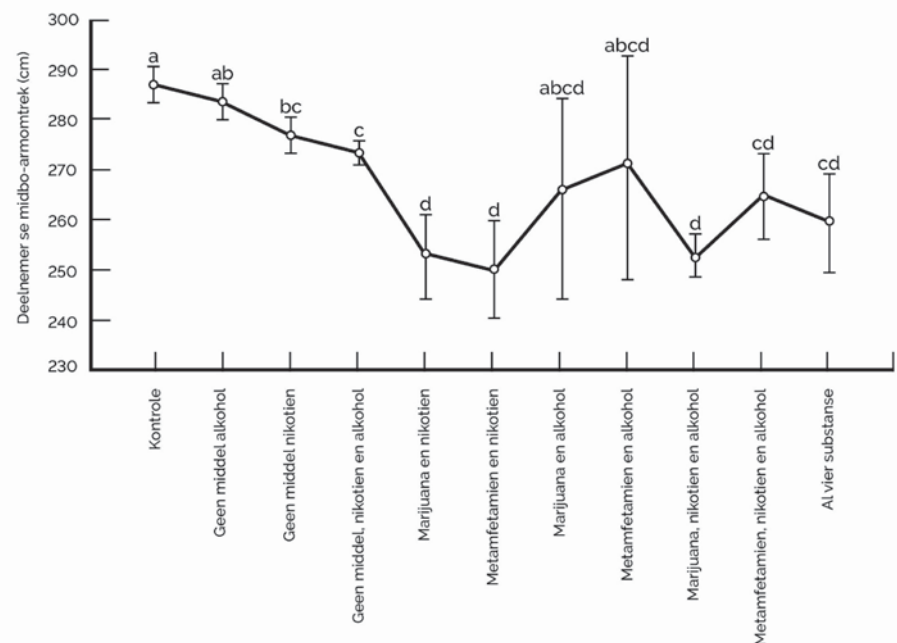
In 4 926 deelnemers is die verband van verskillende middelkombinasies met moederlike biometriese en sosio-ekonomiese omstandighede (SEO) ondersoek, en die effekte daarvan op swangerskapsuitkomst (Brink et al. 2022). Vergeleke met die kontrolegroep van deelnemers wat geen middels gebruik het nie, was gebruikers jonger en het hulle later vir voorgeboortesorg bespreek. Hul liggaamsmassa-indeks (LMI) was laer, en so ook hul midboarmotrek, wat 'n goeie aanduiding van swakker voedingstatus (Figuur 5) is.

Figuur 4: Invloede van kombinasies van nikotien en alkohol op die vloeispoed in die umbilikale arterie (Figuur 4b in Afrikaans vertaal; Odendaal et al. 2020a)



Verskille tussen die veranderlikes is betekenisvol indien daar geen oorvleueling van die letters bo die vertikale lyne is nie.

Figuur 5: Verband tussen midboarmotrek en middelgebruik (Figuur 3 in Afrikaans vertaal; Brink et al. 2022)



Verskille tussen die veranderlikes is betekenisvol indien daar geen oorvleueling van die letters bo die vertikale lyne is nie.

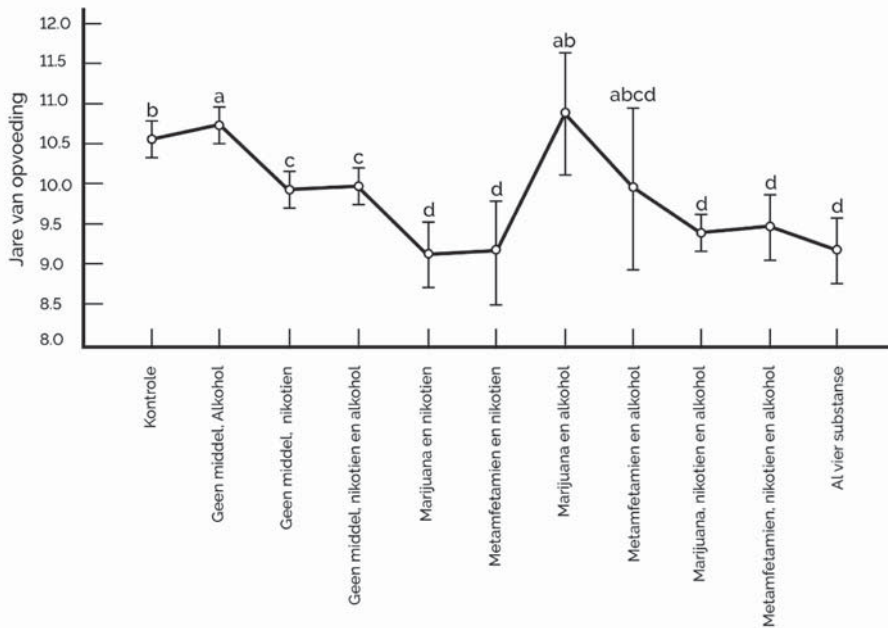
Deelnemers wat die meeste middels gebruik het, het ook die kortste opvoedingstyd gehad (Figuur 6).

Die kortste gemiddelde swangerskapsduurte (255 dae) is gevind onder die 11 deelnemers wat alkohol en metamfetamien gebruik het, in teenstelling met die gemiddelde duurte van 273 dae van die kontrolegroep. By hierdie groep van 11 deelnemers was daar ook die laagste gemiddelde geboortemassa, betekenisvol laer as by die kontrolegroep (Figuur 7).

Op die ouderdom van een jaar was die massas, lengtes en kopomtrekke van kinders wat aan verskeie middelkombinasies blootgestel is, van die laagstes.

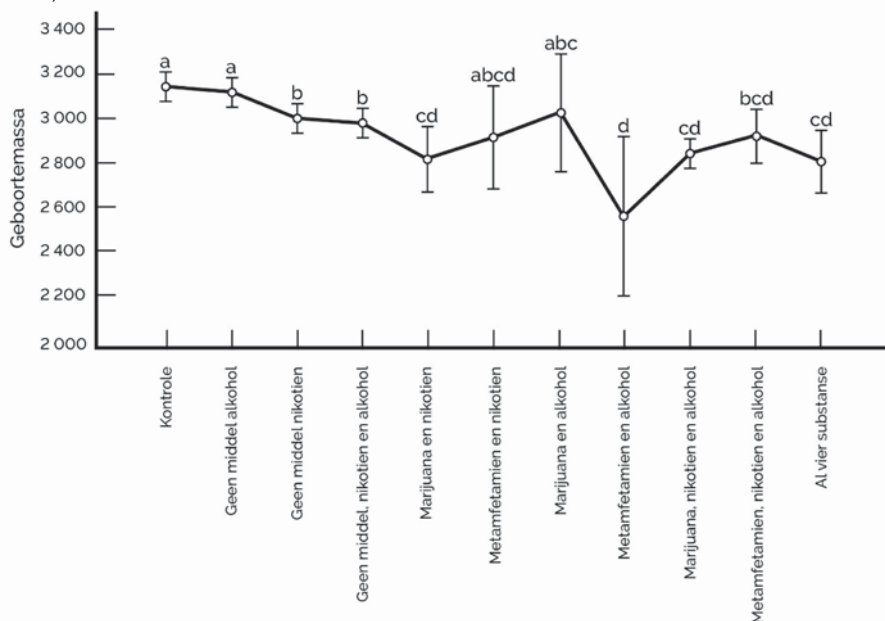
Verskillende nikotien- en alkoholgebruik het ook 'n invloed gehad op die geboortemassa van babas wat prematuur gebore is (Brink et al. 2021). Vir hierdie studie is die data gebruik van 407 vroue wat spontane voortydse geboortes gehad het. Vergeleke met die kontrolegroep van 48 (12%) wat nie nikotien of alkohol

Figuur 6: Verband tussen opvoeding en middelgebruik (Figuur 4 in Afrikaans vertaal; Brink et al. 2022)



Verskille tussen die veranderlikes is betekenisvol indien daar geen oorvleueling van die letters bo die vertikale lyne is nie.

Figuur 7: Verband tussen geboortemassa en middelgebruik (Figuur 6 in Afrikaans vertaal; Brink et al. 2022)



Verskille tussen die veranderlikes is betekenisvol indien daar geen oorvleueling van die letters bo die vertikale lyne is nie.

gebruik het nie, was die geboortemassa betekenisvol laer by die 24 (6%) vroue wat min nikotien en baie alkohol gebruik het. Van alle groepe was die geboortemassa die laagste by hierdie groep, laer as die massas van pasgeborenes van moeders wat slegs nikotien of alkohol gebruik het. Weereens word die sinergistiese uitwerking van nikotien en alkohol op geboortemassa bevestig.

Bevindings van ander navorsers op dieselfde data

Aangesien navorsers buite die VGS betrokke is by verdere opvolg en ontledings, is toepaslike dele van die databasis ook met hulle gedeel (Jonker et al. 2023). Aan die Universiteit van Kaapstad was die hoofbevindings dat blootstelling aan nikotien gepaard gegaan het met verlaagde vloeispoed in die umbilikale arterie gedurende die tweede en derde trimesters van swangerskap, vergeleke met die kontrolegroep ($p < 0,001$). Die totale getal sigarette gerook tydens swangerskap het ook met hierdie verlaagde vloeispoed ($p < 0,01$) gekorreleer. Statistiese modelle het getoon dat blootstelling aan alkohol in die tweede trimester, aan nikotien in die eerste trimester en abnormale vloeispoed in die umbilikale arterie tydens 20-24 en 34-38 weke swangerskapsduurte, betekenisvolle voorspellers is van geboortegewig.

Aan die Erasmus-Universiteit in Rotterdam is die data van 1 698 vroue ontleed, en is daar bevind dat blootstelling aan alkohol gepaard gaan met korter femurlengtes, kleiner buikomtrekke en laer berekende massas van fetusse (Pielage et al. 2023).

In 'n ander studie is die data van 739 babas uit normale, ongekompliseerde swangerskappe waar die moeder nie enige nadelige middels gebruik het nie, gebruik om te bepaal hoe die geboortemassas van babas van die plaaslike bruin bevolking met internasionale standaard vergelyk. Meer as 80% swangerskappe is uitgesluit omdat die moeder een of ander risikofaktor gehad het en die swangerskap dus nie as normaal beskou kon word nie (Geerts et al. 2024). Die geboortemassas van die babas uit die normale swangerskappe het die beste vergelyk met die standaard van INTERGROWTH-21st (Stirnermann et al. 2017). Die geboortemassa is betekenisvol deur die pariteit, massa en LMI van die moeder en swangerskapsduurte beïnvloed. Die oënskylik lae geboortemassas van bruin babas is dus waarskynlik meer die gevolg van lewenswyse van die moeder as van die invloed van genetiese faktore.

Opvolg van ouer kinders

Sedert die VGS voltooi is, is verskeie verdere studies gedoen om die kinders se ontwikkeling te volg, omdat gebeure tydens swangerskap akkuraat in besonderhede vasgelê is. Dit skep dus ideale geleenthede om die effek van gebeure tydens swangerskap op ontwikkeling van die kind, en later ook die volwassene, verder te ondersoek.

Op die ouderdom van vier jaar is die neurokognitiewe ontwikkeling en gedrag van 500 kinders ondersoek. Volgens alkoholgebruik is die vroue in vier groepe verdeel: Kontrolegroep (geen blootstelling aan alkohol, $n = 200$, 40%), ligte tot matige blootstelling ($n = 117$, 23,4%), erge blootstelling ($n = 113$, 22,6%)

en baie erge blootstelling ($n = 70$, 14%). Die kinders se ouderdomme tydens toetsing was onderskeidelik gemiddeld 1 549, 1 542, 1 538 en 1 538 dae. Uit hierdie groepe het 52,8%, 61,5%, 78,8% en 85,7% onderskeidelik nikotien gebruik, 7,1%, 8,8%, 11,5% en 15,7% marijuana gerook, en 3%, 5,2%, 1% en 11,4% metamfetamien gebruik. Matige en lae alkoholgebruik het geen effek op die kind se kognitiewe vermoë of gedrag gehad nie. Waar die moeder baie alkohol gebruik het, het die kinders moeite ondervind om gelyktydige of opeenvolgende take uit te voer, het hulle laer tellings op taal- en sensomotoriese domeine gehad, en het hulle meer aandag- en omvattende ontwikkelingsprobleme gehad (Cluver et al. 2019).

Op die ouderdom van vyf jaar is 500 kinders verder ondersoek vir antropometriese ontwikkeling, bloeddruk, harttempo en ultraklankmeting van die dikte van die intimalaag en mediaalag van die aorta (aIMD) en *A. carotis communis* (cIMD) (De Smidt et al. 2021a). Die studie is gedoen omdat vergrote cIMD aanduidend van vroeë vasculêre skade by kinders is (Lamotte et al. 2011). Daar is gevind dat die cIMD betekenisvol hoër was by kinders wat aan beide nikotien en alkohol blootgestel is, vergeleke met geen blootstelling nie ($p = 0,008$). Blootstelling aan nikotien of alkohol alleen het nie betekenisvol van die kontrolegroep verskil nie. Aanduidings van vetsug in die moeder, soos die midboarmotrek en LMI, het betekenisvol met die regter-cIMD van die kind gekorreleer.

Die span navorsers het ook die groottes van kinders se niere en pankreas ondersoek, soos met ultraklank op dieselfde ouderdom van vyf jaar gemeet (De Smidt et al. 2021b). Lengtes van die linker- en regterniere was betekenisvol kleiner indien die moeder nikotien gebruik het, vergeleke met die kontrolegroep ($p = 0,4$, $p = 0,3$ onderskeidelik). Mate van die pankreasliggaam was ook betekenisvol kleiner indien die moeder nikotien gebruik het ($p = 0,04$) (De Smidt et al. 2021b).

Verdere opvolging van die kinders is met magnetiese resonansbeelding gedoen in 'n gesamentlike studie van die Universiteit van Kaapstad en die Universiteit van Kalifornië (in Los Angeles). Daar is eers 'n loodsstudie op sesjarige kinders gedoen om die hoofeffekte van blootstelling van die fetale brein aan nikotien en alkohol, en hulle sinergistiese effekte, vas te stel (Uban et al. 2024). Daar was duidelike assosiasies van nikotien- en alkoholblootstelling op hul eie, en ook interaktief, met breinstruktuurmetings, wat op kortikale en subkortikale veranderings gedui het.

Ná die suksesvolle loodsstudie is 'n groter opvolgstudie op 313 kinders van 8 tot 12 jaar oud gedoen (Marshall et al. 2022; Xia et al. 2023). Blootstelling aan alkohol is geassosieer met dunner parahippokampale kortekse, en blootstelling aan nikotien met kleiner kortikale oppervlaktes in verskeie areas. Daar was geen interaksie tussen nikotien en alkohol nie. Opsommend kan gesê word dat blootstelling aan alkohol geassosieer is met 'n verkleinde struktuur van die mediale temporale lob, 'n breinarea wat krities vir leer en geheue is. Blootstelling aan nikotien het sterker en wyer verbande gehad, wat insluit die streke wat geassosieer word met uitvoerende funksies, beloningverwerking en emosionele beheer.

Sinergisme tussen nikotien en alkohol

Die VGS bevind dat die gesamentlike gebruik van nikotien en alkohol die voorkoms van verskeie komplikasies verhoog, meer as by die gebruik van slegs nikotien of slegs alkohol. Komplikasies sluit in doodgeboortes (Odendaal et al. 2021), wiegiesterftes (Elliott et al. 2020), *abruptio placentae* en fetale groeirestriksie (Odendaal et al. 2020a). Bevindings van die VGS oor die effekte van gesamentlike gebruik is ook deur ander studies bevestig. So is bevind dat die voorkoms van lae geboortemassa en voortydse kraam hoër was onder vroue wat nikotien en alkohol gebruik het, vergeleke met dié van vroue wat slegs nikotien of slegs alkohol gebruik het (Hamułka et al. 2018). Hulle bevindings oor voortydse kraam verskil egter van dié van die VGS, want die voorkoms was 8,2% onder alkoholgebruikers en 15% onder nikotiengebruikers, maar 12,4% indien beide substansie gebruik is (Brink et al. 2022).

In 'n *in vitro*-studie op menslike plasentale weefsel, is getoon dat gesamentlike blootstelling aan nikotien en alkohol aminosuurvervoer verminder, op 'n toevoegende eerder as 'n sinergistiese manier. Die gevolgtrekking was dat die gesamentlike gebruik van nikotien en alkohol gevaarliker kan wees vir die swanger vrou as wanneer slegs een daarvan afsonderlik gebruik word (Fisher et al. 1984).

Die gesamentlike gebruik van nikotien en alkohol het ook 'n groter effek op die voorkoms van maligneiteite (Seitz en Cho 2009). So is die voorkoms van plaveiselkarsinoom van die mond 35 keer hoër onder gebruikers van nikotien én alkohol (Lopes et al. 2012). Die voorkoms van slukdermkanker is 12 tot 19 keer hoër onder mans en vroue onderskeidelik wat nikotien en alkohol gebruik het, selfs by matige gebruik (Castelletto et al. 1999). Die moontlike rede vir hierdie gesamentlike effek is dat beide nikotien en alkohol die vlakke van asetaldied, 'n bekende karsinogeen en hoofafbraakproduk van alkohol, in die speeksel verhoog (Salaspuro en Salaspuro 2004).

Nikotien en alkohol het ook negatiewe effekte op manlike vrugbaarheid (Sansone et al. 2018). Indien dit gesamentlik gebruik word, is die negatiewe effekte groter as dié wanneer slegs nikotien of slegs alkohol gebruik word (Boeri et al. 2019).

Sinergistiese effekte tussen nikotien en alkohol is ook beskryf, soos die verlies van die herstelrefleks in muis (Slater et al. 2016), meganismes tot apoptose in neuroblastoom-selkulture (Ramlochansingh et al. 2011), verslegting van periodontitis (Pereira Vasconcelos et al. 2013), veranderde geenuitdrukking in die mesolimbiese dopamiensisteem (Truitt et al. 2015), swakker glukosaminoglukaan-metabolisme in rotte (Ashakumary en Vijayammal 1995) en kardiovaskulêre reaksies by honde (Mehta et al. 1998). In selkulture speel nikotien en alkohol 'n rol in die aktivering van proteïenkinase A, wat betrokke is by verskeie selaktiwiteite en fisiologiese funksies (Inoue et al. 2007).

By die mens is daar 'n sterk verband tussen die gebruik van nikotien en alkohol. Alkoholgebruikers se nikotienblootstelling is twee keer soveel as wanneer alkohol nie gebruik word nie. Hierdie komorbiditeit kan toegeskryf word aan verskeie

genetiese en epigenetiese faktore, asook farmakologiese interaksies (Hurley et al. 2012; Bien en Burge 1990; Johnson en Jennison 1992). Dit is egter nodig om in gedagte te hou dat die twee substansie se effekte op die gedragspatroon wissel, en hoewel hulle sekere eienskappe kan deel, het hulle nie dieselfde teikens nie (Little 2000). So is daar 'n sinergistiese effek in die versteuring van die mesokortikolimbiese sisteem en ventrale tegmentale area van die brein (Morel et al. 2019; Engle et al. 2015). Andersyds is daar weer aanduidings dat nikotien nie alkoholverwante breinskade vererger nie (McCorkindale et al. 2016).

Hartel et al. het 'n literatuuroorsig gedoen oor moontlike interaksies tussen nikotien en alkohol op die vasculêre sisteem (Hartel et al. 2022). Hoewel alkohol endoteliale dilatasie veroorsaak, is daar min studies, in mens of dier, waar die gesamentlike effek van nikotien en alkohol ondersoek is. Hul bevindings dui daarop dat daar moontlik 'n vermindering in nitrietoksied-bio beskikbaarheid en veranderings in die epigenoom van suigeling deur die opregulering van pro-oksidiatiewe en pro-inflammatoriese gene is.

Sosio-ekonomiese tragedie

In die verdere opvolg van 313 kinders tussen die ouderdomme van 8 en 11 jaar wie se moeders in die VGS was, is belangrike vorige bevindings weer bevestig. Beter SEO, soos moederopvoeding en toegang tot 'n telefoon, het verband gehou met minder nadelige kinderervarings (NKE). Blootstelling aan nikotien tydens die swangerskap het die verband van swak SEO met NKE gedeeltelik bemiddel, waar beter SEO die moontlikheid van NKE verminder het. Swak SEO het verband gehou met verskeie veranderings in magnetiese resonansbeelding van verskillende dele van die brein (Xia et al. 2023). Hierdie studie het verder getoon dat blootstelling aan nikotien verband hou met kleiner kortikale volumes van die orbitofrontale streek, 'n breinarea wat verband hou met die verwerking van beloning en straf sowel as emosionele en sosiale regulering.

'n Vorige ontleding van die data by 4 926 swanger vroue uit die VGS het getoon dat slegs 17,8% geen middels gebruik het nie, 16,7% slegs alkohol, 17,5% slegs nikotien, 36,6% beide alkohol en nikotien, 1,3% marijuana en nikotien, 0,5% metamfetamien en nikotien, 0,4% marijuana en alkohol, 0,2% metamfetamien en alkohol, 5,6% marijuana, nikotien en alkohol, 1,8% metamfetamien, nikotien en alkohol, en 1,6% al vier substansie (Brink et al. 2022). Daar was duidelike verbande tussen die moeder se gewoontes en haar midboarmomtrek (Figuur 5), opvoedingsvlak (Figuur 6) en die geboortemassa van die baba (Figuur 7).

Omdat werwing vir die studie oor 'n tydperk van sewe en 'n half jaar geskied het en tot 'n klein woonbuurt beperk was, het sommige vroue ook tydens hulle volgende swangerskap, of die swangerskap daarna, aan die studie deelgeneem. So was daar 5 046 vroue wat een keer deelgeneem het en 1 854 wat twee tot vier keer deelgeneem het. Hiervan was 889 vir 'n eerste keer, 888 vir 'n tweede keer en 77 ook vir 'n derde keer in die studie.

Deelnemers se gebruike in opvolgende swangerskappe is vergelyk om vas te stel hoe gewoontes verander het. Vanaf die eerste tot die derde keer in die studie het nikotien- en alkoholgebruike nie verbeter nie, ten spyte van herhaalde beklemtoning van die gevare van die gebruik daarvan tydens swangerskap (Odendaal et al. 2020b).

Gevolgtrekking

Die gebruik van nikotien, alkohol en middels gedurende swangerskap, veral die gesamentlike gebruik daarvan, veroorsaak enorme skade aan die fetus en die kind. Die nadelige gewoontes is ten nouste gekoppel aan swak SEO en opvoeding. Dit is dus noodsaaklik om sosio-ekonomiese omstandighede en opvoeding te verbeter. Inligting as sodanig is nie voldoende om die gedrag van swanger vroue te verander nie, maar spesifieke programme lyk belowend (Everett-Murphy et al. 2010).

Die nadele van die gebruik van nikotien en alkohol tydens swangerskap op groei en ontwikkeling van die kind is duidelik uitgewys. Hierdie veranderings is aanduidend van probleme soos swak vordering op skool, hipertensie en diabetes, en van dit wat in die volwasse lewe vermag kan word.

Erkennings

Met groot dank aan die drie takke van die *National Institutes of Health* wat die Veiligegeboortestudie befonds het:

U01 HD055154 (NICHD, NIAAA): Kimberly Dukes, DM-STAT

U01 HD045935 (NICHD): Amy J. Elliott, Sanford Research

U01 HD055155 (NICHD): William P. Fifer, Columbia University

U01 HD045991 (NICHD): Hannah C. Kinney, Boston Children's Hospital

U01 AA016501 (NIAAA, NIDCD): Hein J. Odendaal, Stellenbosch University

Verskeie navorsers en helpers van verskillende lande en universiteite het hard en presies gewerk om befonding te bekom en om die data in te samel en te verwerk. Elkeen word hartlik daarvoor bedank. My dank ook aan elke deelnemer wat hulle beste samewerking gegee het om eerlike inligting te bied. Ek bedank ook vir Charléne de Kock vir haar sorgvuldige taalversorging.

ORCID

H Odendaal <https://orcid.org/0000-0001-5672-2000>

Verwysings

- Adnams, C.M., Kodituwakku, P.W., Hay, A., et al., 2001, Patterns of cognitive-motor development in children with fetal alcohol syndrome from a community in South Africa. *Alcohol, Clinical and Experimental Research* 25(4), 557-62. Erratum in: *Alcohol Clin Exp Res* 25(8), 1187. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2001.tb02250.x>.
- Aliyu, M.H., Wilson, R.E., Zoorob, R., et al., 2009, Prenatal alcohol consumption and fetal growth restriction: potentiation effect by concomitant smoking. *Nicotine Tobacco Research* 11(1), 36-43. <https://doi.org/10.1093/ntr/ntn014>.
- Ashakumary, L., Vijayammal, P.L., 1995, Synergistic effect of alcohol and nicotine on glycosaminoglycan metabolism in rats. *Indian Journal of Experimental Biology* 33(12), 940-2.
- Beyers, N., Moosa, A., 1978, The fetal alcohol syndrome. *South African Medical Journal* 54(14), 575-8.

- Bien, T.H., Burge, R., 1990, Smoking and drinking: a review of the literature. *International Journal of the Addictions* 25(12), 1429-54. <https://doi.org/10.3109/10826089009056229>.
- Boeri, L., Capogrosso, P., Ventimiglia, E., et al., 2019, Heavy cigarette smoking and alcohol consumption are associated with impaired sperm parameters in primary infertile men. *Asian Journal of Andrology* 21(5), 478-485. https://doi.org/10.4103/aja.aja_110_18.
- Boyd, T.K., Wright, C.A., Odendaal, H.J., et al; PASS Network., 2017, The Stillbirth Classification System for the Safe Passage Study. *Pediatric and Developmental Pathology* 20(2), 120-132. <https://doi.org/10.1177/1093526616686251>.
- Brink, L.T., Nel, D.G., Hall, D.R., et al., 2021, The intricate interactions between maternal smoking and drinking during pregnancy and birthweight Z-scores of preterm births. *Journal of Women's Health Care and Management* 2(2), 10.47275/2692-0948-121. <https://doi.org/10.47275/2692-0948-121>.
- Brink, L.T., Springer, P.E., Nel, D.G., et al., 2022, The tragedy of smoking, alcohol, and multiple substance use during pregnancy. *South African Medical Journal* 112(8), 526-538. <https://doi.org/10.7196/SAMJ.2022.v112i8.16480>.
- Castelletto, R., Rolón, P.A., Quintana, M.J., 1999, Independent and joint effects of tobacco smoking and alcohol drinking on the risk of esophageal cancer in men and women. *International Journal of Cancer* 82(5), 657-64. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0215\(19990827\)82:5<657::AID-IJC7>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0215(19990827)82:5<657::AID-IJC7>3.0.CO;2-C).
- Chowdhury, S., Frasch, M.G., Lucchini, M., et al., 2022, A novel method for the extraction of fetal ECG signals from wearable devices. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 1319-1322. <https://doi.org/10.1109/EMBC48229.2022.9870899>.
- Cluver, C.A., Charles, W., Van der Merwe, C., et al., 2019, The association of prenatal alcohol exposure on the cognitive abilities and behaviour profiles of 4-year-old children: a prospective cohort study. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology* 126(13), 1588-1597. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.15947>.
- Croxford, J., Viljoen, D., 1999, Alcohol consumption by pregnant women in the Western Cape. *South African Medical Journal* 89(9), 962-5.
- De Smidt, J.J.A., Odendaal, H.J., Nel, D.G., et al., 2021a, In utero teratogen exposure and cardiometabolic risk in 5-year-old children: a prospective pediatric study. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* 34(22), 3740-3749. <https://doi.org/10.1080/14767058.2019.1692337>.
- De Smidt, J.J.A., Odendaal, H.J., Nel, D.G., et al., 2021b, The effects of in utero exposure to teratogens on organ size: a prospective paediatric study. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease* 12(5), 748-757. <https://doi.org/10.1017/S2040174420001002>.
- Dew, P.C., Guillory, V.J., Okah, F.A., et al., 2007, The effect of health compromising behaviors on preterm births. *Maternal and Child Health Journal* 11(3), 227-33. <https://doi.org/10.1007/s10995-006-0164-1>.
- Dukes, K.A., Burd, L., Elliott, A.J., et al.; PASS Research Network., 2014, The safe passage study: design, methods, recruitment, and follow-up approach. *Paediatric and Perinatal Epidemiology* 28(5), 455-65. <https://doi.org/10.1111/ppe.12136>.
- Dukes, K., Tripp, T., Petersen, J., et al.; PASS Network., 2017a, A modified Timeline Followback assessment to capture alcohol exposure in pregnant women: Application in the Safe Passage Study. *Alcohol* 62, 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2017.02.174>.
- Dukes, K., Tripp, T., Willinger, M., et al.; PASS Network., 2017b, Drinking and smoking patterns during pregnancy: Development of group-based trajectories in the Safe Passage Study. *Alcohol* 62, 49-60. <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2017.03.001>.
- Elliott, A.J., Kinney, H.C., Haynes, R.L., et al., 2020, Concurrent prenatal drinking and smoking increases risk for SIDS: Safe Passage Study report. *EclinicalMedicine* 19, 100247. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2019.100247>.
- Engle, S.E., McIntosh, J.M., Drenan, R.M., 2015, Nicotine and ethanol cooperate to enhance ventral tegmental area AMPA receptor function via $\alpha 6$ -containing nicotinic receptors. *Neuropharmacology* 91, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2014.11.014>.
- Everett-Murphy, K., Steyn, K., Mathews, C., et al., 2010, The effectiveness of adapted, best practice guidelines for smoking cessation counselling with disadvantaged, pregnant smokers attending public sector antenatal clinics in Cape Town, South Africa. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica* 89(4), 478-489. <https://doi.org/10.3109/00016341003605701>.
- Fisher, S.E., Atkinson, M., Van Thiel, D.H., 1984, Selective fetal malnutrition: the effect of nicotine, ethanol, and acetaldehyde upon in vitro uptake of alpha-aminoisobutyric acid by human term placental villous slices. *Developmental Pharmacology Therapeutics* 7(4), 229-38. <https://doi.org/10.1159/000457169>.
- Geerts, L., Brink, L.T., Odendaal, H.J., 2024, Selecting a birth weight standard for an indigenous population in a LMIC: A prospective comparative study. *International Journal of Gynaecology and Obstetrics* 166(3), 1161-1169. <https://doi.org/10.1002/ijgo.15519>.

- Hamulka, J., Zielińska, M.A., Chądzyńska, K., 2018, The combined effects of alcohol and tobacco use during pregnancy on birth outcomes, *Roczniki Panstwowegego Zakładu Higieny* 69(1), 45-54.
- Hartel, T.C., Turawa, E.B., Oelofse, A., et al., 2022, Effect of maternal cigarette smoking and alcohol consumption during pregnancy on birth weight and cardiometabolic risk factors in infants, children and adolescents: a systematic review protocol, *British Medical Journal Open* 12(7), e061811. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-061811>.
- Himes, S.K., Dukes, K.A., Tripp, T. et al.; Prenatal Alcohol in SIDS and Stillbirth (PASS) Network, 2015, Clinical sensitivity and specificity of meconium fatty acid ethyl ester, ethyl glucuronide, and ethyl sulfate for detecting maternal drinking during pregnancy, *Clinical Chemistry* 61(3), 523-32. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2014.233718>.
- Hofmeyr, F., Groenewald, C.A., Nel, D.G., et al.; PASS Network., 2014, Fetal heart rate patterns at 20 to 24 weeks gestation as recorded by fetal electrocardiography, *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* 27(7), 714-8. <https://doi.org/10.3109/14767058.2013.836485>.
- Hurley, L.L., Taylor, R.E., Tizabi, Y., 2012, Positive and negative effects of alcohol and nicotine and their interactions: a mechanistic review, *Neurotoxicity Research* 21(1), 57-69. <https://doi.org/10.1007/s12640-011-9275-6>.
- Inoue, Y., Yao, L., Hopf, F.W., et al., 2007, Nicotine and ethanol activate protein kinase A synergistically via G(i) betagamma subunits in nucleus accumbens/ventral tegmental cocultures: the role of dopamine D(1)/D(2) and adenosine A(2A) receptors, *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 322(1), 23-9. <https://doi.org/10.1124/jpet.107.120675>.
- Iyasu, S., Randall, L.L., Welty, T.K., et al., 2002, Risk factors for sudden infant death syndrome among northern plains Indians, *Journal of the American Medical Association* 288(21), 2717-23. <https://doi.org/10.1001/jama.288.21.2717>.
- Jackson, D.J., Batiste, E., Rendall-Mkosi, K., 2007, Effect of smoking and alcohol use during pregnancy on the occurrence of low birthweight in a farming region in South Africa, *Paediatric and Perinatal Epidemiology* 21(5), 432-40. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3016.2007.00847.x>.
- Johnson, K.A., Jennison, K.M., 1992, The drinking-smoking syndrome and social context, *International Journal of Mental Health and Addiction* 27(7), 749-92. <https://doi.org/10.3109/10826089209068767>.
- Jones, K.L., Smith, D.W., 1973, Recognition of the fetal alcohol syndrome in early infancy, *Lancet* 302(7836), 999-1001. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(73\)91092-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(73)91092-1).
- Jones, K.L., Smith, D.W., 1975, The fetal alcohol syndrome, *Teratology* 12(1), 1-10. <https://doi.org/10.1002/tera.1420120102>.
- Jonker, D., Melly, B., Brink, L.T., et al., 2023, Associations between prenatal alcohol and tobacco exposure on Doppler flow velocity waveforms in pregnancy: a South African study, *BMC Pregnancy and Childbirth* 23(1), 601. <https://doi.org/10.1186/s12884-023-05881-2>.
- Kinney, H.C., Haynes, R.L., 2019, The Serotonin Brainstem Hypothesis for the Sudden Infant Death Syndrome, *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology* 78(9), 765-779. <https://doi.org/10.1093/jnen/nlz062>.
- Kleinman, J.C., 1990, Infant mortality among racial/ethnic minority groups, 1983-1984, *MMWR CDC Surveillance Summaries* 39(3), 31-9.
- Lamotte, C., Iliescu, C., Libersa, C., et al., 2011, Increased intima-media thickness of the carotid artery in childhood: a systematic review of observational studies, *European Journal of Pediatrics* 170(6), 719-29. <https://doi.org/10.1007/s00431-010-1328-y>.
- Little, H.J., 2000, Behavioral mechanisms underlying the link between smoking and drinking, *Alcohol Research & Health* 24(4), 215-24.
- Lopes, C.F., De Angelis, B.B., Prudente, H.M., et al, R.I., 2012, Concomitant consumption of marijuana, alcohol and tobacco in oral squamous cell carcinoma development and progression: recent advances and challenges, *Archives of Oral Biology* 57(8), 1026-33. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2012.05.006>.
- Lucchini, M., Shuffrey, L.C., Nugent, J.D., et al., 2021, Effects of prenatal exposure to alcohol and smoking on fetal heart rate and movement regulation, *Frontiers in Physiology* 12, 594605. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.594605>.
- MacDorman, M.F., Atkinson, J.O., 1999, Infant mortality statistics from the 1997 period linked birth/infant death data set, *National Vital Statistics Reports* 47(23), 1-23.
- Maritz, W., 1996, Fetal alcohol syndrome focus, *South African Medical Journal* 86(10), 1231.
- Marshall, A.T., Bodison, S.C., Uban, K.A., et al., 2022, The impact of prenatal alcohol and/or tobacco exposure on brain structure in a large sample of children from a South African birth cohort, *Alcohol, Clinical and Experimental Research* 46(11), 1980-1992. <https://doi.org/10.1111/acer.14945>.
- May, P.A., Brooke, L., Gossage, J.P., et al., 2000, Epidemiology of fetal alcohol syndrome in a South African community in the Western Cape Province, *American Journal of Public Health* 90(12), 1905-12. <https://doi.org/10.2105/AJPH.90.12.1905>.
- May, P.A., Gossage, J.P., Marais, A.S., et al., 2008, Maternal risk factors for fetal alcohol syndrome and partial fetal alcohol syndrome in South Africa: a third study, *Alcohol, Clinical and Experimental Research* 32(5), 738-53. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2008.00634.x>.
- May, P.A., Hasken, J.M., De Vries, M.M., et al., 2023, Maternal and paternal risk factors for fetal alcohol spectrum disorders: Alcohol and other drug use as proximal influences, *Alcohol, Clinical & Experimental Research (Hoboken)* 47(11), 2090-2109. <https://doi.org/10.1111/acer.15193>.
- May, P.A., Tabachnick, B., Hasken, J.M., et al., 2024, Clinical features of typically developing children with and without prenatal alcohol exposure, *Journal of Pediatrics* 281, 114327. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2024.114327>.
- McCorkindale, A.N., Sheedy, D., Kril, J.J., et al., 2016, The effects of chronic smoking on the pathology of alcohol-related brain damage, *Alcohol* 53, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2016.04.002>.
- Mehta, M.C., Jain, A.C., Billie, M., 1998, Combined effects of alcohol and nicotine on cardiovascular performance in a canine model, *Journal of Cardiovascular Pharmacology* 31(6), 930-6. <https://doi.org/10.1097/00005344-199806000-00018>.
- Morel, C., Montgomery, S., Han, M.H., 2019, Nicotine and alcohol: the role of midbrain dopaminergic neurons in drug reinforcement, *European Journal of Neuroscience* 50(3), 2180-2200. <https://doi.org/10.1111/ejn.14160>.
- Odendaal, H., Dukes, K.A., Elliott, A.J., et al; Prenatal Alcohol in SIDS and Stillbirth (PASS) Network, 2021, Association of prenatal exposure to maternal drinking and smoking with the risk of stillbirth, *JAMA Network Open* 4(8), e2121726. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.21726>.
- Odendaal, H., Pattinson, R., Schubert, P., et al., 2022, The key role of examining the placenta in establishing a probable cause for stillbirth, *Placenta* 129, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2022.10.001>.
- Odendaal, H., Wright, C., Schubert, P., et al., 2020a, Associations of maternal smoking and drinking with fetal growth and placental abruption, *European Journal of Obstetrics and Gynecology and Reproductive Biology* 253, 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2020.07.018>.
- Odendaal, H.J., Brink, L.T., Nel, D.G., et al., 2020b, Smoking and drinking habits of women in subsequent pregnancies after specific advice about the dangers of these exposures during pregnancy, *South African Medical Journal* 110(11), 1100-1104. <https://doi.org/10.7196/SAMJ.2020.v110i11.14667>.
- Odendaal, H.J., Elliott, A., Kinney, H.C., et al.; Prenatal Alcohol and SIDS and Stillbirth (PASS) Network, 2011, Consent for autopsy research for unexpected death in early life, *Obstetrics and Gynecology* 117(1), 167-171. <https://doi.org/10.1097/AOG.0b013e318200cb17>.
- Odendaal, H.J., Steyn, D.W., Elliott, A., et al., 2009, Combined effects of cigarette smoking and alcohol consumption on perinatal outcome, *Gynecologic and Obstetric Investigation* 67(1), 1-8. <https://doi.org/10.1159/000150597>.
- Okah, F.A., Cai, J., Hoff, G.L., 2005, Term-gestation low birth weight and health-compromising behaviors during pregnancy, *Obstetrics and Gynecology* 105(3), 543-50. <https://doi.org/10.1097/01.AOG.0000148267.23099.b7>.
- Palmer, C., 1985, Fetal alcohol effects - incidence and understanding in the Cape, *South African Medical Journal* 68(11), 779-80.
- Pattinson, R.C., De Jong, G., Theron, G.B., 1989, Primary causes of total perinatally related wastage at Tygerberg Hospital, *South African Medical Journal* 75(2), 50-3.
- Pereira Vasconcelos, D.F., Dias da Silva, M.A., Rocha Marques, M., et al., 2013, Effects of simultaneous nicotine and alcohol use in periodontitis progression in rats: A histomorphometric study, *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* 5(2), e95-9. <https://doi.org/10.4317/jced.51047>.
- Pielage, M., El Marroun, H., Odendaal, H.J., et al., 2023, Alcohol exposure before and during pregnancy is associated with reduced fetal growth: the Safe Passage Study, *BMC Medicine* 21(1), 318. <https://doi.org/10.1186/s12916-023-03020-4>.
- Ramlochansingh, C., Taylor, R.E., Tizabi, Y., 2011, Toxic effects of low alcohol and nicotine combinations in SH-SY5Y cells are apoptotically mediated, *Neurotoxicity Research* 20(3), 263-9. <https://doi.org/10.1007/s12640-011-9239-x>.
- Salaspuro, V., Salaspuro, M., 2004, Synergistic effect of alcohol drinking and smoking on in vivo acetaldehyde concentration in saliva, *International Journal of Cancer* 111(4), 480-3. <https://doi.org/10.1002/ijc.20293>.
- Sansone, A., Di Dato, C., De Angelis, C., et al., 2018, Smoke, alcohol and drug addiction and male fertility, *Reproductive Biology and Endocrinology* 16(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0320-7>.
- Seitz, H.K., Cho, C.H., 2009, Contribution of alcohol and tobacco use in gastrointestinal cancer development, *Methods in Molecular Biology* 472, 217-41. https://doi.org/10.1007/978-1-60327-492-0_9.
- Shuffrey, L.C., Myers, M.M., Isler, J.R., et al; PASS Network, 2020, Association Between Prenatal Exposure to Alcohol and Tobacco and Neonatal Brain Activity: Results From the Safe Passage Study, *JAMA Network Open* 3(5), e204714. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.4714>.

- Sininger, Y.S., Condon, C.G., Gimenez, L.A., et al., 2021, Prenatal exposure to tobacco and alcohol alters development of the neonatal auditory system, *Developmental Neuroscience* 43(6), 358-375. <https://doi.org/10.1159/000518130>.
- Slater, C.A., Jackson, A., Muldoon, P.P., et al., 2016, Nicotine enhances the hypnotic and hypothermic effects of alcohol in the mouse, *Alcohol, Clinical and Experimental Research* 40(1), 62-72. <https://doi.org/10.1111/acer.12918>.
- Stirnemann, J., Villar, J., Salomon, L.J., et al.; International Fetal and Newborn Growth Consortium for the 21st Century (INTERGROWTH-21st), 2017 International estimated fetal weight standards of the INTERGROWTH-21st Project, *Ultrasound Obstet Gynecol* 2017, 49(4), 478-486. <https://doi.org/10.1002/uog.17347>.
- Truitt, W.A., Hauser, S.R., Deehan, G.A. Jr, et al., 2015, Ethanol and nicotine interaction within the posterior ventral tegmental area in male and female alcohol-preferring rats: evidence of synergy and differential gene activation in the nucleus accumbens shell, *Psychopharmacology (Berl)* 232(3), 639-49. <https://doi.org/10.1007/s00213-014-3702-3>.
- Uban, K.A., Jonker, D., Donald, K.A., et al., 2024, Associations between community-level patterns of prenatal alcohol and tobacco exposure on brain structure in a non-clinical sample of 6-year-old children: a South African pilot study, *Acta Neuropsychiatrica* 36(2), 87-96. <https://doi.org/10.1017/neu.2022.34>.
- Viljoen, D., 1999, Fetal alcohol syndrome, *South African Medical Journal* 89(9), 958-60.
- Viljoen, D.L., Gossage, J.P., Brooke, L., et al., 2005, Fetal alcohol syndrome epidemiology in a South African community: a second study of a very high prevalence area, *Journal of Studies on Alcohol and Drugs* 66(5), 593-604. <https://doi.org/10.15288/jsa.2005.66.593>.
- Vivekanandarajah, A., Nelson, M.E., Kinney, H.C., et al.; PASS Network, 2021, Nicotinic receptors in the brainstem ascending arousal system in SIDS with analysis of pre-natal exposures to maternal smoking and alcohol in high-risk populations of the safe passage study, *Frontiers in Neurology* 12, 636668. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.636668>.
- Warren, K.R., Calhoun, F.J., May, P.A., et al., 2001, Fetal alcohol syndrome: an international perspective, *Alcohol, Clinical and Experimental Research* 25(5F Suppl. ISBRA), 202S-206S. <https://doi.org/10.1097/00000374-200105051-00033>.
- Xia, Y., Rebello, V., Bodison, S.C., et al., 2023, Contextualizing the impact of prenatal alcohol and tobacco exposure on neurodevelopment in a South African birth cohort: an analysis from the socioecological perspective, *Frontiers in Integrative Neuroscience* 17, 104788. <https://doi.org/10.3389/fnint.2023.1104788>.

Faktore wat die prestasie van die Johannesburgse aandelebeurs beïnvloed het, 2010-2022

Ivan van der Merwe, Nico Keyser

Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Nico Keyser **E-pos:** keyserjn@ufs.ac.za

Om te kan bydra tot ekonomiese groei en ontwikkeling moet 'n aandelemark, as 'n leidende ekonomiese aanwyser, die makro-ekonomiese grondslae van 'n land weerspieël deur op politieke, ekonomiese en ander beduidende gebeure te reageer. Dit geskied deur verwagte opbrengs-aanpassings vir maatskappye wat op die aandelemark genoteer is. Hierdie artikel gee 'n historiese perspektief op hoe politieke en ekonomiese gebeure weerspieël word in opbrengste op die JSE (die Johannesburgse aandelebeurs) tussen 2010 en 2022. Met behulp van gebeurtenisstudiemetodologie is bepaal of die 20 beste en 20 slegste weeklikse opbrengstydperke op die JSE se indeks van alle aandele (IAA) (Engels all-share index (ALSI)) saamgeval het met plaaslike en internasionale gebeure. Die prestasie van die JSE gedurende hierdie tydperk is oorheers deur gebeure wat verband hou met ekonomieë en aandelemarkte wat ná die wêreldwye finansiële krisis, die aansienlike invloed van die VSA en China en die verwoestende uitwerking van die Covid-19-pandemie gedurende 2020 herstel het. Hierdie studie toon dat hoewel die JSE wêreldwye makro-ekonomiese en politieke veranderinge duidelik en onmiddellik weerspieël het, dit min of kortstondig op plaaslike ontwikkelings gereageer het. Bogenoemde plaaslike ontwikkelings en strukturele tekortkominge het egter gesamentlik veroorsaak dat aandelemarkprestasie in Suid-Afrika vanaf 2013 van dié van die ontwikkelde wêreld ontkoppel het, wat bygedra het tot swak plaaslike markprestasie, verminderde beleggersvertroue en verhoogde kapitaaluitvloei.

Trefwoorde: Johannesburgse aandelebeurs (FTSE/JSE); opbrengste; politieke gebeure; ekonomiese gebeure; Covid-19-pandemie.

Factors that affected the performance of the Johannesburg Stock Exchange, 2010-2022: To contribute to economic growth and development, a stock market, as a leading economic indicator, should reflect the macroeconomic fundamentals of a country by reacting to political, economic and other significant events via return adjustments for companies listed on the stock market. This article aims to provide a historical perspective on how political and economic events reflected in returns on the Johannesburg Stock Exchange (JSE) between 2010 and 2022. An event study methodology establishes whether the top 20 best and worst weekly return periods on the JSE all-share index (ALSI) coincided with local and international events. The performance of the JSE during this period is dominated by events related to recovering economies and stock markets after the global financial crisis, substantial influence by the U.S. and China, and the devastating effect of the Covid-19 pandemic during 2020. The study found that the JSE reflected global macroeconomic and political changes but showed little response to local developments. While global events such as the US and China's economic activities significantly influenced the JSE, local South African events had a limited and short-lived impact. Since 2013, South Africa's share market performance has disconnected from the developed world, leading to poor local performance and reduced investor confidence. The Covid-19 pandemic had a devastating effect in 2020, causing extreme volatility and capital outflows, but the market recovered swiftly afterwards. The study concludes that although the JSE clearly and immediately reflected global macroeconomic and political changes, it responded little, or only briefly, to local developments. However, these local developments and structural deficiencies collectively have caused share market performance in South Africa to disconnect from the developed world since 2013, contributing to poor local market performance, reduced investor confidence and increased capital outflows.

Keywords: Covid-19 pandemic; economic events; Johannesburg Stock Exchange (FTSE/JSE); political events; returns.

Inleiding en agtergrond

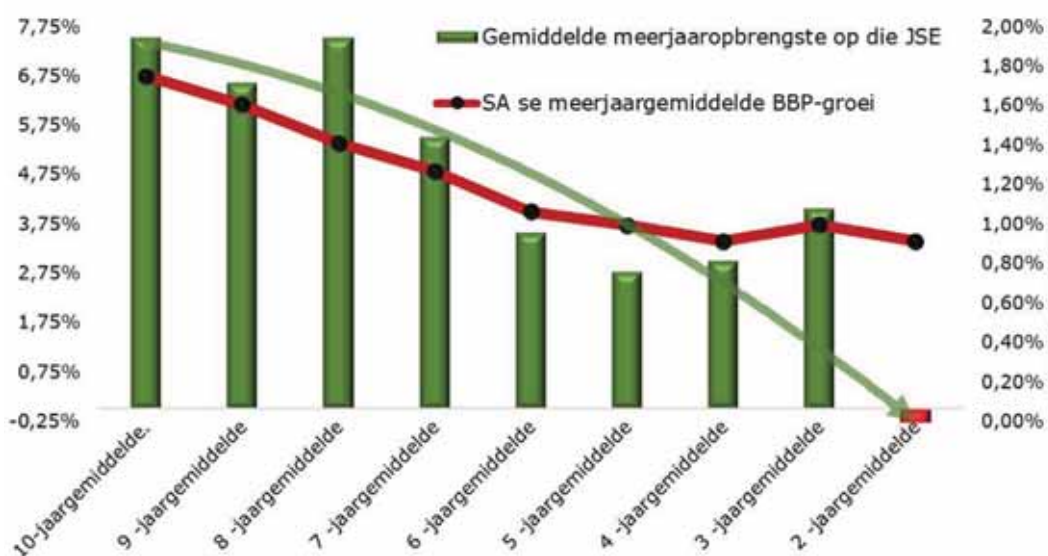
In watter mate weerspieël politieke ontwikkelings en makro-ekonomiese kragte die winsgewendheid en wisselvalligheid van beleggings in JSE-genoteerde maatskappye in Suid-Afrika? Om hierdie vraag te beantwoord, word 'n beskrywende benadering gevolg om 'n historiese perspektief te gee op hoe beduidende politieke en ekonomiese ontwikkelings en ander eksterne gebeure algehele opbrengste op die JSE sedert die wêreldwye finansiële krisis (WFK) in die tydperk 2010 tot 2022 weerspieël het. Die studie poog dus om die bewering te verifieer dat 'n goed funksionerende aandelemarkt as 'n barometer of meetinstrument dien wat die gesondheid van die algehele ekonomie aandui (Moolman en Du Toit 2005).

Die geskiedenis van die Johannesburgse aandelebeurs (die JSE) – gestig in 1887 – weerspieël ontwikkelings in binnelandse regeringsbeleid, verreikende veranderinge in die wêreldwye monetêre stelsel, fluktuasies in inflasie, verskeie aandele-markineenstortings (soos die “Groot Depressie” en “Groot Resessie”), dramatiese politieke ontwikkelings, die opkoms van meer as een ekonomiese mag in die wêreld en verskeie verwarrende tye van irrasionaliteit, hebsug en vrees by beleggers, om maar enkeles te noem (Lukasiewicz 2019; Byrant 1987). In hierdie opsig het die tweede dekade van die 21e eeu nie verskil nie, aangesien dit begin het met 'n trae wêreldwye herstel van die Amerikaanse behuisingekrisis, wat uiteindelik gelei het tot die wêreldwye finansiële krisis in 2007 (Keyser et al., 2020). Hierdie krisistydperk is gekenmerk deur stygende vlakke van soewereine skuld, met globale gemiddelde openbare skuld wat van ongeveer 70% van die bruto binnelandse produk (BBP) in 2000 tot ongeveer 100% in 2009 toegeneem het (Abbas et al., 2011). Hierdie toename was die gevolg daarvan dat regerings groot fiskale stimulusinisiatiewe moes neem om hul ekonomieë en finansiële stelsels te ondersteun, terwyl hulle terselfdertyd erg verminderde inkomstestrome vanweë ingekrimpte ekono-

miese aktiwiteit, minder finansiële sektorwinste en laer batepryse ervaar het.

Die vooruitsigte vir die 2010's het aanvanklik nie veel beter gelyk nie: daar was waarskuwingstekens dat die wêreld ekonomie op die punt van nog 'n dekade van somberheid ingestel was weens swak produktiwiteits groei, 'n verouderende arbeidsmag en swak beleggingsvlakke (Addison et al., 2011). Hierdie waarskuwings was egter oordrewe aangesien ekonomieë soos die VSA stabiele ekonomiese groei ervaar het, terwyl China tussen 2009 en 2019 groei van 6% tot 10% behaal het. Gevolglik het die VSA in 2009 'n bulmark begin ervaar wat tot die middel van 2022 voortgeduur het voordat 'n geleidelike afwaartse regstelling plaasgevind het. Daarteenoor het Suid-Afrika 'n bestendige afname in ekonomiese groei getoon – groei wat sedert 2013 skaars 1% per jaar oortref het. Hierdie swak prestasie is weerspieël in die langtermynprestasie van die JSE, terwyl JSE-opbrengste op die kort termyn dikwels wisselvallig was as gevolg van 'n hoë korrelasie met internasionale aandele markte (Marozva 2017), wisselvallige kommoditeitspryse (Mongale en Hinaunye, 2014) en beduidende internasionale ekonomiese en politieke ontwikkelings. Hierdie faktore het Suid-Afrika baie vatbaar gemaak vir finansiële “besmetting” en tydperke van kapitaalvlug, wat oor die afgelope dekade vererger is deur twyfelagtige binnelandse politieke en ekonomiese ontwikkelings en bygedra het tot geleidelik verminderende ekonomiese groei en gemiddelde opbrengste op die JSE. Dit het ook die vermoë belemmer om kapitaal op plaaslike en internasionale markte te verkry (kyk Figuur 1).

Figuur 2 som tydperke tussen Januarie 2010 en Desember 2022 op waarin die JSE onderskeidelik die 20 bes- en swakpresterende weke beleef het. Figuur 2 dien as 'n visuele hulpmiddel om die duidelikste opbrengsvariëtietydperke oor daardie 13 jaar te identifiseer. Uit Figuur 2 kan twee onmiddellike waarnemings gemaak word: Eerstens kom uiterste opbrengste dikwels in



* Opbrengste sluit berekenings van dividendherbeleggings uit

Figuur 1: Meerjaargemiddelde BBP-groei en JSE-opbrengste (Jan 2010-Des 2019) Bron: S&P Global en eie berekening

klusters voor, wat dui op die teenwoordigheid in daardie stadium van een (of meer) groot, dominante faktor(e). Vir die tydperk onder bespreking dui Figuur 2 die teenwoordigheid van sewe verskillende klustertydperke aan. Tweedens kom tydperke van uiterste opbrengs selde in isolasie voor en volg tydperke van groot winste dikwels kort ná tydperke van groot verliese, of andersom.

Hierdie agtergrond het die navorsers aangespoor om die prestasie van die JSE, met inbegrip van die hoeveelheid ekwiteitskapitaal wat verkry is en buitelandse beleggings-transaksies, te evalueer vir die tydperk sedert die wêreldwye finansiële krisis (WFK) tot ná die Covid-19-tydperk. Hierdie artikel is daarop gemik om die ekonomiese en politieke ontwikkelings te identifiseer wat gedurende hierdie tydperk die meeste in JSE-opbrengste en beleggerspersepsies weerspieël word, en te bepaal of die Covid-19-pandemie 'n verbygaande of langdurige effek gehad het.

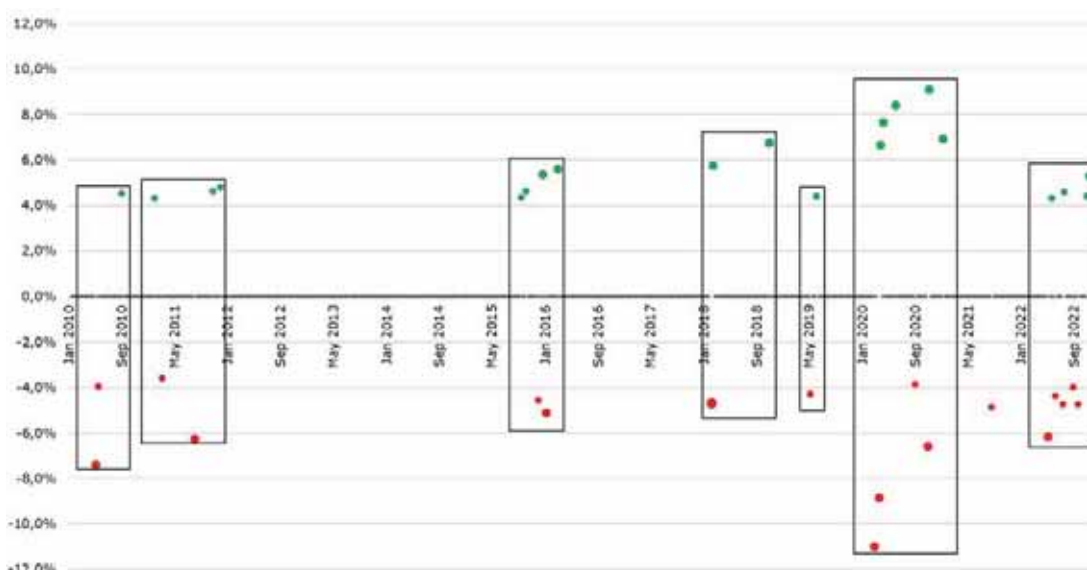
Die opbrengskoers-klustertydperke in Figuur 2 kan belynd word met verskeie ekonomiese, politieke en natuurgebeure wat nuusberigte en marksentiment in daardie stadium oorheers het. Aangesien hierdie gebeure hetsy internasionaal of op die tuisfront plaasgevind het, fokus hierdie artikel op die gebeure in daardie twee breë strome. Ná hierdie inleidende afdeling, ontleed afdeling 2 sekere beduidende internasionale gebeure sedert die WFK, terwyl afdeling 3 op plaaslike gebeure konsentreer. Wat die internasionale front betref, beskryf afdeling 2.1 die Europese skuld krisis, wat die tweede dekade van die 21e eeu ingelui het, terwyl afdeling 2.2 'n beskrywing van die uitwerking van die Amerikaanse fiskale en monetêre beleid en politieke besluite bevat. In afdeling 2.3 word die groeiende dominansie van China beskryf, asook die gevolglike handelsoorlog met die VSA en hoe die invloed van China se groei-honger die kommoditeitsmarkte en JSE se prestasie aansienlik beïnvloed het. In afdeling 2.4 word die uitwerking van Brittanje se besluit om die Europese Unie te verlaat ontleed, terwyl die markreaksie as gevolg van die uitwerking van Covid-19 in afdeling 2.5 beskryf word. Afdeling 3 verduidelik hoe beduidende politieke en

ekonomiese ontwikkelings sedert die WFK-tydperk veroorsaak het dat die aandele mark in Suid-Afrika ontkoppel het van positiewe globale ontwikkelings in die VSA en meer van China afhanklik geword het. Die afdeling dui ook aan dat, hoewel geïsoleerde tydperke van uiterste opbrengsonbestendigheid weens sekere plaaslike gebeure ontstaan het, die uitwerking relatief kortstondig en beperk was.

Internasionale ekonomiese en politieke ontwikkelings in die tydperk ná die wêreldwye finansiële krisis, 2010-2022

Hoewel die eerste sewe jaar van die 21e eeu meestal 'n tydperk van voorspoed was, is dit skielik deur die WFK van 2007-2009 beëindig. Die WFK-krisis het 'n ernstige "finansiële besmettingsuitwerking" op die Suid-Afrikaanse ekonomie en die JSE gehad. Soos in die geval van talle krisistydperke waarin oor-matige beleggersvrees voorgekom het, het die tydperk ná die krisis egter ook vir beleggers 'n winsgewende herstel tydperk gebied. Die FTSE/JSE-indeks van alle aandele (IAA; Engels: "ALSI") het van 2009 tot aan die einde van 2010 met 50% (byna 60% op 'n totale opbrengsindeksbasis) verbeter, wat soortgelyke bewegings in internasionale aandele markte en hoër kommoditeitspryse gevolg het. Gedurende hierdie eerste paar jaar ná die WFK het nie-inwonende beleggers ook na Suid-Afrikaanse markte teruggekeer namate sentiment en risikoaptiyt verbeter het (Labuschagne et al., 2016). Gevolglik het die totale waarde van ekwiteitskapitaal wat gedurende 2009 deur JSE-genoteerde maatskappye verkry is (hoewel hoofsaaklik deur die hulpbronne-finansiële sektor), R107 miljard beloop – 40% hoër as in 2008 (SARB 2011).

'n Primêre rede vir die voortgesette herstel van die wêreld-ekonomie gedurende 2010 was die stewige monetêre stimulus deur sentrale banke wat rentekoerse naby aan nul gehou het (kyk Figuur 3). Hierdie omgewing van lae rentekoerse het deur die grootste deel van die 2010's voortbestaan, wat dit vir regerings moontlik gemaak het om groter begrotingstekorte te



Figuur 2: Top-20-tydperke van winste en verliese (2010-2022)

Bron: S&P Global en eie berekening

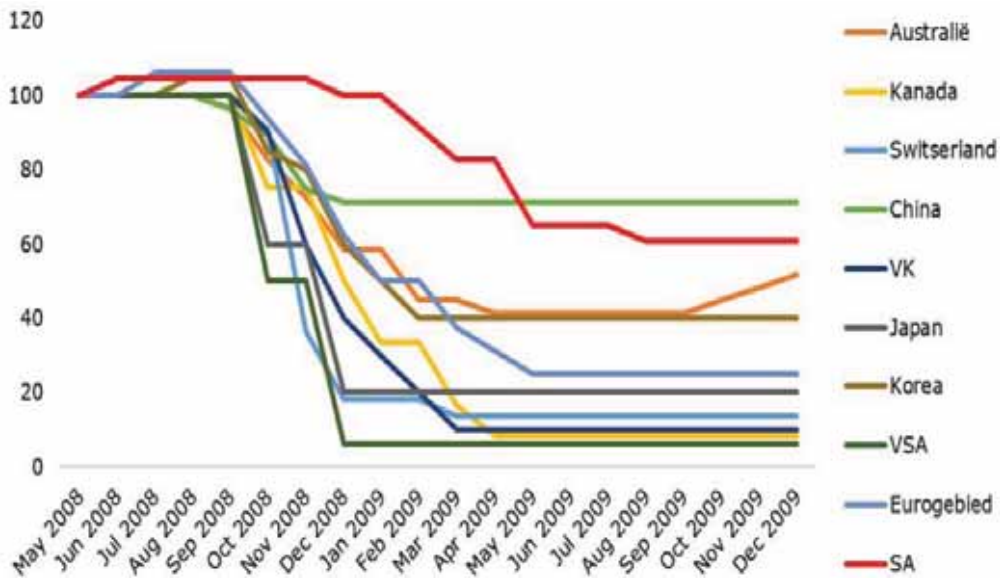
dra, maar wat ook geen ruimte gelaat het om rentekoerse te verlaag as 'n verdere ekonomiese afswaai sou ontstaan nie. Ander onkonvensionele monetêre beleidsmaatreëls het dus voortgegaan om likiditeit aan ekonomieë te verskaf.

Aan die fiskale kant het stimuluspakkette deur regerings, veral die VSA, ook die opswaai van die aandelemark versterk, en gevolglik het Amerikaanse aandele tussen 2010 en 2020 die meeste winste opgelewer. Volgens die globale beleggingsbank Goldman Sachs was Amerikaanse aandelemarkopbrengste oor die afgelope 140 jaar gemiddeld 9,2% per dekade. Tussen 2010 en 2020 het die S&P 500 egter beter as hierdie historiese gemiddelde gevaar en 'n jaarlikse gemiddelde opbrengs van meer as 13,5% behaal. Soos in Figuur 4 aangedui, het dit die res van die wêreld in dieselfde tydperk ver oortref. Nietemin het die oplewing in aandele gedurende hierdie tydperk wêreldwyd voorgekom, en die gemiddelde opbrengste, gebaseer op land-indeksdata en binnelandse geldeenhede, het 120% in Japan en Duitsland, 100% in Suid-Afrika en sowat 60% in ander wêreld-

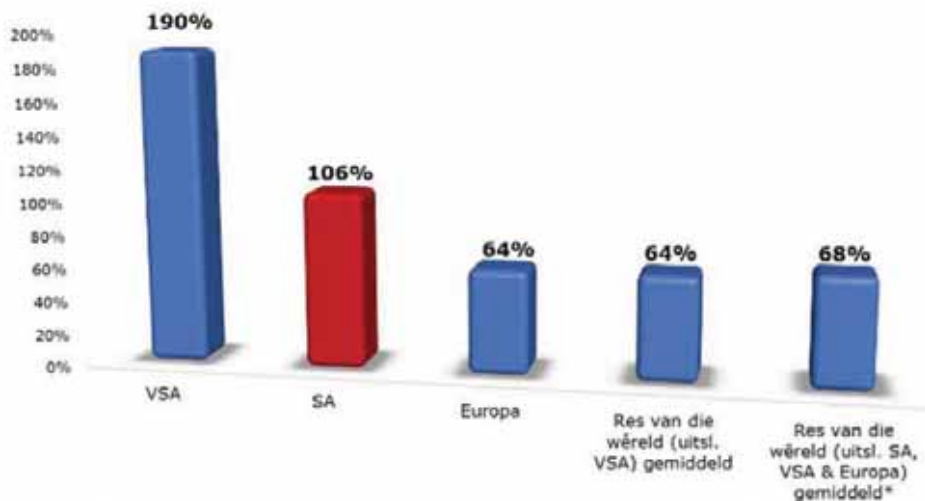
aandelemarkte oortref. Hierdie herstel in groei ná die WFK het nie op 'n egalige, lineêre wyse verloop nie, aangesien dit voortdurend onderbreek is deur ongunstige wêreldgebeure, waarvan die eerste in 2010 voorgekom het, toe die Europese soewereine skuldkrisis momentum begin kry het.

Europese skuldkrisis

Hierdie skuldkrisis het in 2009 in Griekeland ontstaan en oorgespoel na ander vatbare Europese lande, soos Portugal, Italië en Spanje, asook Ierland, gesamentlik bekend as die PIIGS-lande. Die effek van die EU-skuldkrisis is na ander lande oorge- dra via makro-ekonomiese- en finansiëlemarkkanale, wat uit-voere en wisselkoerse ingesluit het, en blootgestelde kommo- diteituitvoerlande wat sterk kommersiële bande met Europa het (Kablan en Kaabia 2018). Suid-Afrika was geen uitsondering nie, aangesien aandeelpryse op die JSE negatief gereageer het op wisselvallige stygings in Griekse en ander PIIGS-lande se effekte-opbrengste (kyk Figuur 5 & 6).



Figuur 3: Rentekoerse van die vernaamste sentrale banke (Indeks: Mei 2008 = 100)



* Res van wêreld: Australië, Brasilië, China, Egipte, Indië, Japan, Korea, Rusland, Singapoer & SA.

Opbrengste gemeet in plaaslike geldeenhede en sluit dividendopbrengs uit.

Figuur 4: Opbrengste van die vernaamste aandelemarkte 2010-2020



Figuur 5: JSE teenoor Griekse 10-jaarrentekoerse (Mei 2010-Oktober 2010) Indekswaardes (Des 2009 = 100)

Toenemende probleme met Europese soewereine skuld het die EU en die IMF genoop om verskeie nood- finansiële ondersteuningsfasiliteite daar te stel, waarvan die eerste vroeg in Mei 2010 op Griekeland gefokus het (Copelovitch et al., 2016). Die skuldprobleme het aanvanklik meer markonsekerheid oor die Griekse finansiële situasie geskep, wat hoëfrekwensiehandelaars in staat gestel het om op 6 Mei 2010 'n skielike markneerstorting te veroorsaak. Die gevolg hiervan was 'n beduidende skerp styging in intradagwisselvalligheid in sekuriteitemarkte in die VSA sowel as oor die wêreld heen. Binne 'n paar minute het die Amerikaanse aandelemarkte aansienlike tydelike verliese getoon wat meer as \$1 000 miljard se waarde laat verdamp het voordat dit gedeeltelik herstel het (CTTC en SEC, 2010). Die JSE was ook aan hierdie markondoeltreffendheid blootgestel en het teen verhandelingsluiting daardie dag byna 4% in markwaarde verloor. Gevolglik het die JSE in eerste week van Mei 2010 die vierdegrootste weeklikse verlies in die tydperk Januarie 2010 tot Desember 2022 getoon, naamlik -7,41% (vyfdegrootste maandelikse verlies). Aanvanklik het hierdie eerste Griekse reddingspakket nie beleggersentiment baie verbeter nie. Die IAA het vir 'n paar weke daarna steeds wisselvallig en onder druk gebly, maar het in September mettertyd begin herstel. Hierdie herstel was deels aan 'n tweede fase van die Griekse befondingsreddingspakket wat vroeg in September beskikbaar geword het te danke, maar ook aan beter as verwagte ekonomiese data afkomstig uit die VSA en China, wat veroorsaak het dat die VSA die beste eerste handelsweek van September sedert 1982 ervaar het. Al hierdie positiewe sentiment het ook die JSE beïnvloed, met die IAA wat, vir die tydperk 2010-2022, die 15e-hoogste weeklikse opbrengs gedurende die eerste week van September aangeteken het (kyk Figuur 2, 5 en 6).

Ten spyte van voortslepende senuweeagtigheid oor die Europese skuld krisis het die JSE in die res van 2010 steeds hoër geneig, en globale aandelemarkte en kommoditeitspryse gevolg. Hierdie algemene opwaartse neiging was waarneembaar in die prys:verdiens- verhouding van JSE-genoteerde maatskappye, wat gemiddeld van 8,4 in 2009 tot 20,7 in 2010 toegeneem het (SARB 2011). Hierdie gunstige toestande het daartoe bygedra dat die aandelekapitaal wat deur JSE-genoteerde maatskappye op plaaslike en internasionale primêre markte verkry is, in 2010 tot R80,9 miljard toegeneem het. Soos verwag kon word, is hierdie kapitaal hoofsaaklik in die hulpbronssektor (65%), maar ook in die finansiële sektor (17%)



Figuur 6: JSE teenoor PIIGS 10-jaarrentekoerse (Januarie 2010-Desember 2010) Indekswaardes (Des 2009 = 100)

en die nywerheidssektor (11%) verkry. In daardie stadium het die Wêreld-Ekonomiese Forum se Globale Mededingendheidsverslag vir 2010-11 Suid-Afrika se wende uit 139 lande geplaas wat betref die gemak waarmee geld verkry kon word deur aandele op die aandelemark uit te reik. Ten spyte van hierdie hoë posisie op die rangorde was die bedrag wat JSE-genoteerde maatskappye in 2010 verkry het, 24% laer as in 2009; dit was 'n voortsetting van die stagnerende en uiteindelik dalende neiging van ekwiteitskapitaal wat sedert 2000 verkry is.

Dwarsdeur 2011 was die EU-skuld krisis 'n voortslepende probleem wat goeie markprestasie wêreldwyd óf lamgelê het óf 'n hupstoot gegee het. So byvoorbeeld het EU-leiers in die laaste week van Oktober 2011 'n besluit oor 'n beduidende Griekse skuldherstruktureringsooreenkoms geneem, en verhoogde bankkapitaalvereistes het weer daarin geslaag om die groeiende Europese skuld krisis te temper (Zettelmeyer et al., 2013). Dit was die primêre rede vir die JSE se vinnige herstel in Oktober 2011, toe dit die vierdehoogste maandelikse opbrengs in die tydperk 2010-2022 aangeteken het. Die herstel was nie 'n nuwe gebeurtenis nie, aangesien verbeterde internasionale risikoaptiyt en 'n vermoedelike werkbare oplossing vir die Europese krisis veroorsaak het dat die FTSE/JSE-indeks van alle aandele gedurende Februarie 2011 'n nuwe hoogtepunt van byna 33 000 bereik het, toe die JSE sy 19e-beste week van die oorsigtydperk aangeteken het. In teenstelling met die momentum wat in Oktober 2011 op die JSE uit nog 'n rondte van voorgestelde EU-skuldoplossings verkry is, is die momentum wat vroeg in 2011 uit sulke inisiatiewe verkry is, oorskadu deur twee belangrike gebeurtenisse: die Fukushima-kernramp op 11 Maart, wat die 20e-swakste weeklikse IAA-opbrengs op die JSE veroorsaak het, en die toenemende kommer oor fiskale skuld wat uit die VSA afkomstig was en 'n baie beduidender en langduriger effek gehad het.

In die volgende afdeling word beskryf hoe die VSA se fiskale en monetêre beleidsbesluite dikwels aandeelpryse, wisselvallighedsvlakke en kapitaalvloei in ontwikkelende markte soos Suid-Afrika oor die afgelope dekade beïnvloed het.

Amerikaanse fiskale en monetêre beleid

Soos verwag kan word, is finansiële markte in 'n klein oop ekonomie soos dié van Suid-Afrika baie blootgestel aan monetêre, fiskale en politieke besluite in die VSA. Figuur 7 dui

op 'n verstommende ooreenkoms met betrekking tot die weeklikse opbrengste in SA (IAA) en die VSA (S&P500) waar daar die beste en slegste prestasie was. Dit is nie verbasend dat Amerikaanse gebeure dikwels ander internasionale of beduidende binnelandse ontwikkelings oorskadu nie, soos dit duidelik in hierdie afdeling blyk nie.

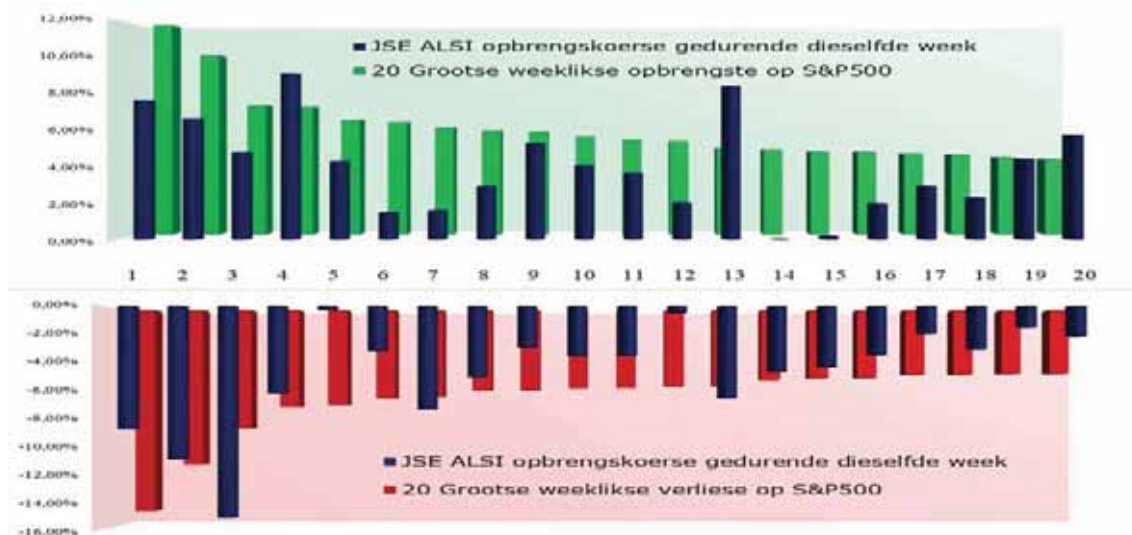
In reaksie op die krisis in 2008 het sentrale banke oor die wêreld heen rentekoerse aansienlik verlaag om ekonomiese te stimuleer en die gevolge van die wêreldwye finansiële krisis te bekamp (Figuur 3). In die VSA was dit die prominentste, en reeds vanaf September 2007 is begin om, in die loop van 20 maande, aggressief hul "Fed Funds"-rentekoerse van 5,25% tot 0,125% te verlaag. Aangevuur deur rekordlae rentekoerse en 'n ruim of "maklike" monetêre beleidshouding in die VSA, wat dit moontlik gemaak het om geld goedkoop te leen, het die Amerikaanse aandelemark in Maart 2009 'n bulmark begin ervaar. Die bulmark het in die dekade daarna voortgeduur en uiteindelik die langste Amerikaanse bulmark op rekord geword.

Aanvanklik was hierdie groeifase glad nie seker nie, veral gewee die buitensporige omvang van die fiskale stimulus wat in die VSA aangewend is om die nagevolge van die WFK van 2008 te beperk. Gevolglik het die Amerikaanse regering 'n reeks begrotingstekorte opgeloopt wat die VSA se nasionale skuldvlak so opgestoot het dat hulle in 2011 weer hul sogenaamde "skuldplafon" bereik het. In daardie stadium het die Amerikaanse regering nog altyd hierdie skuldplafon tweepartydig verhoog om hul finansiële verpligtinge sonder onderbreking na te kom, maar in 2011 het die langdurige politieke debat in die VSA oor die aanvaarbare nasionale skuldplafon 'n dooiepunt bereik (Buchanan en Dorf 2012). Die dooiepunt is uiteindelik op 2 Augustus 2011 beëindig toe die "Budget Control Act, 2011" aanvaar is, maar die positiewe uitkoms hiervan is ernstig oorskadu deurdat Standard and Poor's (S&P) op 5 Augustus vir die eerste maal in die geskiedenis die Amerikaanse soewereine krediet afgegradeer het. As gevolg hiervan het al drie die voorste aandele-indeks in die VSA daardie dag tussen 5% en 7% verloor, terwyl die S&P 500-indeks tussen Julie en September meer as 12% verloor het, wat Augustus en September 2011

onderskeidelik die vierde- en sesdeswakspresterende maande in die VSA in die tydperk 2010-2022 gemaak het. Op die JSE is die IAA ook geraak en is daar van 1 tot 8 Augustus byna 10% verloor, wat dit die sesdegrootste weeklikse verlies in die tydperk 2010-2022 gemaak het, terwyl die negatiewe maandelikse opbrengskoerse vir September in daardie stadium slegs deur die verliese van die Europese skuldprobleme in Mei 2010 oortref is.

Voortgesette monetêre stimulering deur die Amerikaanse Federale Reserweraad (die "Fed") en 'n depresiasie van die rand het meegebring dat nie-inwoners plaaslike aandele ter waarde van sowat R18,8 miljard gekoop het en dat JSE-genoteerde maatskappye tussen November 2012 en April 2013 aandelekapitaal van sowat R40 miljard verkry het (SARB 2013). Hierdie positiewe vooruitsig is in Mei 2013 kortstondig omgekeer omdat aandeelpriese onder druk gekom het toe die Fed potensieële planne aangekondig het om die tempo van bateaankope te verlangsam indien ekonomiese toestande verbeter. As gevolg hiervan het opbrengskoerse of effekte onmiddellik in die VSA begin styg, en hierdie markreaksie ná die Fed-aankondiging het bekend geword as die "taper tantrum" (FRED 2021). Verbasend genoeg was die uitwerking op Amerikaanse aandelemarkte beperk en van korte duur, en in Suid-Afrika het die aanvanklike markreaksie ook beperk gelyk, aangesien die FTSE/JSE se indeks van alle aandele op 23 Mei slegs sowat 2,3% verloor het. Die massiewe verkope van Suid-Afrikaanse effekte deur nie-inwoners wat gedurende Mei en Junie plaasgevind het, het egter groot kapitaaluitvloei veroorsaak, wat meegebring het dat die rand met meer as 11% verswak het. Daar was in Junie 2013 gevolglik 'n algehele verlies van -5,8% op die JSE, wat die vierdebeduidendste maandelikse verlies vir die tydperk 2010-2022 was.

Nadat die kommer oor die fiskale tekort en die "taper tantrum" van 2013 afgeneem het en die "Fed Funds"-koerse in die VSA 'n tyd lank onveranderd gebly het, het aandelemarkprestasie wêreldwyd daadwerklik momentum begin kry. Soortgelyke gevalle van beduidende markreaksie as gevolg van onverwagte Amerikaanse monetêre beleidsverstraming sal mettertyd



Figuur 7: Sterk verwantskap tussen aandelemarkbewegings in die VSA en Suid-Afrika

weer opduik. Dit was onvermydelik, aangesien die “Fed Funds”-koers 84 maande lank byna 0% gebly het voordat die Fed in Desember 2015 weer koerse geleidelik begin verhoog het (Belke et al. 2017). Daar was min markreaksie op vyf aanvanklike koersverhogings tussen Desember 2015 en Desember 2017, aangesien die verhogings vermag was. Gedurende die eerste twee weke van Februarie 2018 het markpersepsies egter wêreldwyd dramaties begin verander namate kommer toegeneem het oor nog ’n potensiële “Fed Funds”-koersverhoging en ’n moontlike Amerikaanse markkorreksie ná hul groei van 20% in 2017 én die dekadellange styglopie. Hierdie tydperk van onsekerheid, veral in die VSA en China, het veroorsaak dat aandele op die JSE gedurende die eerste twee weke van Februarie met meer as –4,7% gedaal het, wat dit die 10e- en 13e-swakpresterende weke in die tydperk 2010-2022 gemaak het. Dié daling het geblyk ’n wêreldwye markoorreaksie te wees, en baie markte het gevolglik in die derde week herstel, met inbegrip van die JSE, waar die IAA sy sewendebeste week vir die tydperk 2010-2022 beleef het.

Die Fed is genoodsaak om die “Fed Funds”-koers drie keer in 2019 te verlaag, aangesien die Amerikaanse en die wêreld-ekonomie ’n sogenaamde “gesinchroniseerde verlangsamings” begin ervaar het, wat hoofsaaklik aan die handelsoorlog tussen die VSA en China te wyte was (Gopinath 2019). Weereens het hierdie koersverandering ’n gedempte uitwerking op wêreld-aandelemarkte gehad, omdat dit vermag was. Ná die vinnige verlaging van die “Fed Funds”-koers met 150 basispunte in Maart 2020 om die gevolge van Covid-19 te bekamp, het dit tot Maart 2022 op ’n vlak van 0,25% gebly, toe die Fed met ’n aggressiewe anti-inflasioneë beleid moes begin. Dit het gelei tot ’n verhoging van 400 basispunte in die “Fed Funds”-koers tussen Maart en Desember 2022. In teenstelling met vorige koersverhogings in 2019, het hierdie rondte van verhogings ernstige implikasies vir die res van die wêreld gehad en het dit dus nie ongemerk verbygegaan nie. Gevolglik het Amerikaanse en wêreldmarkte verskeie daaropvolgende wisselvallige tydperke beleef en het ’n aggressiewe styging van 50 basispunte gedurende die eerste week van Mei byvoorbeeld daartoe gelei dat die IAA die sewendeswakste weeklikse opbrengskoers vir die tydperk 2010-2022 opgelewer het.

Hoewel die koersverhoging in Mei vermag was, het die aggressiewe beleidsbenadering ook resessievrese in die VSA verhoog. Gekombineer met die voortgesette oorlog tussen Rusland en Oekraïne, stygende Amerikaanse Tesourie-opbrengskoerse en beleggers se risikoafkerigheid (Hassan 2024), het dit die verwagting van nog ’n aggressiewe rentekoersverhoging van die “Fed Funds”-koers laat toeneem en daartoe gelei dat Amerikaanse aandele (S&P500) tussen 8 en 14 Junie met sowat 10% getuimel het. ’n “Fed Funds”-rentekoersverhoging het toe ook op 15 Junie gevolg, en op 27 Julie 2022 was daar nog ’n verhoging van 75 basispunte. Hierdie massiewe VSA-beleidskoersverhoging tussen Mei en Julie het daartoe gelei dat die netto buitelandse verkope van Suid-Afrikaanse aandele en effekte in daardie tydperk die hoogte ingeskiet het tot byna R80 miljard. Dit het ook daartoe gelei dat die IAA die 15e- en 12e-swakpresterende weke eindigende op onderskeidelik 10 Junie en 15 Julie beleef het. Die gevolge van

die Fed se onvermoë om inflasie in toom te hou het vererger as gevolg van nog twee “Fed Funds”-rentekoersverhogings van 75 basispunte in September en November 2022. Derhalwe het aandelemarkte weer massiewe verliese gely, en in September is die tweedegrootste verlies op die S&P500 vir die tydperk 2010-2022 gely. Die JSE het die sesdeslegste maand in daardie tydperk beleef, waaronder die 11e-grootste weeklikse verlies weens die September-koersverhoging, en in die laaste vier maande van 2022 het buitelanders ’n verdere netto bedrag van byna R58 miljard verkoop.

Soos dikwels gebeur wanneer aansienlike verliese deur beleggersvrees en -irrasionaliteit gedryf word, het die wisselvallige golfbeweging wat markte soos die JSE weens Amerikaanse monetêrebeleidsbesluite in 2022 beleef het, ook aan beleggers ’n geleentheid gebied om spoedig voordeel te trek uit ’n markterugwinning. Voorbeelde vir die IAA op die JSE sluit in twee van sy top-20-grootste weeklikse winste binne ’n week of wat ná die massiewe verliese van Mei en Julie 2022.

Hoewel die Federale Reserweraad in die res van 2022 en tot in 2023 met sy anti-inflasioneë beleid voortgegaan het, het inflasievrese geleidelik begin afneem namate beter as verwagte Amerikaanse inflasiesyfers vroeg in November 2022 bekendgemaak is (Hassan 2024). Hierdie inflasioneë “groen loot” het gelei tot weeklikse opbrengskoerse vir die week eindigende 11 November wat onder die top-10- weeklikse winste in beide die VSA en SA val, terwyl die IAA se maandelikse opbrengskoers van 12% vir November die tweedegrootste sedert 2010 was.

China

In 2015 het China die VSA verbygesteek as die wêreld se grootste ekonomie gemaak aan koopkragpariteit. Dit het ’n nuwe magstryd tussen die wêreld se twee supermoondhede ingelui en sou in die daaropvolgende jare erge markonsekerheid veroorsaak. Een van die eerste beduidende periodes van onsekerheid het in die middel van Junie 2015 begin toe die Chinese ekonomie om verskeie redes verlangsaam het, insluitende skuldhefboomvermindering, ’n olieprysdaling en ’n verskuiwing vanaf uitvoere en oortollige investering na meer volhoubare groeigebaseerde verbruikersbesteding (Klein en Fisher 2015). Die gevolg hiervan was dat sowel die Saamgestelde Indeks van die Sjanghaise Aandelebeurs (SSE) as die Sjanghai-Sjenzhen CSI 300-indeks (CSI300) tussen Junie en September 2015 meer as 40% van hul waarde verloor het. Albei het by drie geleenthede weeklikse verliese van meer as 10% gely – die swakste drie vertonings op hierdie beurse vir die tydperk Jan 2010-Des 2022. Aanvanklike verliese in China gedurende Junie en Julie is deur die Amerikaanse en Suid-Afrikaanse markte geïgnoreer, maar ’n daaropvolgende markinsinking van ongeveer –20% gedurende die laaste twee weke van Augustus is nie geïgnoreer nie. Dit het veroorsaak dat die S&P500 tussen 18 en 24 Augustus 2015 met sowat –11,70% en die JSE se IAA met –6,5% gedaal het. Dit het egter ook op 24 Augustus ’n sogenaamde flitsineerstorting (“flash-crash”) teweeggebring, toe die S&P500 binne ’n paar minute met 5% gedaal het, voordat dit vir die dag op –3,7% geëindig het (die IAA was op –2,8%), wat dit die swakste verhandelingsdag sedert die 2008-krisis in

die VSA gemaak het (Liu 2020). Die onsekerheid oor China se groeivoorsigte het in die res van 2015 voortgeduur en het nog twee tydperke van markonsekerheid en -verlies in die VSA en op die JSE veroorsaak, naamlik gedurende die eerste agt dae van onderskeidelik Desember 2015 en Januarie 2016. Dit het in daardie twee weke op die JSE se IAA tot verliese van $-4,56\%$ en $-5,11\%$ gelei. Die weeklikse verlies van Januarie 2016 was die agtstegrootste in beide die VSA en SA in die tydperk Januarie 2010-Desember 2022.

Tussen 2013 en 2020 is die invloed van China op Suid-Afrika se aandeelmarkprestasie deur drie hoof faktore oorheers. Eerstens, op 'n mikro-ekonomiese front, was daar die invloed van die tegnologie- en vermaaklikheidsgefokusde beheermaatskappy Tencent Beherend Beperk, weens hul meerderheidsaandeelhouding in die Suid-Afrikaanse reusemaatskappy Naspers Beperk. Tweedens, op 'n makro-ekonomiese front, het Chinese groei die Suid-Afrikaanse uitvoerdinamika en kommoditeitspryse beïnvloed (Chatterjee en Saraf 2024). Derdens, op 'n geopolitieke front, het die verhewigende handelsoorlog tussen China en die VSA nie net die JSE in Suid-Afrika geraak nie, maar ook aandeelmarkte regoor die wêreld.

Die Naspers- en Tencent-effek

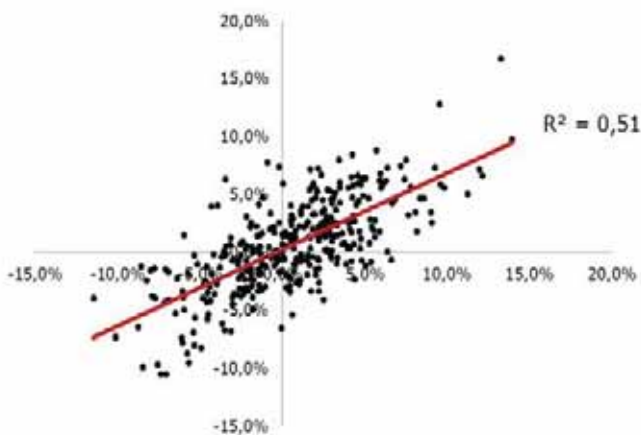
Vanuit 'n mikro-ekonomiese perspektief is die uitwerking wat die Chinese kolos Tencent Beherend Beperk (kortweg Tencent) op die waarde van Naspers Beperk en die algehele vlak van die IAA gehad het, onbetwisbaar. Naspers het oorspronklik in 2001 die meerderheidsbelang in Tencent gekoop, en hoewel hierdie persentasie mettertyd gekrimp het, het Naspers steeds sowat 'n derde van Tencent besit toe hul waarde van 2013 af begin vermeerder het. Die verband tussen Tencent- en Naspers-opbrengskoerse was tussen 2013 en 2020 stewig, met 'n korrelasie van ongeveer 0,71 (Figuur 8.1).

Tussen 2015 en 2019 het Naspers die JSE se IAA-indeks al hoe meer oorheers, met 'n indeksgewig wat van 10% tot 20% toegeneem het. Dit verklaar die hoë korrelasie van ongeveer 0,70 tussen Naspers en die IAA in hierdie tydperk (Figuur 8.2). Die astronomiese groei van Naspers se aandeelprys was 'n groot

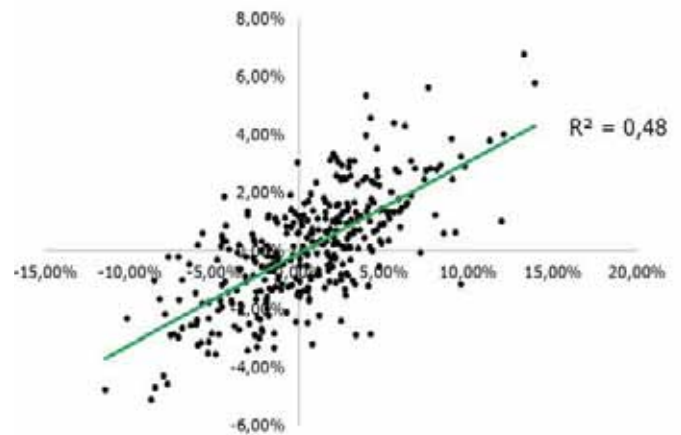
ondersteunende faktor vir opbrengskoerse op die JSE, en dit het die massiewe markdaling beperk wat die IAA tussen Januarie 2013 en Desember 2015 en selfs tussen 2015 en 2020 beleef het (EIM, 2020). Op 'n meer gebeurtenis-spesifieke korttermynbasis het gebeure in China, en by implikasie Tencent, ook verskeie van die grootste weeklikse winste en verliese op die JSE veroorsaak. Die IAA se toename van $5,35\%$ in die week geëindig 24 Desember 2015 het dit byvoorbeeld die negendegrootste weeklikse toename in die tydperk 2010-2020 gemaak. Hierdie wins is toe te skryfaan 'n afname in die negatiewe marksentiment oor China tussen 12 en 24 Desember 2015, wat gelei het tot 'n herstel van 7% in die Sjanghaise indekse en 'n herstel van 8% in Naspers. Insgelyks het 'n ernstige afswaai in China, Tencent en Naspers tot die agtstegrootste verlies op die IAA in die tweede week van Januarie gelei, terwyl dieselfde drie faktore die teenoorgestelde gedurende die eerste week van Maart veroorsaak het, toe die IAA sy agtstegrootste weeklikse opbrengskoerse van $5,61\%$ in die tydperk 2010-2020 beleef het.

China se uitwerking op wêreldkommoditeitsmarkte

Vanuit 'n makro-ekonomiese perspektief is China se invloed op kommoditeitspryse en die algehele vlak van die JSE ook onmiskenbaar. Suid-Afrika se vernaamste uitvoere bestaan uit edelmetale, soos goud en platinum, erts en verwante produkte, soos yster en staal, en minerale en delfstowwe, soos steenkool. Gedurende die tydperk 2013-2022 het die persentasie van hierdie produkte wat na China uitgevoer is, beduidend gegroei, en China het inderwaarheid Suid-Afrika se belangrikste uitvoerland geword. China se astronomiese groei gedurende hierdie tydperk het die wêreldwye vraag na kommoditeite oorheers, wat gelei het tot 'n enorme toename in Suid-Afrikaanse uitvoere van goud, platinum, ystererts en steenkool na China, veral sedert 2014. China se onversadigbare vraag na hierdie kommoditeite het gelei tot verskeie kommoditeitsbloeytydperke sedert die WFK en het gevolglik die IAA aansienlik beïnvloed weens die prestasie van JSE-genoteerde grondstofmaatskappye, wat selfs in 2023 nog die samestelling en prestasie van die IAA met 'n gewig van byna 30% oorheers het (kyk Figuur 9).



Figuur 8.1: Naspers teenoor Tencent (Jan 2013-Sep 2019)



Figuur 8.2: Naspers teenoor die IAA (Jan 2013-Sept 2019)



Basismetale: Aluminium, Kobalt, Koper, Ystererts, Lood, Molibdeen, Nikkel, Tin, Uraan en Sink
 All Metale uitsl. goud: Alle basismetale en slegs Silwer, Palladium en Platinum

Figuur 9: JSE se Indeks van Alle Aandele (ALSI of IAA) teenoor kommoditeitsmetaalpryse in VSS (2010 =100)

Uit Figuur 9 hier bo blyk dat die prestasie van die IAA sedert 2013 veel te wense oorgelaat het, en as dit nie vir China se beduidende invoer van kommoditeite uit Suid-Afrika en die Tencent-Naspers-effek was nie, die algehele prestasie van die JSE oor hierdie tydperk aansienlik swakker sou gewees het. Hoewel China 'n netto positiewe uitwerking op die JSE se prestasie op die lang termyn gehad het, het dit ook van die onstuimigste tydperke op die kort termyn veroorsaak. In die volgende afdeling word verduidelik dat dit veral gebeur het wanneer die VSA ook betrokke was, en die mees onlangse voorbeeld daarvan is die handelsoorlogdinamika wat sedert 2018 tussen hierdie lande voortduur.

Handelsoorlog tussen die VSA en China

Die Verenigde State se sterk geneigdheid om Chinese goedere in te voer het veroorsaak dat die Amerikaanse handelstekort met China reeds sedert 2005 die \$200 miljard kerf oorskry het, en geleidelik toegeneem het totdat dit in 2018 meer as \$400 miljard beloop het (Nasir en Leung 2020). As deel van sy suksesvolle presidensiële veldtog in 2016 het Donald Trump 'n strategie van handelsproteksionisme gevolg en belowe om Amerikaanse indiensnemingkoerse te verbeter deur China se onbillike handelspraktyke teë te werk. Nadat hy verkies is, het Trump onmiddellik gefokus op planne om strenger tariewe en antidumping-maatreëls op invoere uit China in te stel, en om die Amerikaanse handelstekort en die oorsake daarvan in oënskou te neem. Ná min sukses met handelsooreenkomste is verskeie Amerikaanse invoertariewe vroeg in 2018 op Chinese goedere ingestel, wat geboemerang het toe China vanaf April daardie jaar soortgelyke tariewe op Amerikaanse invoere gehef het (Brown 2019).

Hierdie dooiepunt het nie net veroorsaak dat die S&P500 en die Dow Jones met meer as 2,2% gedaal het nie, maar het ook daartoe gelei het dat die twee moondhede mekaar in die daaropvolgende maande 'n paar keer tariefteenhoe toegedien het. Die gevolglike markonsekerheid het dikwels onsekerheid

op die aandelemark veroorsaak, ook gedurende Mei 2019, toe die Amerikaanse en Chinese markte met meer as 6% gedaal het, en die JSE se IAA met -5,5% gevolg het. Dié verliese in Mei was weer 'n oorreaksie, en gevolglik het die Amerikaanse markte gedurende Junie die beste opbrengste sedert 1930 vir die Dow Jones en sedert 1955 vir die S&P500 getoon (Imbert 2019). Ten spyte van die herstel van die aandelemark en 'n ooreenkoms om handelsgesprekke op 'n G20-vergadering in Junie 2019 te hervat, het die Amerikaanse markte weer by twee geleenthede gedurende Augustus 2019 met byna 3% gedaal weens nog tariefverhogings. In Januarie 2020 het gesonde verstand klaarblyklik geseëvier toe die partye 'n handelsooreenkoms onderteken het waarin China hom daartoe verbind het om meer Amerikaanse uitvoere te koop. Hierdie ooreenkoms is egter nooit ten volle gerealiseer nie, en dus het verhoudings nie wesenlik verbeter nie, selfs nie nadat Joe Biden president geword het nie.

Die voortgesette handelsoorlog tussen China en die Verenigde State dui daarop dat die stryd om wêreldleierskap tussen die draak en die arend in die volgende dekades sal voortduur. China is ook die tweedegrootste houder van Amerikaanse skuld, wat hom hefboomkrag gee, aangesien enige groot Amerikaanse skuldvervreemding deur China 'n verlangsamings in Amerika se ekonomiese groei kan veroorsaak deur hoër rentekoerse en moontlik duurder verbruikersgoedere in die VSA.

Brexit

Op 23 Junie 2016, te midde van 'n groot vlugtelingskrisis in Europa en heftige debat oor migrasie, het Britte met 'n klein meerderheid van 52% teenoor 48% ten gunste van "Britse uittrede" uit die Europese Unie, oftewel "Brexit", gestem (Goodwin en Heath 2016). Die uitslag van die stemming het aanvanklik markonsekerheid gebring, wat veroorsaak het dat die Britse pond met meer as 10% gedepresieer het, terwyl Europese aandelemarkindekse soos die Duitse Dax, die Franse CAC40 en die Europese STXE600 op 24 Junie meer as 7% verloor

het. In die VSA en Suid-Afrika het die S&P500 en die JSE se IAA op Vrydag 24 Junie met 3,60% gedaal, gevolg deur 'n verdere -1,81% in die VSA en -3,1% in Suid-Afrika die volgende Maandag. Aangesien hierdie twee dae in twee verskillende weke val, word die Brexit-gebeurtenis nie in die VSA of Suid-Afrika aangedui as een van die top-20- slegste weke wat weeklikse opbrengste betref nie. Aangesien die markherstel bowendien in die daaropvolgende paar dae die meeste van die aanvanklike verliese in die VSA genegeer het, word Junie 2016 ook nie as een van die top-20- slegste maande in die VSA aangeteken nie, terwyl dit in posisie 19 kwalik die lys vir Suid-Afrika haal.

Die Covid-19-tydperk

Die koronaviruspandemie het 'n diepgaande uitwerking op die wêreld ekonomie gehad, wat gelei het tot verskeie beleidsmaatreëls in reaksie daarop. Namate infeksies eksponensieel in die Verenigde State, Europa en ander markte toegeneem het, het aandeelmarkopbrengste in daardie lande getuimel, aangesien voorsieningskettings en wêreldhandel in wanorde was (WEF, 2020). Baie ekonomieë in Afrika, Suid-Afrika ingesluit, het onder 'n baie nadelige kombinasie van tuimelende olie- en kommoditeitspryse, die vooruitsig van 'n wêreldwye resessie en verswakkende geldeenhede gely, wat die afbetaling van buitelandse skuld duurder gemaak het.

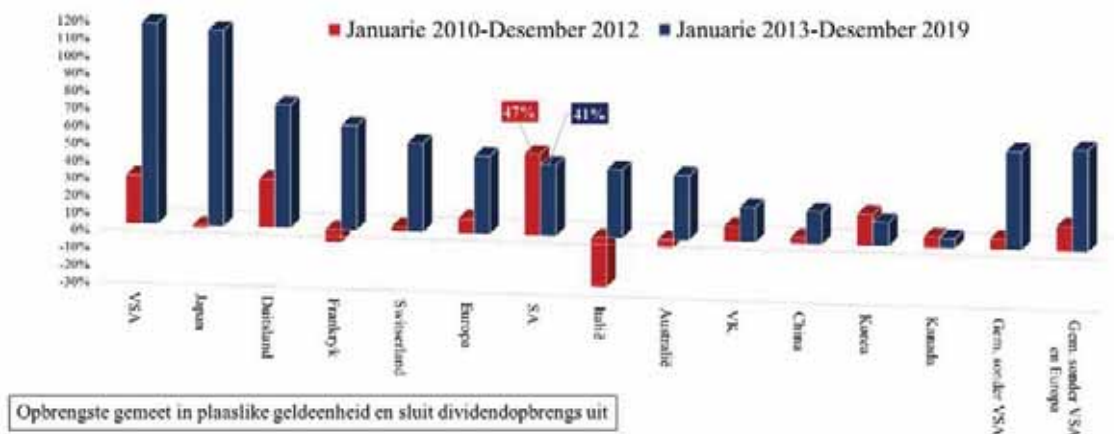
Sedert 21 Februarie 2020 het die reaksie van aandeelmarkte op die krisis oor die hele wêreld buitengewoon nadelig geword, en markte in die VSA het tussen 21 en 28 Februarie met meer as 13% gedaal, terwyl die IAA met meer as 12% gedaal het. Hierdie verliese het die handelsweek wat op 28 Februarie geëindig het in albei lande die swakste week sedert 2010 gemaak, en Februarie die swakste maand sedert 2008. Die markte het selfs erger gereageer toe die Wêreldgesondheidsorganisasie (WGO) Covid-19 op 11 Maart tot 'n wêreldwye pandemie verklaar het. Die S&P500 het op 11 en 12 Maart met 14,5% gedaal, terwyl die IAA met 10,5% gedaal het. Dit het veroorsaak dat die handelsweke wat op onderskeidelik 13 en 20 Maart geëindig het, in die VSA en Suid-Afrika die ergste en derde-ergste weeklikse verliese sedert 2010 getoon het, en die maandelikse verlies van sowat 12,5% in albei lande het Maart 2020 die nuwe swakpresterende maand sedert 2008 gemaak. Suid-Afrika se

soewereine kredietverspreiding het ook meer as verdubbel tot 448 basispunte, en teen die einde van Maart het die rand met sowat 24% teenoor die Amerikaanse dollar (IMF 2020) gededesieer. Netto kapitaaluitvloei weens die netto verkoop van effekte en aandeel deur buitelanders het gedurende Februarie en Maart 2020 ongeveer -R66 miljard beloop, en teen Oktober het meer as -R199 miljard Suid-Afrika verlaat.

Gelukkig was die uitwerking van die Covid-19-pandemie op die Suid-Afrikaanse en ander aandeelmarkte van korte duur – dit het geen noemenswaardige langtermynuitwerking gehad nie, aangesien dit deur vinnige herstel gevolg is (Takyi en Bentum-Enin 2020). Dit word bevestig deur baie hoë weeklikse opbrengskoerse gedurende die week van 27 Maart 2020, wat die sesdegrootste sedert 2010 was en gevolg is deur die weke eindigende op 9 April, 6 Junie en 6 November, wat onderskeidelik posisies drie, twee en een ingeneem het ten opsigte van die beduidendste weeklikse winste sedert 2010. In teenstelling met 'n meerjarige afwaartse neiging, het JSE-genoteerde maatskappye in die eerste elf maande van 2020 ekwiteitskapitaal van R65,2 miljard verkry, wat dubbel die bedrag van 2019 was. Dit is toegeskryf aan die befondsingsbehoefte weens die uitwerking van Covid-19 op reële ekonomiese aktiwiteit (SARB 2020).

Suid-Afrikaanse ekonomiese en politieke verwikkelings sedert die wêreldwye finansiële krisistydperk 2010-2022

Ná die Amerikaanse fiskale tekort en die "taper tantrum"-kwessie van 2013 het finansiële markte in die meeste wêrelddele werklik momentum begin kry. Tussen Januarie 2013 en Desember 2019 het opbrengskoerse in die VSA en baie ander markte die opbrengskoerse wat tussen 2010 en Desember 2012 behaal is, ver oortref (Figuur 10). In skrilte kontras was die prestasie van die Suid-Afrikaanse aandeelmark oor dieselfde tydperk redelik treurig, aangesien die indeks van alle aandeel (IAA) se prestasie van sowat 40% nie veel van die tydperk 2010-2012 verskil het nie. Dit is duidelik dat die een of ander vorm van markprestasie-ontkoppeling gedurende hierdie tydperk tussen ontwikkelde markte soos die VSA en Suid-Afrika plaasgevind het.



Figuur 10: Aandeelmark opbrengste vir tydperke 2010-2012 en 2013-2019

Die ontkoppeling tussen wêreldwye aandelemark-prestasie en die JSE (2013-2020)

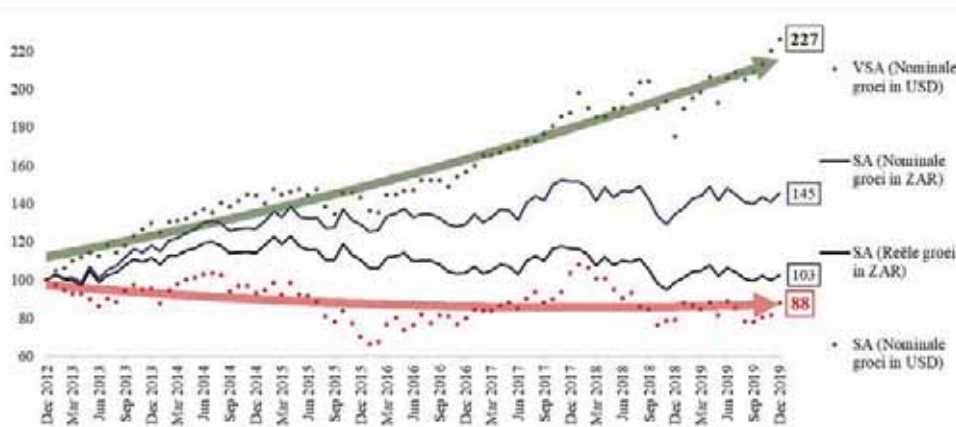
Vergeleke met die VSA, waar die S&P500 'n gemiddelde jaarlikse opbrengs van sowat 11,6% vir die tydperk Januarie 2013 tot Desember 2020 behaal het, het die JSE baie laer gemiddelde groei van sowat 5%, in rand uitgedruk, gelewer. Die groei was nouliks bo inflasie, en in dollar gemeet, het die JSE se opbrengste 'n jaarlikse gemiddelde oor hierdie tydperk sowat -1,5% beloop, wat buitelandse beleggers armer sou gemaak het as hulle oor daardie tydperk in die IAA belê het (kyk Figuur 11).

Die probleem het reeds in 2011 begin, toe onsekerheid oor toekomstige groeivoorsigte vir Suid-Afrikaanse maatskappye onder buitelandse beleggers begin opduik het en netto ekwiteitsverkope deur nie-inwoners van altesaam R17 miljard daardie jaar aangeteken is. Hierdie onsekerheid het in die daaropvolgende jare voortgeduur en, tesame met 'n voortdurende negatiewe opbrengs in dollarterme sedert 2013, verklaar dit hoekom buitelandse beleggers van Suid-Afrikaanse aandele en effekte ontslae geraak het. Soos in Figuur 12 getoon word, het hierdie neiging van netto aandele- en effekteverkope deur buitelanders van 2011 af voortgeduur, wat gedeeltelik bewys lewer van hoe Suid-Afrika toenemend kapitaaluitvloei ervaar.

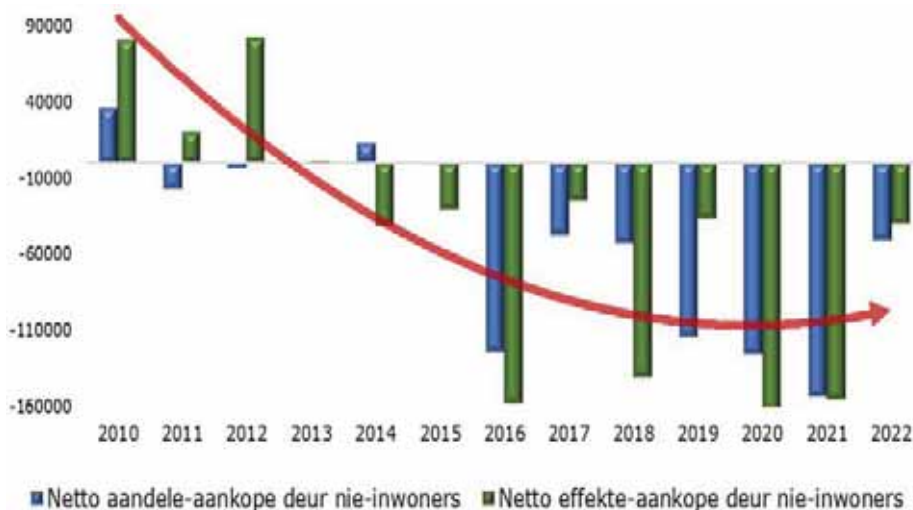
Die flou prestasie van die JSE en kapitaaluitvloei verklaar ook hoekom JSE-genoteerde maatskappye se bereidwilligheid (of vermoë) om kapitaal in plaaslike en internasionale markte te verkry, veral sedert 2015 afneem (kyk Figuur 13).

Vergeleke met die VSA weerspieël die JSE sedert 2013 verskillende fundamentele faktore vir Suid-Afrika, soos die merkbaar laer korrelasie tussen die aandelemarkopbrengste van hierdie twee lande (kyk Figuur 14). Aangesien die tydperk 2013-2019 'n baie positiewe stygmarktydperk in die VSA en ander dele van die wêreld was, weerspieël die laer korrelasie 'n paar strukturele probleme in Suid-Afrika wat die JSE verhinder het om hierdie stygtendens te volg. Ongelukkig het hierdie lae korrelasie tydens "goeie tye" nie beteken dat Suid-Afrika los was van tydperke van wêreldwye onrus nie, en toe sulke tydperke in 2018, 2020 en 2022 voorgekom het, is die JSE weer erg geraak.

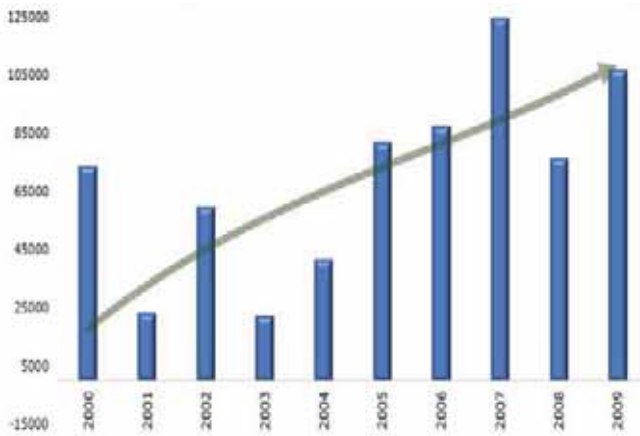
Die opvallendste rede waarom die JSE se groei van dié in die ontwikkelde wêreld ontkeel is, is die Suid-Afrikaanse regering se onvermoë om korrupsie en staatskaping in eie geledere te bekamp en strukturele probleme weens onvoldoende energievoorsiening te verlig.



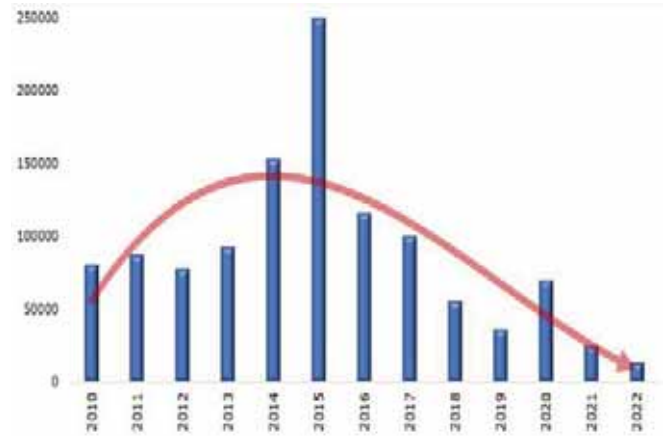
VSA = S&P500, SA = JSE "ALSI". Welvaartsindekswaardes sluit dividend/etbeleggingsberekeninge uit
 Figuur 11: Aandeleprestasie in SA teenoor VSA tussen 2013 en 2020 (Jan 2013 = 100)



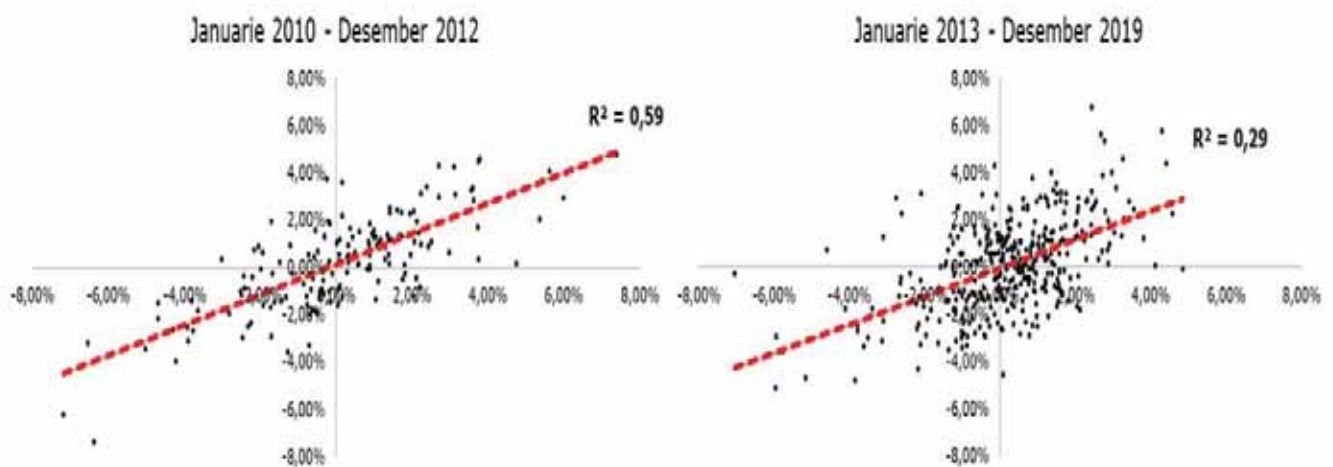
■ Netto aandele-aankope deur nie-inwoners ■ Netto effekte-aankope deur nie-inwoners
 Figure 12: Netto nie-inwoneraankope van aandele en effekte in SA (2010-2022)



Figuur 13.1: Aandekapitaal verkry deur JSE-genoteerde maatskappye (2000-2009)



Figuur 13.2: Aandekapitaal verkry deur JSE-genoteerde maatskappye (2010-2022)



Figuur 14: Weeklikse opbrengskoerse in die VSA (S&P500) en Suid-Afrika ("ALSI") 2010-2013 teenoor 2013-2020

Staatskaping en Eskom-ellendes in Suid-Afrika

Thabo Mbeki is ná die 2009-verkiezing deur Jacob Zuma as president vervang, en die land het 'n nuwe rigting ingeslaan, met 'n nuwe ekonomiese plan: die Nasionale Ontwikkelingsplan (NOP). In die eerste vyf jaar van Zuma se presidentskap het die getal staatsamptenare aansienlik toegeneem (van 2,2 miljoen tot 2,7 miljoen), en het die staat se loonrekening met baie meer as inflasie gestyg. Die Zuma-jare is gekenmerk deur wat bekend geword het as staatskaping, maar ook korrupsie, die aanstelling van politieke trawante, wanbestuur van ondernemings in staatsbesit (OSB's), ellendige dienslewering en die ondergang van die nasionale elektrisiteitsverskaffer Eskom (Chetty 2021).

Aangesien staatskaping 'n geleidelike en langdurige proses was, is die uitwerking daarvan nie in gereelde markbewegings op die JSE weerspieël nie, hoewel daar tog uitsonderings was. Die opvallendste voorbeeld het op 9 Desember 2015 plaasgevind, toe 'n ANC-agterbanker, Des van Rooyen, as die minister van finansies aangestel is ter vervanging van Nhlanhla Nene (dit is "Nenegate" genoem). In die loop van 'n paar dae het die rand vinnig verswak en die vlak van R15 tot 'n dollar verbygesteek. Opbrengskoerse op staatseffekte het met meer as 100 basispunte gestyg, en die JSE-aandelemark het op 10 en 11 Desember meer as 3% verloor. Ná hewige druk het die destydse president, Jacob Zuma, sy aanstelling teruggetrek en Pravin Gordhan aan-

gestel om die land se geldsake te beheer; dit het op 15-17 Desember 'n onmiddellike herstel van die JSE meegebring. Oor die algemeen was die uitwerking van hierdie skandaal op die JSE se prestasie relatief min, hoewel die langtermynreperkussies vir die ekonomie ernstiger was (The Conversation 2017; Politicsweb 2019). Ander ernstige sosiopolitieke gebeure, soos die Marikana-slagting in Augustus 2012 en die onluste in Julie 2021 nadat Jacob Zuma in hegtenis geneem is, het ook nie die IAA se daaglikse, weeklikse of maandelikse prestasie veel beïnvloed nie.

Die koste van staatskaping gedurende die tweede termyn van Jacob Zuma se presidentskap word op sowat R1 500 miljard beraam, en het dit na raming 'n derde van Suid-Afrika se R4 900 miljard bruto binnelandse produk uitgewis. Die koste het onder meer R252 miljard aan verlore begroting, R67 miljard meer aan skulddienskoste, R90 miljard aan verliese weens verlore belastinginkomste-invoering en minstens R200 miljard aan oorbesteding aan die Medupi- en die Kusile-steenkoolkragentrale behoort. Laasgenoemde het nie net oorskryding van die begroting behels nie, maar ook van die voltooiingsdatum (Daily Maverick 2019).

Wat Eskom betref, het ontoereikende owerheidsbeplanning, gebrek aan infrastruktuurinstandhouding, verlies aan vakkun-

digheid en 'n geleidelike toename in korrupsie gelei tot 'n stelsel genaamd "beurtkrag", waarmee in 2007 begin is; dit behels die gereelde en doelbewuste afsluiting van gedeeltes van die elektrisiteitsverspreidingsnetwerk ten einde 'n algehele ineenstorting van die kragnetwerk te voorkom. Beurtkrag het geleidelik toegeneem, veral in 2015 en weer vanaf 2019, en dit het tot verlore uitset van miljarde rande gelei. Die uitwerking van beurtkrag op verlore BBP-groei tussen 2007 en 2019 was effektief gelykstaande aan die uitwerking wat die WFK op Suid-Afrika gehad het (Nova Economics 2020).

Sedert 2007 het Eskom se winsgewendheid afgeneem, en teen Desember 2020 het sy skuld tot byna R500 miljard gegroei, wat die organisasie nooit uit werksaamhede sou kon terugbetaal nie. Hoewel die Suid-Afrikaanse ekonomie erg onder onvoldoende kragvoorsiening gely het, is die uitwerking daarvan op die JSE se prestasie om twee redes subtiel. Eerstens word die uitwerking slegs geleidelik in individuele aandeelprysbewegings weerspieël na gelang nuwe finansiële state gepubliseer word. Tweedens is 'n deurslaggewende isolerende faktor vir JSE-prestasie dat ongeveer die helfte van die waarde van aandele wat op die IAA genoteer is, van oorsese bedrywighede verkry word (Lerche 2023). Die voortgesette gebrek aan voldoende kragvoorsiening sal egter 'n afname in vertroue by buitelandse en plaaslike beleggers tot gevolg hê en sal die bestaan van die JSE in die gedrang bring namate meer maatskappye die denoteringsneiging volg wat 'n paar jaar gelede begin het.

Staatskaping, beurtkrag, swak dienslewering, lae ekonomiese groei, 'n hoë werkloosheidskoers en hoër armoedevlakke het nie net Suid-Afrika se groeipotensiaal verminder nie, maar het ook tot die beduidende afname in steun vir die ANC gelei, wat verdere sosiopolitieke onrus en sosioëkonomiese reperkusies tot gevolg kan hê. Buiten bogenoemde kwessies, is 'n belangrike rede vir Suid-Afrika se dalende groeipatroon die gebrek aan 'n realistiese en werkbare strategie wat ekonomiese groei sal bevorder en voldoende deelnemende ondersteuning van die private sektor sal kry.

Konstante teleurstellende inisiatiewe om ekonomiese groei aan te wakker

Sedert 2005 wil die ANC Suid-Afrika na 'n demokratiese ontwikkelingsstaat lei waarin die staat beduidend in onderontwikkelde gebiede investeer en ook private investering daarvoor aanmoedig. Terselfdertyd wil hulle ook die skeefgetrekte eienaarskaps- en produksiepatrone regstel. Dit moes bereik word deur 'n aktiewe nywerheids-groeibeleid en die gelyktydige toepassing van beleide gemik op inkomsteherverdeling. Fine (2010) voer egter aan dat korrupsie en beleide wat terselfdertyd ekonomiese groei en inkomsteherverdeling probeer bewerkstellig, die doeltreffendheid van die ontwikkelingsstaat se pogings beperk het.

Om armoede en ongelikheid aan te pak, is twee strategie-dokumente bekendgestel, naamlik die Nasionale Groeiplan (NGP) van 2010 en die Nasionale Ontwikkelingsplan (NOP) van 2012 (Hendriks 2013). Die NOP het ten doel gehad om armoede, werkloosheid en ongelikheid te verminder, terwyl die NGP ten

doel gehad het om groei te bevorder en indiensneming en billikheid te bewerkstellig. Albei het 'n robuuste ontwikkelingsstaatorientasie beklemtoon (Zarenda 2013).

Nelson (2016) noem dat hoewel die NOP die toepassing van 'n ontwikkelingsstaatstrategie vir Suid-Afrika beoog het, die geïmpliseerde bykomende staatsinmenging nie noodwendig sosialisme of die afwesigheid van ekonomiese liberalisme beteken het nie. Die strategie het uitgebreide staatsbevoegd-hede vereis om 'n invloed op die ekonomiese, politieke en maatskaplike vlakke uit te oefen, maar steeds binne 'n demokratiese bedeling en 'n kapitalistiese stelsel. Die ANC se aanvanklike verbintenis tot sosialistiese hervorming en herstrukturering van die samelewing, met 'n dinamiese rol vir die staat in die ekonomie, is uiteindelik vervang deur ekonomiese inisiatiewe gegrond op neoliberaler kapitalisme (Williams en Taylor 2000). Neoliberalisme het die ANC se ekonomiese beleid toenemend beïnvloed deurdat die party wegbeweeg het van die Vryheidsmanifes. Faktore wat hiertoe bygedra het, sluit in die ineenstorting van baie kommunistiese ekonomieë en voortgesette druk op die ANC-elite deur groot sake-ondernemings en die Suid-Afrikaanse pers om kapitalisme en die neoliberaler ideologie te onderskryf.

In Desember 2020 is die Nasionale Beleidsontwikkelingsraamwerk (NBOR) ("National Policy Development Framework", NPDF) bekendgestel. Die doel van hierdie raamwerk was om die nadelige gevolge van Covid-19 te bekamp en die ideale van die NOP te bevorder ten einde die vestiging van 'n ontwikkelingsstaat te verwezenlik. Teen 2020 is 'n gemiddelde ekonomiese groei-koers van 1,1% vir die tydperk 2010 tot 2020 vir Suid-Afrika aangeteken, maar met 'n volgehoue afwaartse neiging oor dié tydperk, terwyl werkloosheid en ongelikheid terselfdertyd bly toeneem het.

Gevolgtrekking

In hierdie artikel ondersoek ons die uitwerking van groot ekonomiese en politieke wêreldgebeure op aandelemark-opbrengste in Suid-Afrika in die jare ná die wêreldwye finansiële krisis tot Desember 2022. Met behulp van 'n gebeurtenisstudiemetodologie is bepaal of die top-20- beste en slegste weeklikse opbrengstydperke op die JSE se IAA saamgeval het met plaaslike en internasionale politieke, ekonomiese en ander gebeure, soos Covid-19. Ons vind dat Covid-19 'n enorme gelyktydige uitwerking op markte wêreldwyd gehad het, maar dat dit van relatief korte duur was, met verskeie tydperke van daaropvolgende positiewe herstel wêreldwyd en op die JSE. Wat ekonomiese faktore betref, is die IAA se prestasie aansienlik beïnvloed deur fiskale en monetêre beleidskwessies in die VSA, deur die Chinese ekonomiese groei en gevolglike oplewing in kommoditeitspryse, en deur die ernstige geopolitieke wrywings veroorsaak deur 'n handelsoorlog tussen die VSA en China.

Aggressiewe Amerikaanse monetêre beleid het die JSE dikwels negatief beïnvloed, terwyl 'n meer toeskietlike beleid minder invloedryk was. China se invloed op die IAA was oor die algemeen positief as gevolg van die rol wat hulle gespeel het om verskeie tydperke van verhoogde kommoditeitspryse te

veroorsaak, en vanweë die gekombineerde effek wat die astronomiese groei van die Chinese maatskappy Tencent op Naspers en die IAA gehad het. Die effek van handelsoorlogdinamika tussen die VSA en China was ook beduidend vir plaaslike en wêreldmarkte. Ongunstige internasionale gebeure het die IAA se prestasie oorheers, maar positiewe gevolge het gewoonlik voortgespruit uit daaropvolgende markoplewings. Die studie kom tot die gevolgtrekking dat, hoewel die JSE wêreldwye makro-ekonomiese en politieke veranderinge duidelik en onmiddellik weerspieël het, dit nie veel of vir baie lank op plaaslike ontwikkelings gereageer het nie. Hierdie binnelandse politieke en strukturele tekortkominge het egter 'n ont koppeling tussen aandeelmarkprestasie in Suid-Afrika en dié van die ontwikkelde wêreld veroorsaak. Dit het verhoed dat Suid-Afrikaanse aandeel soortgelyke stygmarkwinste as in die ontwikkelde wêreld tussen 2013 en 2022 beleef het en het uiteindelik bygedra tot swak plaaslike aandeelmarkprestasie, verminderde buitelandse beleggersvertroue en verhoogde kapitaaluitvloei.

ORCID

I van der Merwe <https://orcid.org/0000-0003-4074-0284>
N Keyser <https://orcid.org/0000-0003-2325-2828>

Bibliografie

- Abbas, A., Belhocine, N., El-Ganain, A., et al., 2011, A history of world debt, *Finance & Development* 48, 1.
- Addison, A., Arndt, C., Tarp, F., 2011 The triple crisis and the global aid architecture, *African Development Review* 23(4), 461-78. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8268.2011.00299.x>.
- Belke, A. D., Gros en T. Osowski. 2017. The effectiveness of the Fed's quantitative easing policy: New evidence based on international interest rate differentials, *Journal of International Money and Finance*, 73, 335 - 49. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2017.02.011>
- Byrant, M., 1987, Taking stock: Johannesburg Stock Exchange, the first 100 years. Johannesburg: Jonathan Ball Publishers.
- Buchanan, N., Dorf, M., 2012, Nullifying the debt ceiling threat now and for all: Why the president should embrace the least unconstitutional option, *Colombia Law Review* 112, 237-49.
- Brown, C., 2019, The 2018 US-China trade conflict after forty years of special protection, *China Economics Journal* 12(2), 109-36. <https://doi.org/10.1080/17538963.2019.1608047>.
- US Commodity Futures Trading Commission, US Securities & Exchange Commission, 2010, Findings regarding the market events of May 6, 2010, Report of the Staffs of the CFTC and SEC to Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issues, Washington DC. Beskikbaar by: <http://www.sec.gov/news/studies/2010/marketevents-report.pdf>. Geraadpleeg 1 November 2023.
- Chatterjee, A., Saraf, R., 2024, Impact of China on commodity exporters, *Review of International Economics* 32(3), 1462-91. <https://doi.org/10.1111/roie.12738>.
- Chetty, K., 2021, The case of South Africa - The societal impact of COVID-19, *International Journal of Social Quality* 11, 85-110. <https://doi.org/10.3167/IJSQ.2021.11010207>.
- Copelovitch, M., Frieden, J., Walter, S., 2016, The political economy of the Euro crisis, *Comparative Political Studies* 49(7), 811-40. <https://doi.org/10.1177/0010414016633227>.
- Daily Maverick. March 1 2019. M Merten. Beskikbaar by: <https://www.dailymaverick.co.za/article/2019-03-01-state-capture-wipes-out-third-of-sas-r4-9-trillion-gdp-never-mind-lost-trust-confidence-opportunity/>. Geraadpleeg 31 Mei 2023.
- Element Investment Managers. 2020. Quarterly Newsletter, Second quarter 2020.
- Fine, B., 2010, Constructing a democratic developmental state in South Africa, *Review of African Political Economy* 305-18.
- FRED. 2021. No taper tantrum this time, August 30 2021. Beskikbaar by: <https://fredblog.stlouisfed.org/2021/08/no-taper-tantrum-this-time/>. Geraadpleeg 1 Junie 2023.
- Goodwin, M., Heath, O., 2026, The 2016 Referendum, BREXIT and the left behind: An aggregate-level analysis of the result, *The Political Quarterly* 87(3), 323-32. <https://doi.org/10.1111/1467-923X.12285>.
- Gopinath, G., 2019, The world economy: Synchronized slowdown, precarious outlook, IMF Blog October 15 2019. Beskikbaar by: [imf.org](https://www.imf.org/~/media/News/2019/10/15/191015blog). Geraadpleeg 15 April 2020.
- Hassan, S., 2024, The impact of Ukraine-Russia war on stock market volatility in G7: An empirical analysis using EGARCH model, *MSA- Management Sciences Journal* 3, 29-58. <https://doi.org/10.21608/msamsj.2024.275897.1058>.
- Hendriks, S., 2013, South Africa's National Development Plan and New Growth Path: Reflections on policy contradictions and implications for food security, *Argekon* 52(3), 1-17. <https://doi.org/10.1080/03031853.2013.821741>.
- Imbert, F., 2019, S&P 500 closes at new record as chipmakers get a boost from US-China trade truce, June 30 2019. Beskikbaar by: [cnbc.com](https://www.cnbc.com/2019/06/30/s-p-500-closes-at-new-record-as-chipmakers-get-a-boost-from-us-china-trade-truce.html). Geraadpleeg 21 November 2023.
- International Monetary Fund. 2020. Policy Responses to COVID-19. 10 April 2020.
- Kablan, S., Kaabia, O., 2018, Transmission channels of international financial crises to African stock markets: The case of the euro sovereign debt crisis, *Applied Economics* 18, 1992-2011. <https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1383597>.
- Keyser, N., Van der Merwe, I., De Beer, J., 2020, The Johannesburg Stock Exchange returns, political developments and economic forces: A historical perspective of the 1990s, *New Contree* 84, 92-111. <https://doi.org/10.4102/nc.v84i0.42>.
- Klein, E., Fisher, M., 2015, China's stock market crash: 11 things you need to know, 24 August 2023. Beskikbaar by: <https://www.vox.com/2015/7/9/8922121/chinas-economy-stock-market-crisis>. Geraadpleeg 10 November 2023.
- Labuschagne, C., Majewska, E., Olbrys, J., 2016, Crisis periods, contagion and integration effects in the major African Equity Markets during the 2007-2009 GFC, *Optimum Studia Ekonomiczne* 5(83), 31-52. <https://doi.org/10.15290/ose.2016.05.83.03>.
- Lerche, D., 2023, Loadshedding: impact on your portfolio, Loadshedding: impact on your portfolio (sanlam.com)
- Lukasiewicz, M., 2019, Early regulation and social organization on the Johannesburg Stock Exchange, 1887-1892, *Business History* 686-704. <https://doi.org/10.1080/00076791.2019.1598380>.
- Marozva, G., 2017, Africa Stock Markets Cross-Market Linkages: A Time-Varying Dynamic Condition (DCC-GARCH) Approach, *The Journal of Applied Business Research* 33(2), 321-8. <https://doi.org/10.19030/jabr.v33i2.9904>.
- Mongale, I., Hinaunye, J.H., 2014, Commodity process and stock market performance in South Africa, *Corporate Ownership and Control* 370-5. <https://doi.org/10.22495/cocv11i4c3p7>.
- Moolman, E., Du Toit, C., 2005, An econometric model of the South African stock market, *South African Journal of Economic and Management Sciences* 8, 78. <https://doi.org/10.4102/sajems.v8i1.1285>.
- Nasir, M., Leung, M., 2020, US-trade deficit, a reality check: New evidence incorporating asymmetric and non-linear effects of exchange rate dynamics, *The World Economy* 818-36. <https://doi.org/10.1111/twec.12986>.
- Nelson, C., 2016, Voldoen eietydse Suid-Afrika aan die vereistes in die inwerkstelling van 'n ontwikkelingstaatstrategie? *LitNet* 1(3), 1-36.
- Nova Economics, 2020, Estimating the cost of load shedding in S.A., Eskom, December 2020.
- Politicsweb, 2019, Nenegate impact was long-lasting, Zondo commission hears, Nenegate impact was long-lasting, Zondo commission hears - NEWS & ANALYSIS | Politicsweb, Geraadpleeg 20 November 2023.
- South African Reserve Bank, 2011, Annual Economic Report, Pretoria, SARB 62-4.
- South African Reserve Bank, 2013, Annual Economic Report, Pretoria, SARB 58-9.
- South African Reserve Bank, 2020, Quarterly Bulletin, Pretoria, SARB 55-6.
- Takyi, P.O., Bentum-Enin, I., 2020, The impact of COVID-19 on stock market performance in Africa: A Bayesian structured time series approach, *Journal of Economics and Business* 115, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jeconbus.2020.105968>.
- The Conversation, 2017, Replacing South Africa's finance minister, or his deputy, would carry a heavy cost, February 21 2017. Beskikbaar by: <https://theconversation.com/replacing-south-africas-finance-minister-or-his-deputy-would-carry-a-heavy-cost-73286>. Geraadpleeg 1 Junie 2023.
- Williams, P., Taylor, I., 2000, Neoliberalism and the political economy of the 'new' South Africa, *New Political Economy* 21-40. <https://doi.org/10.1080/13563460050001961>.
- World Economic Forum, 2020, Five charts that show the economic impact of coronavirus. March 31 2020.
- Zarenda, H., 2013, South Africa's National Development Plan and its implications for regional development, *Tralac* 1-15.
- Zettelmeyer, J., Trebesch, C., Gulati, M., et al., 2013, The Greek debt restructuring: an autopsy, *Economic Policy* 28(75), 515-63. <https://doi.org/10.1111/1468-0327.12014>.

Die ontdekking van 'n nuwe lid van die Akidnognathidae, die karnivore wat die bestaan van Pangea bevestig

J Lloyd, F Durand*

Departement Dierkunde, Universiteit van Johannesburg, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: F Durand **E-pos:** fdurand@uj.ac.za

Pangea ("hele Aarde") het tydens die Karboon-periode, ongeveer 335 miljoen jaar gelede (m.jg.), gevorm toe al die kontinente saamgesmelt het om 'n enkele superkontinent te vorm. Ongeveer 200 miljoen jaar gelede, in die Trias-periode, het Pangea uitmekaar begin skeur om 'n noordelike superkontinent, Laurasië, en 'n suidelike superkontinent, Gondwanaland te vorm. Die superkontinent Gondwanaland het verder tydens die Kryt-periode finaal opgebreek om Suid-Amerika, Afrika, Australië, Antarktika, Indië en Madagaskar te vorm.

Die bestaan van superkontinente is oorspronklik hoofsaaklik met behulp van die verspreiding van fossiele bepaal. Fossiele van dieselfde, of naasverwante spesies, op verskillende kontinente word as 'n bewys beskou dat daardie landmassas in die verlede aan mekaar gekoppel was. Aangesien die fossiele van 'n sekere tydperk dateer, kan mens aflei dat daardie landmassas in daardie tydperk gekoppel was.

Reeds vir meer as 'n eeu het paleontoloë bewyse gevind dat Gondwanaland in die Perm-periode (280-190 miljoen jaar gelede) bestaan het. Die eerste bewys van hierdie oerkontinent se bestaan is deur die verspreiding van fossiele van die oerplant *Glossopteris* bevestig. Fossiele van *Glossopteris*, wat vanaf die Karboon- (280 m.jg.) tot die eind-Perm-periode (252 m.jg.) bestaan het, is in Suid-Afrika, Indië, Australië, Suid-Amerika en Antarktika ontdek. Die verspreiding van werweldierfossiele soos *Mesosaurus* en *Cynognathus* het verdere bevestiging van die verbinding tussen Suid-Amerika en Afrika tydens die Perm-periode verskaf, terwyl die fondse van *Lystrosaurus*-fossiele in Antarktika, Afrika, Indië en China bewys gelewer het dat die verbinding tussen Gondwana en Laurasië, die noordelike superkontinent, tot in die Vroeë Trias-periode, diere in staat gestel het om tussen die twee superkontinente te migreer.

Die verspreiding van die lede van die karnivoriese sinapsiedfamilie, die Akidnognathidae, verskaf verdere bevestiging van hierdie verbinding tussen die twee superkontinente in die Perm- tot die Trias-periode. Fossiele van die Akidnognathidae kom hoofsaaklik in Suid-Afrika voor, maar daar is ander spesies wat in China en Antarktika ontdek is, wat bewys lewer dat hierdie unieke groep van die noordelike tot die suidelike uithoeke van die aarde tydens die Trias-periode voorgekom het.

Trefwoorde: Akidnognathidae, karnivore, Pangea, bevestig

The discovery of a new member of the Akidnognathidae, the carnivores that confirm the existence of Pangaea: Pangea ("Whole Earth") formed during the Carboniferous Period, approximately 335 million years ago (mya), when all the continental masses amalgamated to form a single supercontinent. Pangea started to divide during the Triassic Period, approximately 200 mya, into a northern supercontinent, Laurasia, and a southern supercontinent, Gondwana. Gondwana continued to fragment during the Cretaceous Period to form the landmasses known today as South America, Africa, Antarctica, Australia, India and Madagascar.

The existence of supercontinents was originally mainly inferred from the distribution of fossils. Fossils of the same, or closely related, species on different continents suggest that these landmasses had to be connected to allow the spread of populations from a common point of origin. The age of the fossils would indicate the age of the connection between the landmasses.

For over a century, Palaeontologists have discovered evidence that Gondwana existed, based on the distribution of the fossils of the prehistoric plant *Glossopteris*, which existed from the Carboniferous (280 mya) to the end of the Permian Period (252 mya). *Glossopteris* fossils are found in South Africa, India, Australia, South America, Antarctica and Madagascar. Vertebrate fossils such as *Mesosaurus* and *Cynognathus* provided further evidence of the connection between South America and Africa during the Permian Period. The fossils of the herbivorous synapsid genus *Lystrosaurus*, which were discovered in Antarctica, Africa, India and China, provided evidence that there was a connection between Laurasia and Gondwana well into the Triassic, which enabled this genus to migrate between the northern and southern supercontinents.

The distribution of the fossils of the carnivorous synapsid taxon, the Akidnognathidae, provides further evidence of this connection between Laurasia and Gondwana during the Triassic Period. Akidnognathid fossils occur mostly in South Africa, but specimens were also discovered in Antarctica, Russia and China, which indicate the vast distribution range of these carnivores during the Triassic Period.

Keywords: Akidnognathidae, carnivore, Pangaea, existence

Inleiding

Buffon het reeds in 1761 geskryf dat, na gelang organismes van hulle oorspronklike plek van ontstaan na nuwe wêrelddele versprei het, hulle moes aanpas om in daardie nuwe omstandighede te kon oorleef. Sodoende het die nasate van die oorspronklike groep begin verskil en uiteindelik het nuwe spesies so gevorm. Buffon se waarnemings is toenemend bevestig na gelang die navorsingsvelde van paleontologie, biogeografie en genetica ontwikkel het. Wanneer twee bevolkings van dieselfde spesie geografies geskei raak, vorm hulle afsonderlike geenpoele. Lukrake mutasies, wat onafhanklik van mekaar in elke geenpoel plaasvind, sal aan die natuurlike seleksiefaktore van daardie verskillende omgewings blootgestel word. Die uiteinde sal twee bevolkings wees wat morfologies, fisiologies en ten opsigte van gedrag van mekaar verskil, wat uiteindelik tot die ontstaan van twee verskillende spesies lei.

Op hierdie wyse het die *Panthera*-familie aan groot katte soos die jaguar in die Amerikas, die leeu en luiperd van Afrika en die Midde-Ooste, die tier en die sneeuuiiperd van Asië en uitgestorwe grootkatte, onder andere die grotleeu van Eurasië, die Amerikaanse leeu en die Europese jaguar oorsprong gegee. Die verspreiding van hierdie spesies dui daarop dat die kontinente deur middel van landbrûe aan mekaar verbind is of was, wat hierdie diere in staat gestel het om van een kontinent na die ander te versprei. Dit sal ook verklaar hoe hondagtiges, olifantagtiges en lede van die perdfamilie wêreldwyd versprei het en dat daar spesies van hierdie families in alle kontinente buiten Australië en Antarktika voorgekom het.

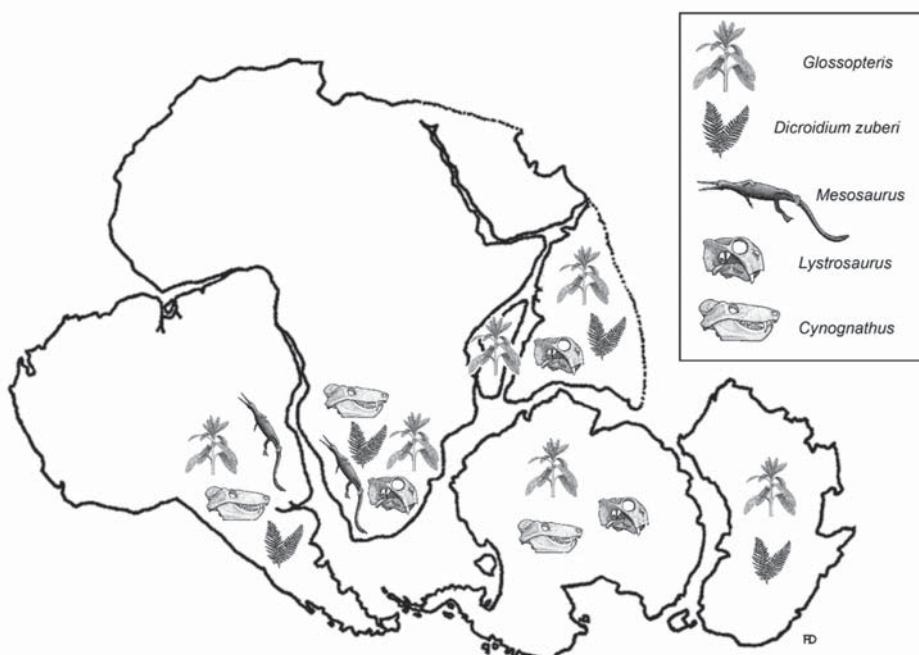
Karnivore kan van baie verskillende prooispesies gebruik maak en is dus minder beperk ten opsigte van verspreiding as herbivore, wat beperk is tot die verspreidingsareas van die spesifieke plantspesies wat hulle benut. Hierdie verskynsel het

karnivore, soos die lede van die genera *Panthera* en *Canis*, in staat gestel om wêreldwyd te versprei. Hierdie groepe dien as 'n moderne voorbeeld van hoe die Akidnognathidae gedurende die Perm-periode wêreldwyd versprei het.

Die ontdekking van Gondwanaland

Oor die eeue heen het mense al hoe meer bewyse van die bestaan van die superkontinente ontdek. Die Vlaamse kaartmaker, Abraham Ortelius, het reeds in 1596 in sy boek *Thesaurus Geographicus* opgemerk dat die ooskus van Suid-Amerika soos 'n legkaart teen die westkus van Afrika pas. Dit was egter die Suid-Afrikaanse fossielrekord wat 'n sleutelrol in die bevestiging van hierdie hipotese van die bestaan van superkontinente in die oertyd gespeel het. Indien dieselfde fossielspesies op twee kontinente voorkom, word dit as 'n goeie aanduiding beskou dat daardie kontinente in die oertyd een landmassa gevorm het. Paleontoloë en geoloë, soos Eduard Seuss en Alfred Wegener en die Suid-Afrikaners Alex du Toit en James Kitching, het in die 19e en 20e eeu navorsing gedoen om die verskynsel van die voorkoms van dieselfde fossielspesies op verskillende kontinente te verklaar.

Die eerste bewys van die bestaan van 'n suidelike superkontinent gedurende die Perm-periode is deur die Oostenrykse paleontoloog en geoloog, Eduard Suess, gelewer toe hy ontdek het dat fossielblare van dieselfde *Glossopteris*-spesies in Suid-Afrika en Indië voorkom. In 1861 benoem Suess hierdie superkontinent Gondwanaland na die woud waarin die Gond-mense van Indiese mitologie gebly het. Hy beskryf hierdie superkontinent en die plante daarop in sy baanbrekerswerk *Das Antlitz der Erde*, wat tussen 1885 en 1909 as vier volumes gepubliseer is. Na Suess se werk is *Glossopteris*-fossiele ook in Australië, Madagaskar, Suid-Amerika, Suid-Afrika en Antarktika ontdek (kyk Fig. 1).



Figuur 1: Die verspreiding van fossielspesies in die suidelike kontinente en Indië wat as bewys dien dat Gondwanaland in die Perm- en Trias-periodes bestaan het

Die Duitse geograaf, klimaatkundige en astronoom, Alfred Wegener, het ontdek dat die fossiele van die klein akwatiese *Mesosaurus* van Suid-Afrika identies aan dié van Suid-Amerika was. Hy het die verspreiding van *Mesosaurus*- en Glossopteris-fossiele saam met geologiese bewyse gebruik om sy teorie van Kontinentale Drywing (Kontinentalverschiebung) te staaf. Volgens hom was daar nog voor die ontstaan van Gondwanaland, 'n groter superkontinent genaamd Pangea ("Alle Aarde") waarin al die landmassas van die aarde saamgesnoer was, wat mettertyd opgebreek het in die landmassas wat ons vandag ken (Wegener, 1915).

Dit was egter aanvanklik heelwat moeiliker om die posisie van Antarktika binne Gondwanaland te bepaal, aangesien die grootste gedeelte van Antarktika deur 'n dik yslaag bedek is en fossielhoudende dagsome slegs in moeilik bereikbare plekke soos die Transantarktiese Berge voorkom.

Werveldierfossiele is in 1968 ontdek in die Fremouw-formasie, wat in die Transantarktiese Berge dagsoom. Hoewel die meeste van hierdie fossiele verbreekel en deur erosie beskadig is, het die beroemde Suid-Afrikaanse paleontoloog, James Kitching, in die somer van 1970-1971 goed bewaarde fossiele, identies aan dié wat in die Karoo-Supergroep van Suid-Afrika voorkom, daar ontdek (Kitching *et al.*, 1972). Hierdie fossiele was onaanvegbare bewys dat Antarktika eens op 'n tyd gedurende die Perm- en Trias-periode aan Afrika gekoppel was en dat dit deel van Gondwanaland gevorm het (kyk Fig. 1).

Die geologiese gemeenskap, wat oorspronklik oor die algemeen baie skepties oor die bestaan van Gondwanaland en Pangea was, en die teorie van Kontinentale Drywing verwerp het, het ná die ontdekking van Karoo-tipe fossiele in Antarktika, die bestaan van superkontinente begin aanvaar. Dit het gelei tot die soeke na die meganisme wat kontinentale drywing sou veroorsaak, wat uiteindelik as plaattektonika bekend sou staan. Meer as

1 300 werveldierfossiele is tussen 1969 en 2022 in Antarktika ontdek (Sidor *et al.*, 2023).

Die bestaan van Gondwana is eerste bepaal, maar mettertyd is daar genoeg bewyse van die bestaan van 'n voorafgaande superkontinent Pangea ontdek. Pangea het tydens die Karboonperiode ongeveer 300 m.j. reeds in twee kleiner superkontinente – Gondwanaland in die suide en Laurasië in die noorde – begin opskeur. Gondwanaland het uit die gesamentlike landmassas van Suid-Amerika, Afrika, Indië, Antarktika en Australië bestaan, terwyl Laurasië uit die gesamentlike landmassas van Noord-Amerika en Eurasië bestaan het. Indië was deel van Gondwanaland en nie van Eurasië nie, en daar was oorspronklik geen verbinding tussen Noord- en Suid-Amerika nie. Die verspreiding van sekere sinapsiedfossiele dui egter daarop dat daar steeds tot in die Trias-periode 'n verbinding tussen Laurasië en Gondwana voorgekom het.

Sinapsiede (Synapsida), ook bekend as die soogdieragtige reptiele, was die dominante landlewende werveldiergroep tydens die Perm-periode en die grootste deel van die Trias-periode, toe Gondwanaland en Laurasië en die voorafgaande Pangea bestaan het. Daar is ver minder karnivore as herbivore in 'n voedselweb. Hierdie verskynsel is duidelik in die fossielrekord van die sinapsiede, waar daar honderde fossiele van sekere herbivoorspesies bekend is, terwyl daar maar enkele fossiele van karnivoorgroepe soos die Therocephalia en Cynodontia bekend is. In talle gevalle is karnivoriese sinapsiedspesies op 'n enkele fossiel gegrond. Daar sou dan ook verwag kon word dat 'n mens eerder herbivore soos *Lystrosaurus*, se fossiele in die Trias-ouderdomgesteentes van Afrika, Antarktika, Rusland en China, as karnivoorfossiele sou aantref. Dit is dus betekenisvol dat lede van 'n enkele karnivoriese sinapsiedgroep, die Akidnognathidae, in die Trias-ouderdomgesteentes van China, Rusland, Afrika en Antarktika voorkom (Huttenlocker & Sidor, 2012) (kyk Fig. 2).



Figuur 2: Die onbenoemde lid van die Akidnognathidae (AMNH FARB 9527), wat in die Fremouw-formasie op Sentinel Hill, tussen die Shackleton- en die McGregor-gletser, van die Sentrale Transantarktiese Berge op Antarktika, ontdek is

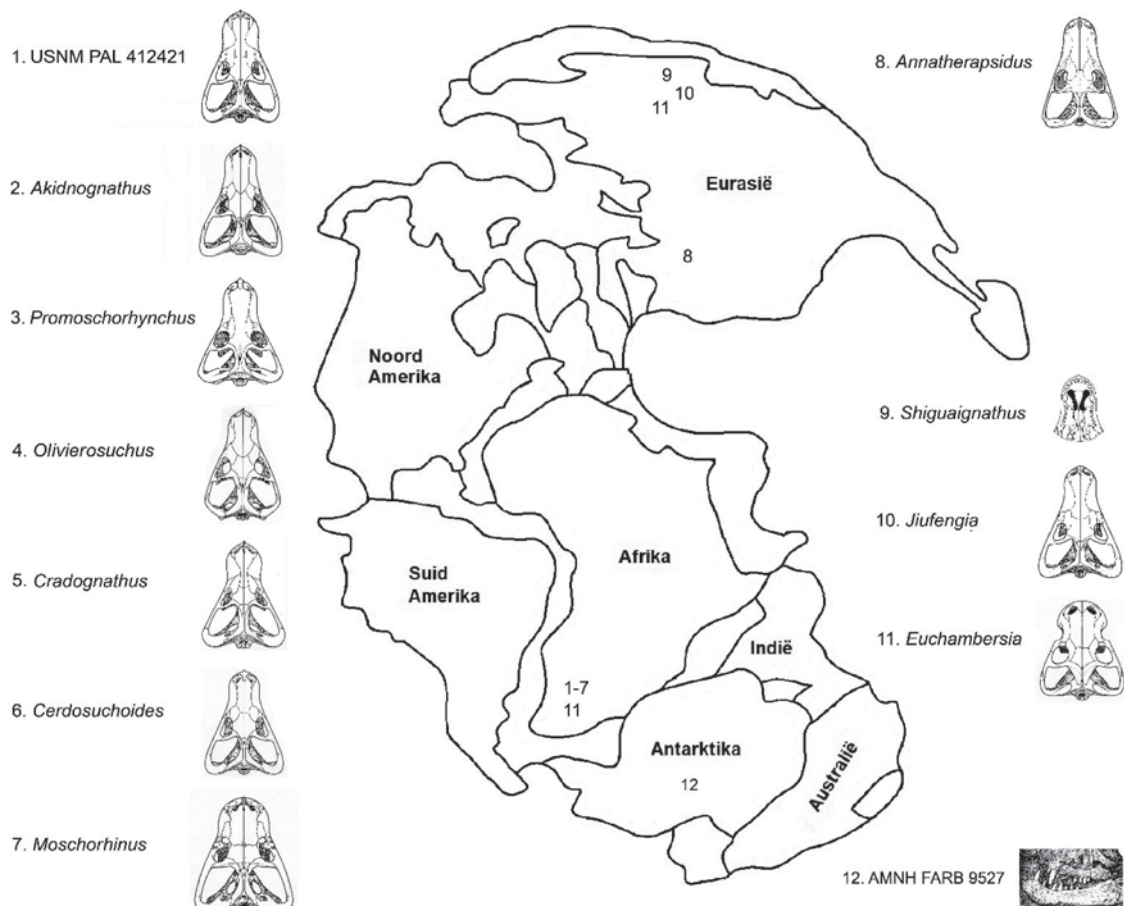
Die karnivoriese sinapsiede

Verskeie karnivoriese sinapsiede soos die Dinocephalia, Gorgonopsia, Therocephalia en Cynodontia kom in die Perm- en Trias-ouderdomgesteentes van Rusland en Afrika voor. Die Akidnognathidae, waarvan fossiele in China, Afrika, Rusland en Antarktika voorkom, is die karnivore met die wydste verspreiding tydens die Trias-periode (kyk Fig. 3) (Kitching & Colbert, 1981; Huttenlocker & Sidor, 2012; Liu & Abdala, 2017, 2019, 2022). Die afleiding wat hieruit gemaak kan word, is dat die Akidnognathidae waarskynlik opportunistiese karnivoriese generaliste was, wat in verskeie ekotipes kon oorleef en so van een superkontinent na die ander kon versprei. 'n Moderne analoog van hierdie groep is *Canis*, wat deur talle hondagtiges soos gryswolwe, coyotes en rooijakkalse verteenwoordig word en wat van noord tot suid oor die aardbol voorkom.

Die Cynodontia, wat aan die soogdiere oorsprong gegee het, het reeds baie meer soos soogdiere as reptiele gelyk, waarteenoor die Dinocephalia en Gorgonopsia nog redelik baie primitiewe reptielagtige kenmerke gehad het. Die Therocephalia besit egter 'n mengsel van primitiewe reptielagtige en gevorderde soogdieragtige kenmerke. Hoewel die meerderheid lede van die Therocephalia hondgrootte karnivore was, is dit 'n ekomorfologies diverse groep wat vanaf klein insekvreter tot beergrootte roofdiere bevat, en selfs 'n groep, die Bauriomorpha, insluit, wat waarskynlik, op grond van hul gebit, herbivories was. Die Therocephalia bestaan uit verskillende groepe wat van meer

primitief tot meer gespesialiseerd wissel. Die Akidnognathidae lê tussen die basale Therocephalia, die Scylacosauria en die Lycosuchida, en die mees evolusionêr gevorderde Therocephalia, die Whaitsiidae en Bauriomorpha. Die Akidnognathidae is veral belangrik weens die voorkoms van sekere soogdieragtige kenmerke wat reeds in hulle teenwoordig was. Elke nuwe Akidnognathidae-fonds dra dus tot ons insig rondom die herkoms van soogdiere by. Die Akidnognathidae sluit tans die volgende genera in: *Annatherapsidus*, *Akidnognathus*, *Moschorhinus*, *Olivierosuchus*, *Euchambersia*, *Cerdosuchoides*, *Jiufengia*, *Promoschorhynchus*, *Shiguaignathus* en die jongste toevoeging, *Cradognathus*.

Cadognathus albanensis (voorheen *Hewittia albanensis*) is in die Cradock-distrik in die OosKaap ontdek en na die Albany-museum in Makhanda (Grahamstad) geneem, waar dit deur Brink (1959) beskryf en benoem is. Hierdie eerste bekende voorbeeld van die spesie, of tipefossiel, bestaan uit die voorste tweederdes van die skedel en onderkaak, terwyl die agterste derde van die skedel, wat die agterste gedeelte van die oogkas en die breinkas insluit, ontbreek. Vir etlike dekades was Brink (1959) se beskrywing van hierdie skedel die enigste bron van inligting oor die spesie, aangesien dit in die Albany-museum verlore is en dus nie tot beskikking van ander Therocephalia-navorsers was nie (Mendrez, 1974 a & b). Tydens 'n besoek van een van die skrywers (Lloyd) aan die museum in 2022, was die oorspronklike skedel egter weer gevind.



Figuur 3: Die verspreiding van die Akidnognathidae in Pangea volgens beskrywing van die skedel



Figuur 4: Die tipe-voorbeeld van *Cradognathus albanensis* AMG 4208 (oorspronklik *Hewittia albanensis*, Brink 1959) van die Albany-museum in Makhanda (Grahamstad). Links: dorsale aansig, Regs: ventrale aansig

Hierdie skedel was vir dekades die enigste bekende voorbeeld van *Cradognathus albanensis*, voor die ontdekking van 'n volledige skedel deur Cassie Blignaut op sy plaas Lombaardsrust in die Chris Hani- (voorheen Cradock-) distrik in 1993. Een van die skrywers (Durand) het die fossiel in 1993 opgegrawe, skoongemaak en as *Hewittia albanensis* geïdentifiseer. In publikasies oor Akidnognathidae is *H. albanensis* meestal deur ander skrywers geïgnoreer, met *Cerdosuchoides* gesinonimiseer of as 'n *Moschorhinus*-jongeling beskou (Kitching, 1977; Huttenlocker, 2013).

Die naam *Hewittia albanensis* is na *Cradognathus albanensis* verander omdat die genusnaam *Hewittia* reeds in 1928 aan die Afrika-krapspinnepop *Hewittia gracilis* (familie Thomisidae) toegeken is en dit dus senioriteit bo die fossielspesie geniet (De Lessert, 1928; Lloyd & Durand, 2025).

Die skedel van *Cradognathus* is ongeveer so groot soos dié van 'n jakkals en is klein vergeleke met die skedels van die meeste lede van die Gorgonopsia en van die groter predatoriese lede van die Cynodontia, maar groter as dié van insekvetende lede van die Cynodontia, soos *Thrinaxodon*. Die smal snoet is met sterk slagatande en skerp voortande toegerus en sou *Cradognathus*, soos die ander lede van die Akidnognathidae, in staat gestel het om ander werwelidre te jag en om te aas.

Cradognathus is in die meeste opsigte 'n tipiese lid van die Therocephalia, met 'n groot temporale venster agter die oogkas en klein penagtige kiestande agter die groot slagatande (Fig. 6 en 7), en die kenmerkende suborbitale holtes wat 'n mens in die onderaansig (Fig. 8) onder die oogkaste, weerskante van die skedelbasis, kan sien. Die plasing van *Cradognathus* in die Akidnognathidae is gegrond op die vergrote vorentoe gerigte neusgate, groot oppervlak van die septomaksilla wat die premaksilla oorvleuel, kort hoë maksilla, die rif bo-op die skedel wat op die naat tussen die frontale en nasale dele loop, die breë

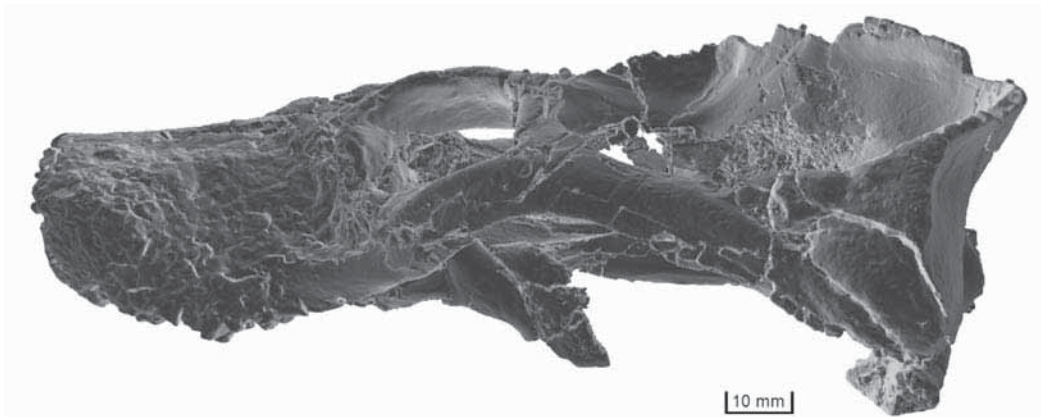
voorste deel van die vomer, en die holte vir die onderste slagatande binne die bek op die naat tussen die premaksilla en maksilla.

Die temporale vensters van die Therocephalia is besonder groot, vergeleke met ander soogdieragtige reptiefamilies. Aangesien die kaakspiere van die onderkaak, wat aan die sywand van die temporale streek agter die oogkas vasgeheg is binne die temporale vensters geleë was, kan mens aflei dat hulle 'n besondere sterk bytkrag gehad het. Hierdie sterk bytkrag gaan gepaard met die groot slagatande en groot skerp snytande (Kemp, 1982).

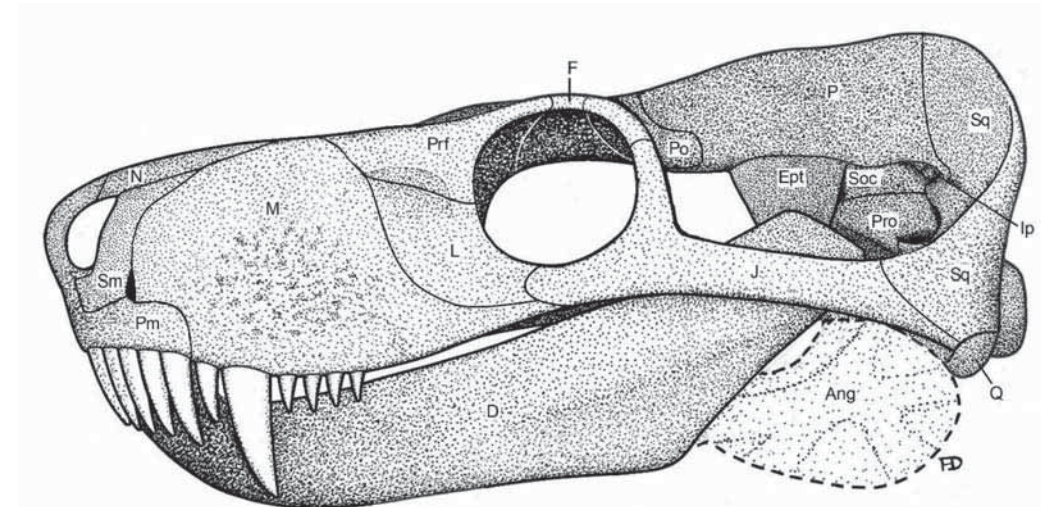
Die growwe pokagtige voorkoms van die maksilla van *Cradognathus* (kyk Fig. 5 en 6), soos dié van die meeste Therocephalia, word deels veroorsaak deur die klein foramina wat op die snoet geopen het waardeur senuwees na die snoet gestrek het (Lloyd, 2025). Hierdie senuwees is vir die senuweevoorsiening van snorbaarde aangewend. Hierdie twee soogdieragtige kenmerke het in die Therocephalia ontstaan en is oorgeërf deur die voorouer van die Cynodontia waaruit die soogdiere uiteindelik ontstaan het.

Die vorm van die breinkas van die Therocephalia was egter klein en reptielagtig (kyk Fig. 7). Die sywande van die breinkas was nog onverbeend en slegs met sagte weefsel bedek, wat nie verstaan het nie. Die dentale bene van die onderkaak van Therocephalia was egter reeds só groot dat dit na agter tot in die temporale vensters verleng was (kyk Fig. 6) en, ten koste van die ander 12 bene van die reptielonderkaak opmaak, die meeste van die funksies van die onderkaak verrig het. In primitiewe soogdieragtige reptiele soos die Dinocephalia was die dentale been in syaansig slegs so lank soos die maksilla.

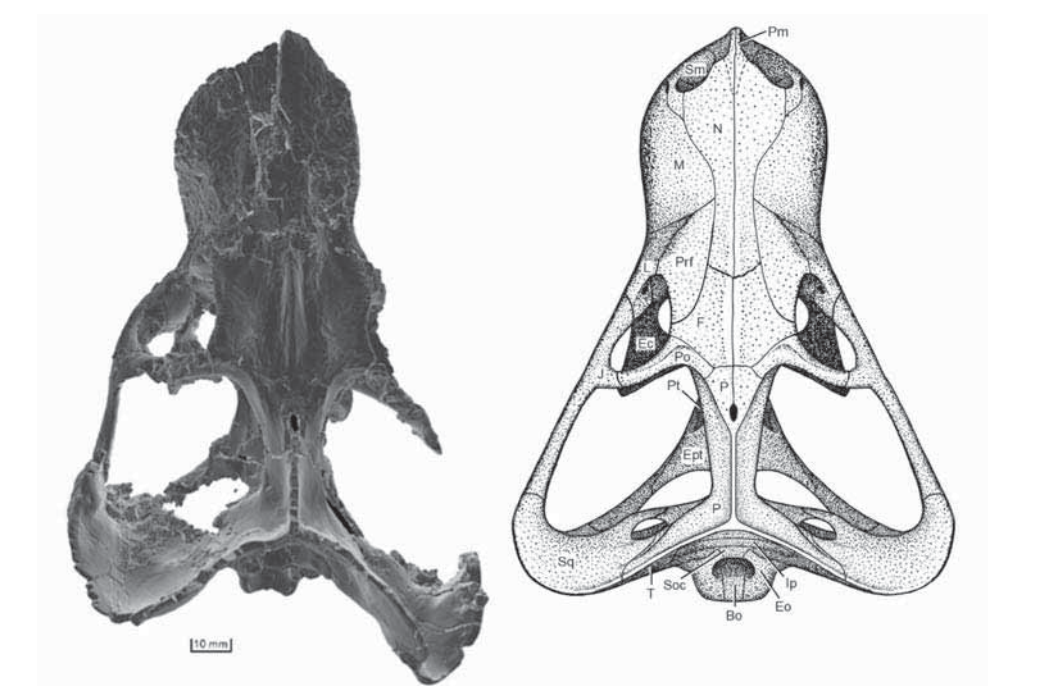
Die middeloor van *Cradognathus* was, soos die res van die Therocephalia, slegs van 'n stapes voorsien. Ongelukkig het hierdie delikate beentjie in die fossileringsproses van



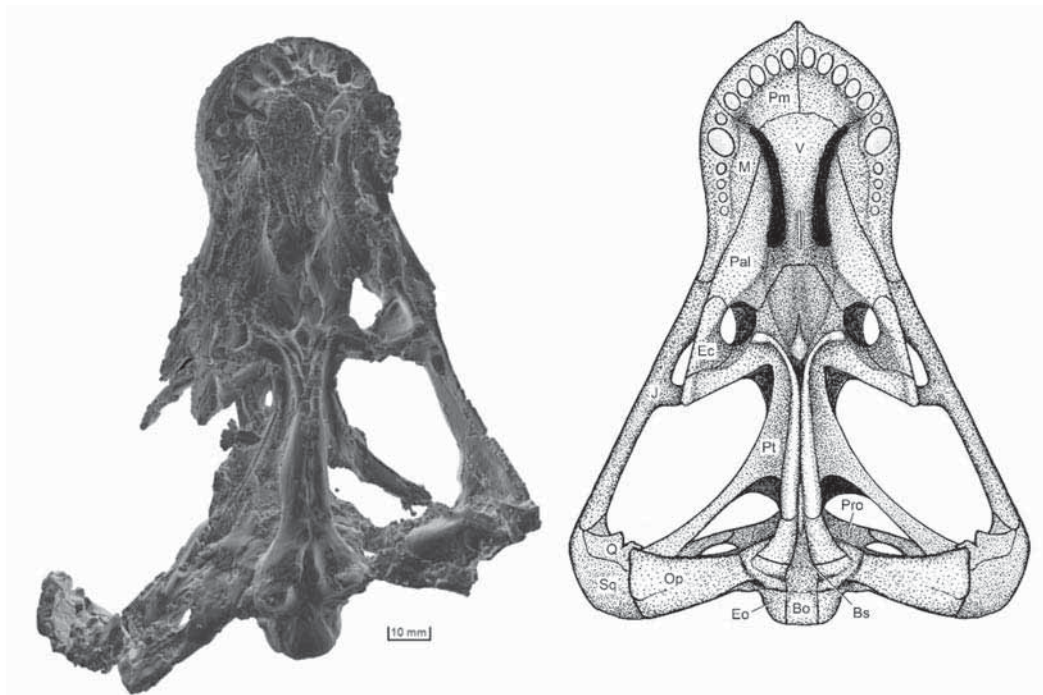
Figuur 5: Syaansig van die *Cradognathus albanensis* fossiel (CGP/1/2301)



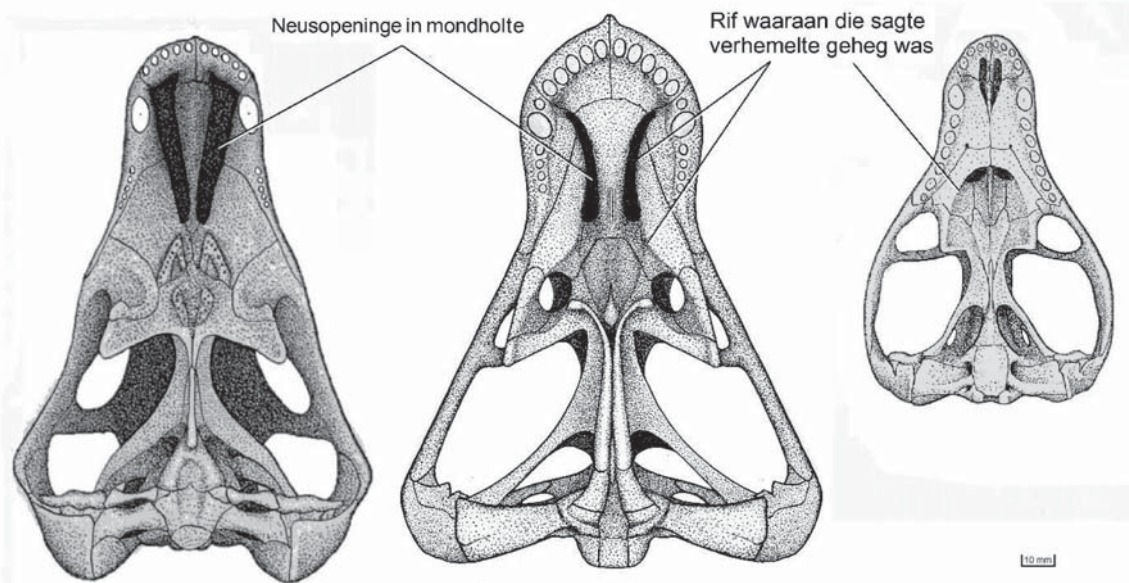
Figuur 6: Syaansig van die rekonstruksie van *Cradognathus albanensis*
 (Afkortings: Ang: Angulare, Bo: Basioksipitale, Bs: Basisfenioïed, D: Dentale, Ec: Ektopterygoïed, Eo: Eksoksipitale, Ept: Epipterygoïed, F: Frontale, Ip: Interpariëtale, J: Jugale, L: Lakrimale, M: Maksilla, N: Nasale, Op: Opistosfenioïed, P: Pariëtale, Pal: Palatale, Pm: Premaksilla, Po: Postorbitale, Prf: Prefrontale, Pro: Prootikum, Pt: Pterigoïed, Q: Kwadraat, Sm: Septomaksilla, Soc: Superoksipitale, Sq: Skwamosum, T: Tabulare, V: Vomer)



Figuur 7: Boaansig van die *Cradognathus albanensis*-fossiel (CGP/1/2301) (links) en die rekonstruksie (regs)



Figuur 8: Onderaansig van die *Cradognathus albanensis*-fossiel (CGP/1/2301) (links) en die rekonstruksie (regs)



Figuur 9: Onderaansigte van die skedels van karnivoriese soogdieragtige reptiele. Links: *Gorgonops* (*Gorgonopsia*), wat die neusopeninge wat binne die mondholte open, aantoon; Middels: *Cradognathus* (*Therocephalia*), wat die vernouing in die neusopeninge in die dak van die mondholte aantoon; en Regs: *Thrinaxodon* (*Cynodontia*), wat die sluiting van die benige verhemelte aantoon

Cradognathus verlore gegaan. Aangesien die stapes die enigste oorbeentjie in die middeloor van die Therocephalia is, word hulle, soos die res van die soogdieragtige reptiele, steeds as reptiele geklassifiseer en nie as soogdiere nie, ten spyte van die soogdieragtige kenmerke wat hulle reeds besit het.

Cradognathus toon ook 'n vernouing van die binneste neusgate wat in die dak van die mond open, soos wat 'n mens in ander lede van die Akidnognathidae aantref (kyk Fig. 9). Die neusgate van die meeste reptiele open direk in die mondholte en dus kan hulle nie terselfdertyd asemhaal en kou, of vloeistof in die mond hou, soos wat diere met verhemeltes kan doen nie. Die

verhemelte skei die neusholte en mondholte, sodat die dier kan kou of vloeistof in die mond hou terwyl dit asemhaal, maar dit maak dit ook moontlik vir die dier om 'n vakuum in die mond te vorm sodat dit vloeistof in die mond kan opsuig.

Die eerste tekens van die ontstaan van 'n verhemelte, ten spyte daarvan dat dit uit sagte weefsel bestaan het, kom in die lede van die Therocephalia voor. Benewens die feit dat die binneste openinge van die neusgate vernou is, is daar ook 'n rif wat al langs die buitenste rand van die binneste neusgate, van voor tot agter op die pterigoïed loop (kyk Fig. 9). Dit was vir die vashegting van sagte weefsel soos bindweefsel en vel wat dan,

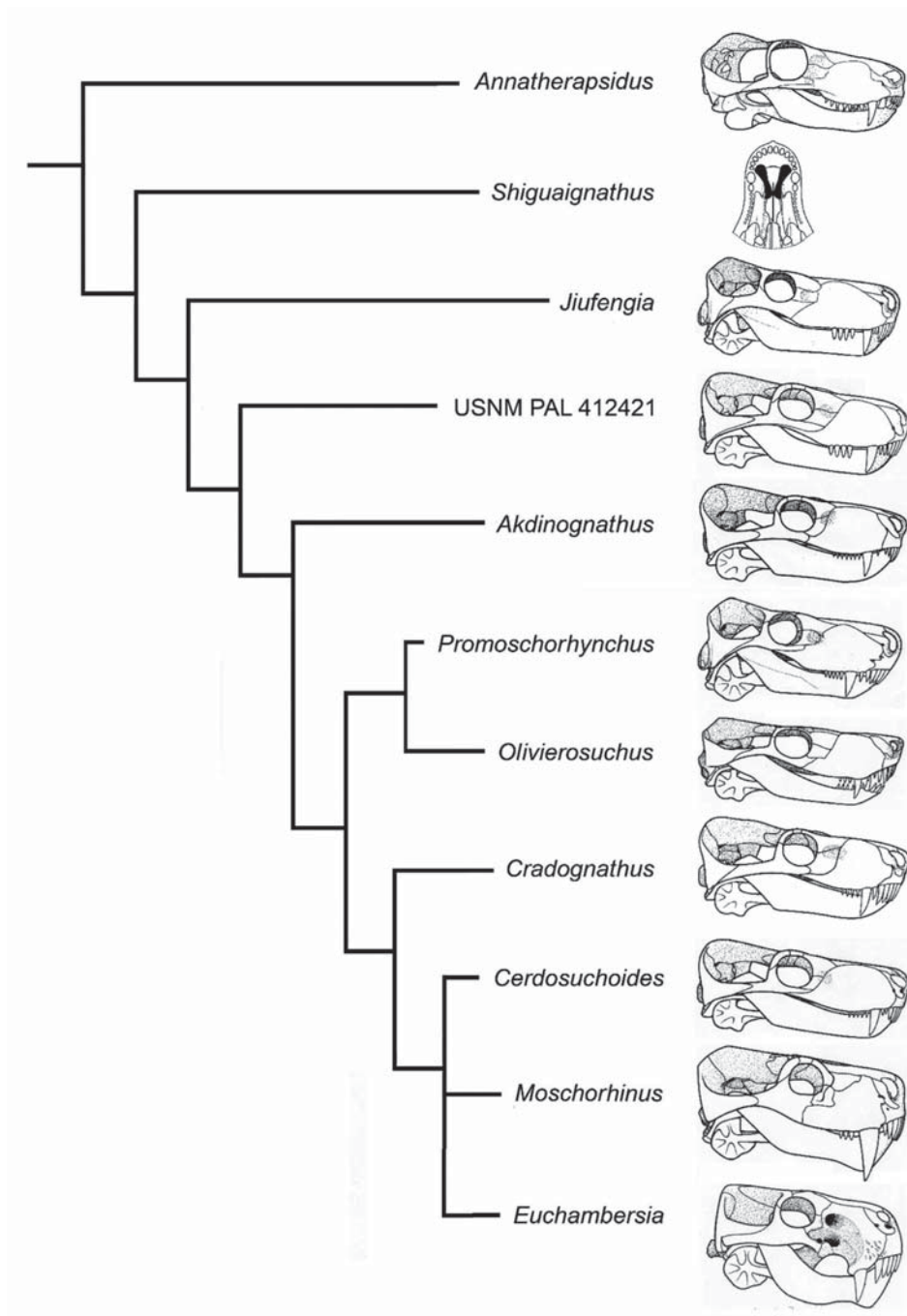
soos die sagte verhemelte agter die beninge verhemelte van soogdiere, ook bydra tot die afsluiting van die neusholte van die mondholte met 'n opening wat agter in die nasofarinks sou open vir asemhaling. Die Akidnognathidae was waarskynlik die eerste organismes wat gesoog het, wat sekerlik een van die belangrikste soogdieragtige kenmerke is.

Mettertyd het die neusholtes verder versmal, terwyl die bene van die monddak, die maksilla en palatinum, mediaal begin kontak maak het, soos wat 'n mens in die Cynodontia kan sien. Die soogdiere het vanuit die Cynodontia ontstaan.

Sinapomorfiese kenmerke wat deur *Cradognathus*, *Euchambersia*, *Cerdosuchoides* en *Moschorhinus* gedeel word, is die induiking op die dentale been net agter die slagatande, en die

feit dat die snytande gladde oppervlakke het. Die puntige snoet van *Cradognathus* vergeleke met die geronde snoete van *Euchambersia*, *Cerdosuchoides* en *Moschorhinus*, dui daarop dat *Cradognathus* 'n sustergroep van die laasgenoemde drie genera vorm (Lloyd, 2025).

Cradognathus is dus die naaste aan *Euchambersia*, *Cerdosuchoides* en *Moschorhinus* verwant, terwyl *Promoschorhynchus* en *Olivierosuchus* hulle eie klade vorm (kyk Fig. 10). Hoewel die morfologiese analise die aanname verwerp dat *Cradognathus*, *Promoschorhynchus* en *Olivierosuchus* naasverwant is, dui dit ook aan dat *Cradognathus* nie 'n junior sinoniem van *Cerdosuchoides* is nie, en ook dat dit nie 'n *Moschorhinus*-jongeling (Lloyd & Durand, 2025) is nie.



Figuur 10: Filogenetiese stamboom van die Akidnognathidae (nie volgens skaal nie)

Gevolgtrekking

Cradognathus is die jongste toevoeging tot die Akidnognathidae, wat die enigste karnivore werweldiergroep was, wat in die Trias-periode vanaf die noorde tot die suide van die aardbol versprei was. Die massalsterwing van die eind-Perm-periode, wat tot die uitwissing van tot 96% van alle mariene spesies en 70% van alle landlewende werweldierspesies gelei het, was die grootste massalsterwing van alle tye. Die Akidnognathidae was een van die weinige groepe werweldiere wat die massalsterwing van die eind-Perm-periode oorleef het (Grunert *et al.*, 2019). Die Akidnognathidae was volgens alle aanduidings van die eerste diergroepe wat kenmerke soos hare, lippe, 'n geslote verhemelte en soring ontwikkel het. Hierdie uitsonderlike prestasies het verseker dat soogdiere, waaronder die mens, enigsins bestaan.

ORCID

F Durand <https://orcid.org/0000-0003-2966-1163>

J Lloyd <https://orcid.org/0000-0003-2661-2497>

Bibliografie

- Brink, A.S., 1959, Notes on some whaitsiids and moschorhinids. *Palaeontologica Africana* 6, 23-49.
- Buffon, G.L.L., Daubenton M, Guéneau de Montbéliard, P., 1761, Histoire naturelle, générale et particulière : avec la description du cabinet du roy, *Histoire naturelle, générale et particulière*. Beskikbaar by: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/204609>.
- Colbert, E.H., Kitching, J.W., 1981, Scaloposaurian reptiles from the triassic of Antarctica, *American Museum Novitates* 2709, 1-22.
- Grunert, H.R., Brocklehurst, N., Fröbisch, J., 2019, Diversity and disparity of therocephalia: Macroevolutionary patterns through two mass extinctions, *Scientific Reports* 9, 5063. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41628-w>.
- Huttenlocker, A.K., Sidor, C.A., 2012, Taxonomic revision of therocephalians (Therapsida: Theriodontia) from the Lower Triassic of Antarctica, *American Museum Novitates* 3738, 19. <https://doi.org/10.1206/3738.2>.
- Kemp, T.S., 1982, Mammal-like reptiles and the origin of mammals. Academic Press, New York.
- Kitching, J.W., 1977, The distribution of the Karroo vertebrate fauna. Memoir 1; Bernard Price Institute for Palaeontological Research. WITS University Press.
- Kitching, J.W., Collinson, J.W., Elliot, D.H., et al., 1972, Lystrosaurus zone (Triassic) fauna from Antarctica, *Science* 175 (4021), 524-527. <https://doi.org/10.1126/science.175.4021.524>.
- Liu, J., Abdala, F., 2017, The tetrapod fauna of the upper Permian Naobaogou Formation of China: 1. Shiguainathus wangi gen. et sp. nov., the first akidnognathid therocephalian from China, *PeerJ* 5, e4150. <https://doi.org/10.7717/peerj.4150>.
- Liu, J., Abdala, F., 2019, The tetrapod fauna of the upper Permian Naobaogou Formation of China: 3. Jiufengia jiai gen. et sp. nov., a large akidnognathid therocephalian, *PeerJ* 7, e6463. <https://doi.org/10.7717/peerj.6463>.
- Liu, J., Abdala, F., 2022, The emblematic South African therocephalian Euchambesia in China: a new link in the dispersal of late Permian vertebrates across Pangea, *Biology Letters* 18, 20220222. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2022.0222>.
- Lloyd, J.K., 2025, The description of the skull of Hewittia albanensis (Therocephalia: Akidnognathidae) and the taxonomic revision of the Akidnognathidae. Unpublished PhD Thesis, University of Johannesburg.
- Lloyd, J.K., Durand, F., 2025, A new akidnognathid synapsid specimen from the Permian of Cradock, South Africa and the revision of Hewittia albanensis, *Acta Palaeontologica Polonica* 70(2), 339-55. <https://doi.org/10.4202/app.01187.2024>.
- Maier, W., Van den Heever, J., Durand, F., 1996, New therapsid specimens and the origin of the secondary hard and soft palate, *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 34, 9-19. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.1996.tb00805.x>.
- Mendrez, C.H., 1974a, Etude du crane d'un jeune specimen de Moschorhinus kitchingi Broom, 1920 (Tigrisuchus simus Owen, 1876), Therocephalia Pristerosauria Moschorhinidae Dáfrique Australe (Remarques sur les Moschorhinidae et les Whaitsiidae), *Annals of the South African Museum* 64, 71-115.
- Mendrez, C.H., 1974b, A new specimen of Promoschorhynchus platyrhinus Brink 1954 (Moschorhinidae) from the Daptocephalus-Zone (Upper Permian) of South Africa, *Palaeontologia Africana* 17, 69-85.
- Suess, E., 1885-1909, Das Antlitz der Erde. Volumes 1-4. G. Wien, F. Tempsky.
- Sidor, C.A., McIntosh, J.A., Gee, B.M., et al., 2023, The Fremouw Formation of Antarctica: Updated vertebrate fossil record and reevaluation of high-latitude Permian-Triassic paleoenvironments, *Earth-Science Reviews* 246, 104587. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104587>.
- Wegener, A.L., 1915, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Vieweg, Braunschweig.

Geraamde voorkoms en koste van verkeersongelukke vir gebruik in die aanvanklike beplanning van buitestedelike paaie in Suid-Afrika

WJ Pienaar

Departement Bedryfsingenieurswese, Universiteit Stellenbosch, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Wessel J Pienaar **E-pos:** wpienaar@sun.ac.za

Hierdie artikel bespreek 'n raming van die getal, die ernstigheidsgraad en die eenheidskoste van verkeersongelukke (hierna "ongelukke" genoem) op buitestedelike paaie in Suid-Afrika; die raming kan in makroskopiese ontleding in die vroeë beplanning van sulke paaie gebruik word. In vroeë beplanning kan buitestedelike paaie volgens drie soorte geklassifiseer word, naamlik gruispaaie, geplaveide enkelbaanpaaie en geplaveide dubbelbaanpaaie, en volgens vyf topografiese uitlegte na gelang van die terrein waarin hulle geleë is, naamlik gelyk, gelyk profiel met 'n kronkelende belyning, golwend, golwende profiel met 'n reguit belyning, en bergagtig. Ongelukskoerse word uitgedruk in getal ongelukke per 100 000 000 voertuigkilometer wat op buitestedelike paaie afgelê word. Die volgende soorte ongelukke word volgens ernstigheidsgraad geïdentifiseer: noodlottige ongelukke, ernstige ongelukke, ligte ongelukke en slegs-skade-ongelukke. Die einde-2024-eenheidskoste per soort ongeluk word geraam.

Sleutelwoorde: Makroskopiese ontleding, padbeplanning, buitestedelike paaie, topografie, kronkeling, golwing, ongelukke

Estimated incidence and cost of traffic accidents for use in the initial planning of peri-urban roads in South Africa: This article provides an estimate of the number, severity and unit cost of traffic accidents in South Africa. This estimate can be used in macroscopic analysis during early road planning. In the early stages of planning, rural roads can be classified into three types, namely gravel carriageways, paved undivided carriageways and paved divided carriageways. Based on their geometric layout, they can also be classified into five topographic terrain types: flat, winding horizontal road alignment with a flat profile, rolling, rolling profile with a straight horizontal alignment, and mountainous. Accident rates are expressed in number of accidents per 100 000 000 vehicle-kilometres driven on peri-urban roads. The following accident classes are identified according to severity: Fatal accidents, serious-injury accidents, minor-injury accidents and damage-only accidents. The end-of-2024 unit cost per class of accident is provided.

Keywords: Macroscopic analysis, road planning, peri-urban roads, topography, bendiness, hilliness, accidents

Inleiding

Padgebruikerskoste wat deur padverbeteringsprojekte beïnvloed word, bestaan uit drie komponente, naamlik voertuigloopkoste, die geleentheidskoste van reisigers se tyd, en ongeluuskoste. Mikroskopiese ontleding kan meer geredelik van die vooruitskatting van padgebruikerskoste op buitestedelike paaie gedoen word as van dié op stedelike paaie. Reisspoede van voertuie op buitestedelike paaie is gelykmatiger en die oorsake van spoedveranderinge kan makliker geïsoleer word as dié van voertuie in stedelike verkeersomstandighede.

Deur spoed as 'n onafhanklike veranderlike te gebruik om die voertuigloopkostekomponent van padgebruikerskoste te bepaal, kan 'n spoedprofiel gesimuleer word aan die hand van veranderlikes soos die voertuigklas, padoppervlak, padgeometrie en verkeer. Sulke ontledings neem gewoonlik basiese voertuigloopkoste teen 'n konstante spoed op 'n gelyk en reguit geplaveide padseksie as vertrekpunt. Veranderinge in loopkoste word aan die volgende toegeskryf aan:

(1) Verandering in die tempo van voertuigbeweging;

(2) verandering in die rigting van horisontale voertuigbeweging; en

(3) voertuigbeweging teen opdraandes en afdraandes.

Hierdie datavereiste beperk die moontlikheid om tydens die vroeë beplanning en evaluering van paaie voertuigloopkoste, reisspoed en ongeluuskoste mikroskopies vooruit te skat, bloot omdat die beoogde soort pad en juiste ligging daarvan nog nie uit verskillende alternatiewe gekies en in fyn besonderhede ontwerp is nie. Die detailbeplanning van 'n buitestedelike pad moet daarom reeds ver gevorderd wees voordat 'n mikroskopiese ontleding gedoen kan word om al drie komponente van padgebruikerskoste oor die hele beoogde padseksie te raam.

Navorsingsbehoefte

Daar is ontledingsmodelle in Suid-Afrika beskikbaar om voertuigloopkoste en reistyd oor 'n padseksie vir gebruik in sosialekostevoordeel-ontledings op sowel mikroskopiese as makroskopiese wyse te raam. Ongelukkig bestaan daar nog nie gekalibreerde en gevalideerde ongeluukvooruitskattingmodelle, hetsy mikroskopies of makroskopies, vir aanwending

in Suid-Afrika nie, ofskoon die ontwikkeling van sulke modelle in die vooruitsig gestel word (Van As, 2024). Ter wille van vroeë beplanning, waartydens die gebruikerskoste van moontlike alternatiewe padroetes met makroskopiese ontledings minder noukeurig geraam word as met mikroskopiese ontledings ná voltooiing van die finale beplanning en ontwerp, kan buitestedelike paaie geklassifiseer word volgens die soort pad – te wete gruispaaie, onverdeelde geplaveide paaie (d.w.s. enkelbaanpaaie) en verdeelde geplaveide paaie (d.w.s. dubbelbaanpaaie) – en die topografiese terrein waarin dit geleë is.

Ofskoon padnetwerkwyse ongeluiskorse per soort buitestedelike pad deur die Suid-Afrikaanse Nasionale Padagentskap Beperk ("SANRAL") vir beplanningsdoeleindes geraam word, is daar nie formele ramings beskikbaar wat die invloed van besondere topografiese liggingseienskappe op die voorkoms van ongelukke vir gebruik in die makroskopiese ontleding tydens vroeë of aanvanklike padbeplanning aandui nie. Hoewel geraamde gemiddelde voertuigloopkoste en voertuigreispoede verteenwoordigend en betroubaar vir ontledingdoeleindes beskikbaar is vir elk van die vyf topografiese terreinsoorte wat in Tabel 1 genoem word (COTO, 2023), kan die voorkoms van ongelukke nie aan slegs bogenoemde drie breed gedefinieerde soorte paaie en die vyf topografiese terreinsoorte toegeskryf word nie. Gepubliseerde navorsing wat by die Universiteit Stellenbosch gedoen is (Bester & Maritz, 2014) en ongepubliseerde navorsing deur SANRAL (2023) en Van As (2024) dui daarop dat nie net die sake wat in die Inleiding genoem word, 'n rol by die voorkoms van ongelukke speel nie; twee ander faktore speel ook 'n beduidende rol: (1) die soort toegange en uitgange van 'n pad, naamlik gelykvlak kruisings teenoor vlakgeskeide wisselaars, en (2) die breedte en oppervlak (geplavei teenoor ongeplavei) van 'n pad se skouers. Ten einde aanvaarbare vooruitskattings van ongeluiskorse te kan maak, moet die drie padsoorte eintlik uitgebrei word tot die 17 padsoorte wat in kolom 1 van Tabel III genoem word.

Die beskikbaarheid van 'n makroskopiese model wat die invloed van besondere topografiese liggingseienskappe van 'n buitestedelike pad op die voorkoms van ongelukke aandui, sal nuttig aangewend kan word by (a) die koste-voordeel-ontledings vir aanvanklike ekonomiese haalbaarheidstudies, (b) die priorisering en keuring van mededingende projekte, (c) die uitkenning van projekte wat verkeersveiligheid ten beste sal bevorder, en (d) in die afwesigheid van 'n mikroskopiese ongeluiskorsvoorspellingsmodel tydens detailbeplanning as tussentydse inset in die finale projektevaluering aangewend kan word.

Topografiese terreinklasse

Die topografie van die omgewing waardeur paaie loop, beïnvloed hul horisontale belyning sowel as hul vertikale profiel. Vir padbeplanningsdoeleindes groepeer die American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1984) die onderskeie topografiese kenmerke in drie terreinklasse, te wete gelyk, golwend en bergagtig. Soms is die omliggende terrein só dat 'n gelyk pad 'n kronkelende belyning kan hê, of 'n relatief reguit pad 'n golwende profiel.

Weens die redelik algemene voorkoms van gelyk paaie met 'n kronkelende belyning en reguit paaie met 'n golwende profiel het Pienaar (1993) voorgestel dat hulle as topografiese kategorieë ingesluit word by die beplanning en ontleding van buitestedelike paaie, en die kenmerke van die vyf klasse gedefinieer wat verteenwoordigend van Suid-Afrikaanse buitestedelike paaie is. Hierdie definisies word sedertdien deur SANRAL vir padbeplanningsdoeleindes aanbeveel (Harmse, 2012). Die kenmerke van elke topografiese klas is soos volg:

Gelyk terrein: Dit is die omgewing waarin padsigafstande, soos deur horisontale en vertikale beperkings bepaal, oor die algemeen groot is of groot gemaak kan word sonder dat daar konstruksieprobleme of buitengewone uitgawes sal wees. Helligings oorskry in die reël nie 2% nie, terwyl die straal van horisontale draaie oor die algemeen groter as 2 000 m is.

Gelyk profiel met 'n kronkelende belyning: Dit is die omgewing waarin die belyning weens topografiese of grondgebruiks-oorewegings teenaan 'n kronkelende eskaarp, rand, kuslyn, rivier of waterryke gebied loop sonder dat daar noemenswaardige helligings in die profiel voorkom. Padhelligings oorskry nie 2% nie, en die straal van horisontale draaie is ongeveer 800 m vir eenderde van die afstand en meer as 2 000 m vir die oorblywende tweederdes van die afstand.

Golwende terrein: Dit is die omgewing waarin die natuurlike helligings egalig bo die padhelligings uitstyg of daaronder daal, en waar steil helligings hier en daar 'n mate van beperking bied wat padbelyning en -profiel betref. Padhelligings is ongeveer 3,5% vir tweederdes van die afstand, terwyl die oorblywende eenderde van die afstand uit duik- en kruinboë bestaan. Die straal van horisontale draaie is ongeveer 800 m vir eenderde van die afstand en meer as 2 000 m vir die oorblywende tweederdes van die afstand.

Golwende profiel met 'n reguit belyning: Dit is die omgewing waarin die topografie gekenmerk word deur opeenvolgende heuwelrûe wat deur dale of valleie afgewissel word en waar die pad hierdie rûens en dale in hul dwarste deurkruis. Ekonomiese en/of grondgebruiksfaktore verhoed dat die profiel platter gemaak word deur draaie in die belyning te plaas of deur deurgrawings en opvullings te maak. Padhelligings is ongeveer 3,5% vir tweederdes van die afstand, terwyl die oorblywende eenderde van die afstand uit duik- en kruinboë bestaan. Die straal van horisontale draaie is ongeveer 800 m vir eenderde van die afstand en meer as 2 000 m vir die oorblywende tweederdes van die afstand.

Bergagtige terrein: Dit is die omgewing waarin oorlangse en dwarsveranderinge in grondhoogtes ten opsigte van die pad skielik voorkom, en trapkonstruksie en uitgrawings teen hange dikwels nodig is om 'n aanvaarbare profiel en belyning te verkry. Padhelligings is ongeveer 6% vir tweederdes van die afstand, terwyl die oorblywende eenderde van die afstand uit duik- en kruinboë bestaan. Die straal van horisontale draaie is ongeveer 400 m vir eenderde van die afstand en meer as 2 000 m vir die oorblywende tweederdes van die afstand.

Bogenoemde profiel- en belyningsomstandighede van padsoorte volgens topografiese terrein word in Tabel I opgesom.

Navorsingsmetode en resultate

Ten einde die getal en ernstigheidsgraad van ongelukke op verskillende soorte buitestedelike paaie te raam vir gebruik in vroeë beplanning, is as eerste stap gebruik gemaak van ramings deur SANRAL van die gemiddelde ongeluukoerse vir die hele padnetwerk per soort buitestedelike pad. SANRAL se ramings is gegrond op 'n rekenaarmodel genaamd Highway Development and Management Model Four (HDM-4), wat deur die Wêreldbank ontwikkel en deur SANRAL vir Suid-Afrikaanse gebruik aangepas is. Dié aanpassing staan bekend as HDM-4 RSA CONFIGURATION SETUP.XLS (SANRAL, 2023). In hierdie aanpassing het SANRAL gesteun op die bevindings en aanbevelings soos vervat in die Highway Safety Manual (HSM) van die American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2010). In gevalle waar twyfel bestaan het oor die plaaslike geldigheid van die aanbevelings in die HSM en Suid-Afrikaanse opnameresultate beskikbaar was, het SANRAL voorkeur verleen aan die plaaslike opname-resultate. In gevalle waar daar twyfel bestaan het oor die aanbevelings in die HSM en plaaslike resultate nie beskikbaar was nie, het SANRAL se ontleders hulle professionele oordeel gebruik en konsensusbesluite rakende ongeluukoerse geneem. Tydens die opstel van hierdie artikel is die geraamde gemiddelde ongeluukoerse op alle gruispaaie, enkelbaanpaaie en dubbelbaanpaaie van SANRAL se aangepaste HDM-4-model met die resultate van Bester en Maritz se studie (Bester & Maritz, 2014) vergelyk en is daar vasgestel dat die geraamde ongeluukoerse op die drie padsoorte nie met meer as 10% opwaarts of afwaarts van mekaar verskil nie. In die lig van die voorgaande is die skrywer tevrede dat die bevindings van

Bester en Maritz sowel as dié van SANRAL as geldige insette vir die doeleindes van hierdie artikel aanvaar kan word.

In die afwesigheid van 'n ongeluukvooruitskattingsmodel wat die invloed van besondere topografiese terreinsoorte op die voorkoms van ongelukke kan toon, kon met behulp van SANRAL se model 'n raming gemaak word van die gemiddelde ongeluukoerse op 17 padsoorte, wat insluit (1) gruispaaie, (2) enkelbaanpaaie en (3) dubbelbaanpaaie. Hierdie 17 padsoorte word in kolom 1 van Tabel III aangegee, met vermelding van die tipe skouers en toegangsbeheer van elke geplaveide pad, terwyl die vermeldde gemiddelde ongeluukoerse in kolom 2 van die tabel genoem word. In Tabel III word gruispaaie as padsoort 1 genoem, enkelbaanpaaie as padsoort 2 tot 13 en dubbelbaanpaaie as padsoort 14 tot 17.

Die tweede stap in die ondersoek was om die uitwerking van 'n toename in die kronkeling en golwing van paaie op die voorkoms van ongelukke te raam. Navorsing wat aan die Universiteit Stellenbosch gedoen is oor die voorkoms van ongelukke op verskillende soorte buitestedelike paaie in die Wes-Kaap en KwaZulu-Natal (Bester & Maritz, 2014) het bevestig dat ongeluukoerse styg namate die horisontale belyning van paaie meer kronkelend en die vertikale profiel meer golwend word, en namate die voorkoms van meer en steiler opdraandes en afdraandes toeneem. Die navorsingsresultate dui ook daarop dat die invloed van meer kronkeling op ongeluukoerse groter is as die invloed van meer golwing namate die topografie verhewig. Op grond van die numeriese verwantskappe wat in die navorsingsresultate vervat is, het die skrywer 'n stel aanpassingsfaktore opgestel wat die styging in ongeluukoerse aandui namate die horisontale padbelyning en die vertikale padprofiel van 'n padseksie onderskeidelik meer kronkelend en meer golwend word, vergeleke met 'n gelyk en reguit padseksie. Hierdie aanpassingsfaktore word in Tabel II getoon.

Tabel I: Aanvaarde voorkoms van hellings en draaie op verskillende topografiese terreinsoorte vir gebruik in makroskopiese ontledings van buitestedelike paaie

Topografie	Hellings (profiel)	Horisontale draaie (belyning)
Gelyk	0%-helling vir eenderde van afstand 1%-helling vir eenderde van afstand 2%-helling vir eenderde van afstand	Geen effek weens draaie omdat strale > 2 000 m
Gelyk met kronkeling	Dieselfde as by gelyk topografie	Draaie met straal van 800 m vir eenderde van afstand en draaie met straal van > 2 000 m vir oorblywende tweederdes van afstand
Reguit met golwing	3,5%-helling vir tweederdes van afstand, oorblywende eenderde van afstand deur duik- en kruinboë beslaan	Dieselfde as by gelyk topografie
Golwend	Dieselfde as by reguit met golwing	Dieselfde as by gelyk met kronkeling
Bergagtig	6%-helling vir tweederdes van afstand, orige eenderde van afstand deur duik- en kruinboë beslaan	Draaie met straal van 400 m vir eenderde van afstand en draaie met straal van > 2 000 m vir oorblywende tweederdes van afstand

Tabel II: Aangenome aanpassingsfaktore van ongeluiskoeerse op verskillende soorte buitestedelike paaie

Topografie	Gruispaai	Geplaveide paaie
Gelyk	1,00	1,00
Gelyk met kronkeling	1,75	1,15
Reguit met golwing	1,25	1,05
Golwend	2,00	1,20
Bergagtig	3,00	2,30

Die derde stap in die ondersoek was om bogenoemde aanpassingsfaktore *pro rata* per topografiese terreinklas toe te ken. Hierdie toekenning is gedoen aan die hand van die konsensus wat deur 'n paneel (bestaande uit akademië en raadgevers wat navorsing oor aspekte van vervoeringingenieurswese en vervoer-

ekonomie doen, en nasionale en provinsiale padadministrateurs) van 12 lede bereik is dat van die totale getal voertuigkilometers wat op buitestedelike paaie afgelê word, 40% op dubbelbaanpaaie, 55% op enkelbaanpaaie en 5% op gruispaaie voorkom. Die paneel se konsensus rakende buitestedelike reise volgens topografiese terrein was: gelyk – 20%; gelyk met 'n kronkelende belyning – 20%; reguit met golwende profiel – 20%; golwend – 30%; bergagtig – 10% (Pienaar, 1993). Die aangenome aanpassingsfaktore van ongeluiskoeerse op verskillende soorte buitestedelike paaie wat in Tabel II getoon word, is vervolgens gebruik om die beswaarde gemiddelde ongeluiskoeerse in kolom 2 van Tabel III aan te pas.

Die verkrygte geraamde ongeluiskoeerse uitgedruk in getal ongelukke per 100 000 000 voertuigkilometer per buitestedelike padsoort en topografiese terreinklas word in kolom 3 tot 7 van Tabel III getoon.

Tabel III: Ongeluiskoeerse uitgedruk in getal ongelukke per 100 000 000 voertuigkilometer gesamentlik op alle buitestedelike paaie en afsonderlik per soort buitestedelike pad volgens geometriese uitleg in verskillende topografiese terreinklasse

Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	Kolom 4	Kolom 5	Kolom 6	Kolom 7
Soort pad	Gemiddelde totale getal ongelukke per 100 000 000 voertuigkilometer op verskillende buitestedelike soorte paaie	Gemiddelde getal ongelukke per 100 000 000 voertuigkilometer per soort buitestedelike pad volgens geometriese uitleg in verskillende topografiese terreinklasse				
		Gelyk	Gelyk met kronkelende belyning	Reguit met golwende profiel	Golwend	Bergagtig
1. Ontwerpte gruispad wat in stand gehou word	992	583	1 020	729	1 166	1 749
2. Geplaveide enkelbaanpad met gelykvlak kruisings en ongeplaveide skouers	571	464	534	487	557	1 067
3. Enkelbaanpad met gelykvlak kruisings en geplaveide skouers smaller as 1 m	545	443	509	465	532	1 019
4. Enkelbaanpad met gelykvlak kruisings en geplaveide skouers tussen 1 en 2 m breed	491	399	459	419	479	918
5. Enkelbaanpad met gelykvlak kruisings en geplaveide skouers breër as 2 m	470	382	439	401	458	879
6. Enkelbaanpad met wisselaars en ongeplaveide skouers	350	284	327	298	341	653

7. Enkelbaanpad met wisselaars en geplaveide skouers smaller as 1 m	325	264	304	277	317	607
8. Enkelbaanpad met wisselaars en geplaveide skouers tussen 1 en 2 m breed	270	219	252	230	263	504
9. Enkelbaanpad met wisselaars en geplaveide skouers breër as 2 m	250	203	233	213	244	467
10. Enkelbaan-vierlaanpad met gelykvlak kruisings en ongeplaveide skouers	536	436	500	458	523	1 003
11. Enkelbaan-vierlaanpad met gelykvlak kruisings en geplaveide skouers	507	412	474	433	494	948
12. Enkelbaan-vierlaanpad met wisselaars en ongeplaveide skouers	315	256	294	269	307	589
13. Enkelbaan-vierlaanpad met wisselaars en geplaveide skouers	287	233	268	245	280	536
14. Dubbelbaanpad met gelykvlak kruisings en ongeplaveide skouers	414	336	386	353	403	773
15. Dubbelbaanpad met gelykvlak kruisings en geplaveide skouers	397	323	371	339	388	743
16. Dubbelbaanpad met vlakgeskeide wisselaars en ongeplaveide skouers	194	158	182	166	190	363
17. Dubbelbaanpad met vlakgeskeide wisselaars en geplaveide skouers	176	143	164	150	172	329

Arrive Alive South Africa (2024) kategoriseer ongelukke as noodlottige ongelukke, ernstige ongelukke, ligte ongelukke en slegs-skade-ongelukke, en omskryf dit soos volg:

- (1) 'n Noodlottige ongeluk is 'n ongeluk waarin ten minste een persoon omkom as gevolg van die ongeluk, hetsy onmiddellik of tot ses dae ná die ongeluk;
- (2) 'n ernstige ongeluk is 'n ongeluk waarin ten minste een persoon ernstig beseer is (maar nie noodlottig nie) en die beserings enige van die volgende behels: breuke, vergruising, harsingskudding, inwendige skade, ernstige snye of skuurwonde, en ernstige skok wat mediese behandeling verg;
- (3) 'n ligte ongeluk is 'n ongeluk waarin ten minste een persoon ligte beserings opgedoen het, byvoorbeeld snye, kneusing, verstuiting en ligte skok; en
- (4) 'n slegs-skade-ongeluk is 'n ongeluk waarin niemand beseer is nie maar die betrokke voertuig/voertuie en/of ander eiendom beskadig is.

Gedurende Maart 2016 het die Padverkeersbestuurskorporasie geraamde gemiddelde eenheidskoste van ongelukke, geskoei op die mensekapitaalmetode, in middel-2015-waardes per ernstigheidsgraad gepubliseer vir gebruik in sosialekoste-voordeel-ontledings van paaie (Labuschagne, 2016). In hierdie publikasie is aanbeveel dat wanneer hierdie eenheidskoste in toekomstige jare gebruik word, dit met die verbruikersprysindeks (VPI) aangepas moet word. Volgens Statistieke Suid-Afrika (2025) het die VPI van 'n basis van 100,0 op 1 Julie 2015 toegeneem tot 'n vlak van 154,8 op 31 Desember 2024. Die geraamde middel-2015-eenheidskoste van ongelukke volgens ernstigheidsgraad, aldus die Padverkeersbestuurskorporasie, verskyn in die derde kolom van Tabel IV en die VPI-aangepaste waardes daarvan daarnaas. Die beswaarde gemiddelde koste per ernstigheidsgraad van ongelukke is bepaal deur die relatiewe persentasie verspreiding van ongelukke volgens ernstigheid in die tweede kolom van Tabel IV te gebruik. Hierdie verspreiding is 'n beraming deur SANRAL (2023) en word in hierdie werk aanvaar as 'n getroue weergawe van die verspreiding van ongelukke volgens ernstigheid in Suid-Afrika.

Die beraming van ongeluuskoste is omstrede, aangesien dit onder meer 'n waarde aan slagoffers se lewens, pyn, lyding en trauma heg. In 'n sosialekoste-voordeel-ontleding is die fokus op verhoogte veiligheid en die vermindering van ongeluuskade

vanuit 'n ekonomiese oogpunt. Uit dié oogpunt is die materiële verlies wat deur noodlottige ongevallen, pyn, lyding en trauma meegebring word van belang, en nie die morele waarde daarvan nie (iRap, 2009; US Department of Transportation, 2015). Verskeie metodes is reeds ontwikkel om die ekonomiese waarde van menselewens te bereken. Twee van die vernaamste metodes wat hiervoor gebruik word, is die mensekapitaalmetode en die bereidheid-om-te-betaal-metode – die waarde van veiligheidsverbeterings word hiervolgens gedefinieer as die totaal van die bedrae wat mense individueel bereid sou wees om te betaal vir die vermindering van risiko wat die veiligheidsverbeterings tot gevolg sal hê.

Die mensekapitaalmetode is relatief eenvoudig om toe te pas, maar die bereidheid-om-te-betaal-metode word geag konseptueel die mees gepaste ongeluuskostewaarderingmetode vir gebruik in sosialekoste-voordeel-ontleding te wees (iRap 2009; ECMT Round Table, 2000). Hierdie artikel beveel aan dat die nodige navorsing deur die nasionale Departement van Vervoer van stapel gestuur word om ongeluuskoste volgens die bereidheid-om-te-betaal-metode vir aanwending in die sosialekoste-voordeel-ontleding te raam, aangesien dit die ekonomiese geleentheidskoste wat 'n gemeenskap kollektief aan versekerde veiligheid heg, sal aandui.

Gevolgtrekkings

Betroubare mikroskopiese verkeersontledings, veral wat die voorkoms van padverkeersongelukke in die toekoms betref, verg 'n maksimum hoeveelheid data van relevante padgeometriese en verkeersomstandighede, wat eers beskikbaar is ná afhandeling van die finale padontwerp. Hierdie omstandighede lê die akkuraatheid van die aanvangsfase van die beplanning van 'n pad aan bande, wat besluitneming oor investering in die pad bemoeilik. Plaasvervangende “kortpadmetodes” om makroskopiese ontledings te doen moet daarom ontwerp word om tydens vroeë padbeplanning die plek van mikroskopiese verkeersontledings in te neem.

In vroeë beplanning kan buitestedelike paaie volgens drie soorte geklassifiseer word, naamlik gruispaaie, geplaveide enkelbaanpaaie en geplaveide dubbelbaanpaaie, en volgens vyf topografiese uitlegte na gelang van die terrein waarin dit geleë is, naamlik gelyk, gelyk profiel met 'n kronkelende

Tabel IV: Geraamde eenheidskoste van verkeersongelukke volgens ernstigheidsgraad op buitestedelike paaie

Ongelukstipe volgens ernstigheidsgraad	Persentasie van ongelukke	Eenheidskoste per ongeluk volgens ernstigheidsgraad	
		Middel-2015-waarde	Einde-2024-waarde (VPI-aangepas)
Noodlottig	6	R5 435 261	R8 413 784
Ernstige besering	10	R765 664	R1 185 152
Ligte besering	28	R152 244	R235 674
Slegs skade	56	R48 533	R75 129
Almal	100	R472 486	R731 408

belyning, golwend, golwende profiel met 'n reguit belyning, en bergagtig, daar word beklemtoon dat die resultate van hierdie studie lengtegebaseer (oftewel padseksiegebaseer) is en nie puntgebaseerde faktore in ag neem nie. Die artikel se resultate kan daarom nie gebruik word om die ongelukskoers by 'n spesifieke punt, byvoorbeeld by 'n tolhek, 'n gelykvlakkruising of 'n stelselwisselaar te voorspel nie.

Padgebruikerskoste, wat deur padverbeteringsprojekte beïnvloed word, bestaan uit drie komponente, naamlik voertuigloopkoste, die geleentheidskoste van reisigers se tyd, en ongeluuskoste. Hoewel geraamde gemiddelde voertuigloopkoste en voertuigreisspoede betroubaar vir die drie soorte paaie in elk van die vyf geïdentifiseerde topografiese terreinsoorte geraam kan word, kan die voorkoms van ongelukke nie bloot daarvolgens geraam word nie, want (1) die soort toegange en uitgange van 'n pad, naamlik gelykvlakkruisings teenoor vlakgeskeide wisselaars, en (2) die breedte en oppervlak (geplavei teenoor ongeplavei) van 'n pad se skouers het ook 'n beduidende uitwerking op ongelukke, wat meebring dat die drie soorte paaie tot die 17 padsoorte wat in kolom 1 van Tabel III genoem word, uitgebrei moet word vir aanvaarbare vooruitraming van ongeluuskoeerse. Die gemiddelde totale ongeluuskoeerse vir elkeen van hierdie 17 padsoorte verskyn in kolom 2 van die tabel, en die gemiddelde ongeluuskoeerse per padsoort volgens geometriese uitleg in verskillende topografiese terreinklasse word in kolom 3 tot 7 getoon. Die totale ongeluuskoste kan aan die hand van Tabel IV geraam word.

Aanbeveling

Aangesien die sosialekoste-voordeel-ontleding van padprojekte grootliks met die vermindering van padgebruikerskoste te make het, is die fokus wat ongeluuskade betref, op verhoogte veiligheid en die vermindering van ongeluuskade vanuit 'n ekonomiese oogpunt. Daarom word aanbeveel dat die nodige navorsing deur die nasionale Departement van Vervoer van

stapel gestuur word om die geleentheidskoste van ongelukke volgens die bereidheid-om-te-betaal-metode vir aanwending in die sosialekoste-voordeel-ontleding te raam, en nie volgens die mensekapitaalmetode wat tans deur die Departement toegepas word nie.

ORCID

WJ Pienaar <https://orcid.org/0000-0002-3638-1111>

Bibliografie

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1984, A policy on geometric design of highways and streets. Washington, DC.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2010, Highway safety manual. Washington, DC.
- Arrive Alive South Africa, 2024, Definitions and explanatory notes. Available from: <https://arrivealive.co.za/Definitions-And-Explanatory-Notes>. Geraadpleeg op 5 September 2024.
- Bester, C.J., Maritz, G., 2014, Accident rates on rural roads in the Western Cape, Paper presented at the SARF/IRF Conference on Better Roads: Moving Africa, Pretoria, South African Road Federation.
- Committee of Transport Officials (COTO), 2023, Social cost benefit analysis of road projects, *Technical Methods for Highways (TMH) 20* Volume 1, COTO, Pretoria.
- ECMT Round Table, 2000, Economic evaluation of road traffic safety measures, Round Table 117, Economic Research Centre, European Conference of Ministers of Transport, Paris.
- Harmse, A.W., 2012, Planning and design: General guidelines, South African National Roads Agency Limited, Pretoria.
- International Road Assessment Programme (iRAP), 2009, The true cost of road crashes: Valuing life and the cost of a serious injury, Hampshire, UK.
- Labuschagne, F.J.J., 2016, Cost of crashes in South Africa, Prepared for the Road Traffic Management Corporation (RTMC) by the CSIR, Pretoria.
- Pienaar, W.J., 1993, Fuel consumption rates of road vehicles on rural roads, *Journal of the South African Institute of Civil Engineers* 35(1), 16–19.
- South African National Roads Agency Limited (SANRAL), 2023, HDM-4 Accident Classes, HDM-4 RSA CONFIGURATION SETUP.XLS, Pretoria.
- Statistics South Africa, 2025, 'Statistical Publications', <http://www.statsa.gov.za>. Geraadpleeg op 5 Maart 2025.
- US Department of Transportation, 2015, Guidance on treatment of the economic value of a statistical life in US Department of Transportation Analyses, Washington, D.C.
- Van As, S.C., 2024, 'Ongeluuskoeerse op buitestedelike paaie', christo@scvanas.co.za (E-pos gerig aan die skrywer, 25 September 2024.) SC van As Traffic Engineer CC, Stilbaai.

Bou van digitale brûe: Ondersoek na die impak van vennootskappe met verskeie belanghebbers op die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur

O Selebi, K Mashele

Departement Ekonomiese en Bestuurswetenskappe, Universiteit van Pretoria, Pretoria

Korresponderende outeur: O Selebi **E-pos:** olebogeng.selebi@up.ac.za

Hierdie studie ondersoek die rol van multibelanghebbersvennootskappe (MBV's) in die bevordering van landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling in Suid-Afrika. Gegewe die voortdurende digitale kloof in landelike gebiede, ondersoek die studie hoe MBV's wat openbare en privaatsektorbelanghebbers betrek, uitdagings soos onvoldoende infrastruktuur, hoë koste en regulatoriese hindernisse die hoof kan bied. 'n Kwalitatiewe navorsingsontwerp is gebruik, met semigestruktureerde onderhoude wat met 12 senior belanghebbers uit die telekommunikasiesektor gevoer is. Die studie beklemtoon die kritieke belangrikheid van strategiese kommunikasie en belanghebbersbetrokkenheid om die sukses van hierdie vennootskappe te verseker. Die bevindinge dui daarop dat, hoewel beduidende beleggings gemaak is, uitdagings soos mededinging tussen operateurs, gemeenskapsweerstand en regulatoriese kompleksiteit steeds bestaan. Die studie kom tot die gevolgtrekking dat effektiewe strategiese kommunikasie, vroeë belanghebbersbetrokkenheid en samewerkende hulpbrondeling noodsaaklik is om hierdie hindernisse te oorkom en volhoubare infrastruktuurontwikkeling te bereik. Die artikel beveel 'n holistiese benadering tot MBV's aan, met die fokus op kapasiteitsbou, vereenvoudigde regulatoriese prosesse en die benutting van tegnologiese innovasies om die digitale kloof in Suid-Afrika te oorbrug.

Sleutelwoorde: Multibelanghebbersvennootskap (MBV), landelike telekommunikasie, strategiese kommunikasie, belanghebbersbetrokkenheid, digitale kloof, Suid-Afrika, infrastruktuurontwikkeling, Volhoubare Ontwikkelingsdoelwit (VOD)

Building digital bridges: Investigating the impact of multi-stakeholder partnerships on rural telecommunications infrastructure development: This study investigates the role of multi-stakeholder partnerships (MSPs) in advancing rural telecommunications infrastructure development in South Africa. Given the persistent digital divide in rural areas, the study explores how MSPs involving public and private sector stakeholders can address challenges such as inadequate infrastructure, high costs and regulatory barriers. A qualitative research design was employed, with semi-structured interviews conducted with 12 senior stakeholders from the telecommunications sector. The study highlights the critical importance of strategic communication and stakeholder engagement in ensuring the success of these partnerships. The findings indicate that while significant investments have been made, challenges such as competition among operators, community resistance and regulatory complexity remain. The study concludes that effective strategic communication, early stakeholder engagement and collaborative resource-sharing are essential for overcoming these barriers and achieving sustainable infrastructure development. The paper recommends a holistic approach to MSPs, focusing on capacity building, simplified regulatory processes and leveraging technological innovations to bridge the digital divide in South Africa.

Keywords: Multi-stakeholder partnership (MSP), rural telecommunications, strategic communication, stakeholder engagement, digital divide, South Africa, infrastructure development, Sustainable Development Goal (SDG)

Inleiding

Volgens die Verenigde Nasies (VN) se Volhoubare Ontwikkelingsdoelwitte (VOD's) is toegang tot telekommunikasie-infrastruktuur van kritieke belang in ontwikkelende streke (UNDP, 2020). Telekommunikasie is 'n sleutelinfrastruktuursektor wat die groei van ander nywerhede, soos landbou, onderwys, gesondheid, bankwese, verdediging, vervoer en toerisme 'n hupstoot gee (Wilson et al., 2013). Dit is egter moeilik om telekommunikasiedienste in landelike gebiede te verskaf. Dit is deels omdat die bou en instandhouding van netwerkinfrastruktuur in Suid-Afrika en ander ontwikkelende lande duur is,

omdat die toerusting om die infrastruktuur te bou en in stand te hou dikwels ingevoer word (Mpwanya et al., 2016).

Daarbenewens is die verkryging van regte om telekommunikasie-infrastruktuur te installeer berug is vir hoe moeilik dit in Suid-Afrika is, met lang prosesse wat tussen munisipaliteite en regeringsentiteite verskil. Private operateurs moes byvoorbeeld deur lang hofprosedures gaan om hul netwerke aan die gang te kry (NT, 2019). Verder is die koste van kommunikasie buitensporig hoog, en breëband in landelike gebiede is geneig om swak te wees, met een gigagreep data wat ongeveer VS\$14,10 kos (NT, 2019). Hiermee saam dra mense in landelike gebiede bykomende

kosse as gevolg van die winsmarge wat deur plaaslike lugtydherverkopers bygevoeg word (Rey-Moreno et al., 2016). Om hierdie uitdagings effektief die hoof te bied, is multibelanghebbersvennootskappe (MBV's) noodsaaklik, aangesien hulle die nodige hulpbronne, kundigheid en koördinerende tussen die regering, private sektor en die burgerlike samelewing bymekaarbring, wat 'n meer samewerkende en volhoubare benadering tot die oorkoming van die hindernisse vir infrastruktuurontwikkeling in landelike gebiede moontlik maak.

MSV's word erken as 'n belangrike dryfveer vir die uitruil van idees, die deel van vaardighede, die verhoogde innovasie en die verskaffing van ekonomiese ondersteuning vir die wêreldwye implementering van die VOD's (VN, 2015). MSV's word benodig in 'n land soos Suid-Afrika, waar daar ongelykhede in toegang tot telekommunikasie-infrastruktuur is (wanneer landelike gebiede met stede vergelyk word). MSV's word allerweë beskou as 'n lewensvatbare opsie om uitdagings van hierdie aard die hoof te bied. Navorsing het egter aan die lig gebring dat daar beperkte inligting is oor die rol van MSV's in die ontwikkeling van telekommunikasie-infrastruktuur (Pattberg et al., 2016). MSV's sal waarskynlik misluk as daar min begrip is van die belangrikheid van strategiese kommunikasie (Calabrese, 2008).

Zerfass et al. (2020) definieer strategiese kommunikasie as die doelbewuste gebruik van kommunikasie deur organisasies of individue om gesprekke te voer wat noodsaaklik is vir die bereiking van doelwitte. Strategiese kommunikasie speel 'n fundamentele rol in die sukses van MSV's deur deursigtigheid, belyning van doelwitte en wedersydse vertroue tussen diverse rolspelers te bevorder. In die konteks van infrastruktuurontwikkeling, veral in landelike gebiede, stel strategiese kommunikasie belanghebbers in staat om uiteenlopende institusionele logika te navigeer, verantwoordelikhede te verduidelik en konsensus te bou. Dit ondersteun ook inklusiewe besluitneming, verseker die sigbaarheid van gemarginaliseerde stemme en help om toewyding dwarsdeur die vennootskapslewensiklus te handhaaf. Sonder duidelike, gekoördineerde kommunikasiestrategieë loop MSV's die risiko van fragmentering, missieverskuiwing en verminderde impak.

Om die kompleksiteit van volhoubare ontwikkeling in die konteks van infrastruktuurontwikkeling (VOD 9) die hoof te bied, is multisektorale samewerking nodig. Geen enkele sektor kan ontwikkelingsuitdagings alleen die hoof bied nie (Adam et al., 2007). Soos VOD 17 aandui, is vennootskappe van kritieke belang vir die bereiking van die ontwikkelingsdoelwitte (UNDP, 2020). Daarom het hierdie studie gepoog om die vraag te beantwoord: "Hoe kan multibelanghebbersvennootskappe bydra tot die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur in Suid-Afrika?"

Die volgende subvrae het die studie gelei:

- Watter uitdagings word in landelike kontekste teëgekome wat die sukses van vennootskappe vir die ontwikkeling van telekommunikasie-infrastruktuur beïnvloed?
- Watter uitdagings staan MBV's in die gesig tydens die beplannings- en implementeringsfasies van telekom-

munikasie-infrastruktuurontwikkeling?

- Hoe kan strategiese kommunikasie binne MBV's aangewend word om die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur te bewerkstellig?

12 semigestruktureerde onderhoude is gevoer met belanghebbers wat tans betrokke is by, of beplan om betrokke te raak by, 'n multibelanghebbersvennootskap wat daarop gemik is om landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling te bereik. Die deelnemers is gewerf uit die Suid-Afrikaanse regerings- en privaatsektororganisasies wat betrokke is by telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling, sowel as onafhanklike kundiges uit die sektor.

Literatuuroorsig

Teoretiese Grondslae: Belanghebbersbestuur en dialogiese kommunikasie in MBV's

MBV's is noodsaaklik om die komplekse uitdagings van landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling die hoof te bied, veral in streke met beduidende ongelykhede in konektiwiteit. Doeltreffende belanghebbersbestuur is van kritieke belang vir die sukses van hierdie vennootskappe, wat 'n strategiese benadering vereis om belanghebbersbehoefte te identifiseer, te evalueer en te hanteer. Belanghebbersbestuur behels kommunikasie met, betrokkenheid by en die bou van verhoudings met belanghebbers om hul aktiewe deelname regdeur die projektelewensiklus te verseker (De Oliveira et al., 2019). Hierdie proses is ontwerp om te verseker dat alle belanghebbers 'n stem in besluitneming het en dat hul verwagtinge effektief bestuur word (Mohamed et al., 2018).

Belanghebberteorie, soos voorgestel deur Freeman, beweer dat organisasies 'n verantwoordelikheid het om die belange van alle partye wat deur hul optrede geraak word, in ag te neem, nie net aandeelhouers nie (Castelo Branco et al., 2007). Hierdie holistiese siening moedig organisasies aan om 'n breër perspektief in hul besluitnemingsprosesse te aanvaar, met inagneming van die uiteenlopende behoeftes van interne en eksterne belanghebbers. Deur die belange van alle betrokke partye in ag te neem, is organisasies beter geïntegreer om volhoubare langtermynverhoudings te bou wat waardeskepping maksimeer en kollektiewe sukses bevorder (Mahajan et al., 2023). Vir MBV's beteken dit dat belanghebbers – van plaaslike gemeenskappe tot regeringsliggame – ingesluit moet word in die ontwikkeling van strategieë wat die vennootskap lei, en verseker dat hul insette gehoor en in die algehele plan geïntegreer word.

Suksesvolle belanghebbersbestuur alleen is egter onvoldoende om die doeltreffendheid van MBV's te verseker. Kommunikasie speel 'n belangrike rol in die bou en instandhouding van hierdie verhoudings, en strategiese kommunikasie is die sleutel tot die fasilitering van die uitruil van inligting en om te verseker dat alle partye met mekaar in ooreenstemming is. Die dialogiese teorie van openbare betrekkinge bied 'n noodsaaklike raamwerk vir die begrip van die rol van kommunikasie in MBV's. Hierdie teorie beklemtoon die belangrikheid van tweerigting-, deursigtige kommunikasie, waar alle belanghebbers die geleentheid het

om aan betekenisvolle dialoog deel te neem. Kent et al. (2002) voer aan dat dialoog nie net oor die uitruil van inligting gaan nie, maar 'n proses van medeskepping is, waar elke party kan bydra tot die ontwikkeling van gedeelde betekenis. Hierdie benadering bevorder wedersydse begrip en verseker dat alle belanghebbers hul betrokkenheid as waardevol beskou, wat sterker samewerking bevorder.

In die konteks van die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur beteken die toepassing van dialogiese teorie om met belanghebbers te skakel op 'n manier wat verseker dat hul perspektiewe nie net gehoor word nie, maar ook gerespekteer word. Hierdie benadering gaan verder as eensydige kommunikasie en skep 'n omgewing waar belanghebbers voel dat hulle vennote in die besluitnemingproses is. Deur te verseker dat kommunikasie wedersydse en deelnemend is, kan organisasies vertrouwe bou, misverstande verminder en belanghebbers se verbintenis tot die doelwitte van die vennootskap verhoog (Kent et al., 2002).

Verder stem die konsep van simmetriese kommunikasie – waar alle partye met gelyke agting behandel word en hul behoeftes en bekommernisse gebalanseerde aandag kry – ooreen met die doelwitte van MBV's om te verseker dat geen belanghebbersgroep gemarginaliseer word nie. Deur dialoog en strategiese kommunikasie te prioritiseer, kan organisasies belanghebbersverhoudings beter bestuur, potensiële konflikte die hoof bied en meer effektiewe oplossings ontwikkel vir die uitdagings van landelike telekommunikasie-infrastruktuur-ontwikkeling. Belanghebbersbetrokkenheid, wat dikwels tot terme soos samewerking of kommunikasie vereenvoudig word, is kompleks en behels magsdinamiek, sosio-politieke kwessies en botsende perspektiewe. Die doel van belanghebbersbetrokkenheid is om wedersydse voordele deur dialoog te bevorder, veral in Suid-Afrika (Shabangu et al., 2022).

Die integrasie van Belanghebberbestuursteorie met Dialogiese Teorie bied 'n omvattende benadering tot die verstaan van hoe MBV's gebruik kan word om landelike telekommunikasie-infrastruktuur te ontwikkel. Die fokus op inklusiewe belanghebbersbetrokkenheid en deursigtige tweerigtingkommunikasie verseker dat alle partye tot die sukses van die vennootskap kan bydra en dat die behoeftes van plaaslike gemeenskappe sentraal staan in die besluitnemingproses.

Ontwikkeling van Suid-Afrikaanse telekommunikasie-infrastruktuur in landelike gebiede

Baie landelike gebiede in Suid-Afrika bly verarm, met bevolkings wat onder bestaansvlakke leef as gevolg van 'n gebrek aan toegang tot die basiese infrastruktuur wat nodig is vir ekonomiese groei en ontwikkeling (Herselman, 2003). Apartheid se ruimtelike beplanning het Suid-Afrika se landelike gebiede geskaad, veral dié wat aangewys is vir die meerderheid van die swart Afrika-bevolking. Tussen 2009 en 2014 het die regering 'n belegging van meer as \$54 miljard in infrastruktuur gemaak, en die privaatsektor het ook beduidende beleggings in telekommunikasie-infrastruktuur gemaak (Die Presidensie, 2019). Nietemin was daar min noemenswaardige verandering wat

betref die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur. Die Nasionale Beplanningskommissie (NBK) het nege uitdagings geïdentifiseer wat vordering sedert die einde van apartheid in 1994 vertraag het (UNDP, 2020). Vier van die nege geïdentifiseerde uitdagings hou verband met infrastruktuurontwikkeling, met een wat spesifiek die kwessies van swak geleë, onvoldoende en swak in stand gehoude telekommunikasie-infrastruktuur uitlig (UNDP, 2020). Daarom bly die digitale kloof 'n beduidende uitdaging in Suid-Afrika, veral in landelike gebiede, waar toegang tot telekommunikasie-infrastruktuur steeds beperk is.

Die digitale kloof vererger bestaande sosio-ekonomiese ongelikhede en belemmer ekonomiese ontwikkeling in hierdie gemeenskappe (Mwansa et al., 2025). Namate die wêreld toenemend digitaal word, groei die gaping tussen diegene wat toegang tot betroubare internet- en telekommunikasiedienste het en diegene wat dit nie het nie voortdurend. Die oorbrugging van hierdie kloof is noodsaaklik, nie net vir landelike ontwikkeling nie, maar ook vir die bereiking van die breër doelwitte van sosiale insluiting en ekonomiese bemagtiging, soos uiteengesit in die Verenigde Nasies se Volhoubare Ontwikkelingsdoelwit 9 (VOD 9), wat voorspraak maak vir inklusiewe en volhoubare industrialisering en innovasie.

Daar is deurlopende pogings om die digitale kloof in Suid-Afrika te oorbrug, met verskeie inisiatiewe wat daarop gemik is om landelike konektiwiteit te verbeter. Die Suid-Afrikaanse regering het die belangrikheid van digitale insluiting erken en het belê in programme wat daarop gemik is om infrastruktuur te verbeter en toegang tot tegnologie in landelike gebiede te verhoog. Volgens die Departement van Kommunikasie en Digitale Tegnologieë (DKDT) is die uitrol van breëband-infrastruktuur byvoorbeeld geprioritiseer deur inisiatiewe soos die Universele Diens- en Toegangsfonds (UDTF), wat poog om te verseker dat alle Suid-Afrikanners, veral dié in landelike en ondervoorsiene gebiede, toegang tot bekostigbare telekommunikasiedienste het (DKDT, 2025).

Vennootskappe met die privaatsektor het ook 'n sleutelrol gespeel om hierdie uitdaging die hoof te bied. Verskeie maatskappye het beduidende beleggings gemaak in die uitbreiding van mobiele en breëbandnetwerke in landelike gebiede. Ten spyte van hierdie pogings bly daar egter aansienlike gapings, veral in die mees afgeleë en ekonomies benadeelde streke (SAIIA, 2025). In reaksie op hierdie uitdagings het die regering ook gefokus op beleidshervormings om groter deelname van die private sektor aan die oorbrugging van die digitale kloof te bevorder. Die Wet op Elektroniese Kommunikasie en die Nasionale Breëbandbeleid is hersien om belegging in breëbandinfrastruktuur aan te moedig, met 'n fokus op die uitbreiding van dekking na landelike gebiede (DKDT, 2025). Die onlangse aanvaarding van die Suid-Afrikaanse Nasionale Strategie vir Digitale en Toekomsvaardighede (DKDT, 2020) is daarop gemik om burgers van die nodige vaardighede te voorsien om aan die digitale ekonomie deel te neem, en dit bied verdere steun vir pogings om die digitale kloof te oorbrug.

Ten spyte van hierdie pogings is dit duidelik dat die oorbrugging van die digitale kloof meer as net infrastruktuurbelegging vereis. Daar is 'n behoefte aan 'n holistiese benadering wat vaardighedsontwikkeling, bekostigbare toegang en 'n regulatoriese raamwerk insluit wat innovasie ondersteun, terwyl die unieke uitdagings waarmee landelike gemeenskappe te kampe het, die hoof gebied word. Slegs deur gekoördineerde pogings tussen die regering, private sektor en die burgerlike samelewing sal Suid-Afrika 'n billiker digitale landskap kan skep, wat landelike gemeenskappe bemagtig om ten volle aan die digitale ekonomie deel te neem en volhoubare ontwikkeling te bevorder.

Die rol van die VOD's in die ontwikkeling van telekommunikasie-infrastruktuur

Die VOD's illustreer "die omvang en strewe van die VN se 2030-Agenda vir Volhoubare Ontwikkeling", wat daarop gemik is om "die wêreld op 'n inklusiewe en volhoubare pad te transformeer" (VN, 2015). Alle lidlande van die Verenigde Nasies het die 2030-Agenda vir Volhoubare Ontwikkeling in 2015 aangeneem, waaronder 17 VOD's (VN, 2015). VOD's vorm en inkorporeer alle huidige pogings om volhoubaarheid te verbeter, wat die vestiging van 'n raamwerk vir geïntegreerde infrastruktuurbeplanning om langtermyn- volhoubare ontwikkeling te verseker insluit (Thacker et al., 2019).

Volgens Popp et al. (2019) kan die telekommunikasiesektor Suid-Afrika help om VOD 9 te bereik deur telekommunikasie-infrastruktuur uit te brei en op te gradeer om meer mense te verbind, veral in landelike gebiede, en sodoende ekonomiese deelname te stimuleer. VOD 9-teikens is gebaseer op die ontwikkeling van hoëgehalte-, betroubare, langtermyn- en aanpasbare infrastruktuur om ekonomiese groei en universele toegang vir almal te ondersteun (VN, 2015). Hierdie teikens beklemtoon ondersteuning vir nasionale tegnologieontwikkeling, verhoogde toegang tot Inligting- en Kommunikasietegnologie (IKT), en die bevordering van wydverspreide en bekostigbare internettoegang (VN, 2015). Telekommunikasie is as 'n kritieke ontwikkelings-element geïdentifiseer, omdat dit 'n belangrike rol speel in die bevordering van die samelewing se ekonomiese en sosiale ontwikkeling, soos die verskaffing van toegang tot gesondheidsorg en onderwys, en die bevordering van landboustelsels deur bekostigbare internettoegang (UNDP, 2020).

Die ontwikkeling van telekommunikasie-infrastruktuur in Suid-Afrikaanse landelike gebiede is uitdagend weens 'n gebrek aan vervoer- en energie-infrastruktuur, en lae bevolkingsdigtheid in die meeste landelike gebiede (Reigadas et al., 2015). Die VOD's beklemtoon dat lande bemagtigende tegnologieë moet gebruik om universele en bekostigbare internettoegang te bied en billike deelname deur burgers te verseker (Gillwald et al. 2018). Hierdie studie beweer dat die doelwitte van VOD 9 nie in Suid-Afrika bereik kan word sonder om die nodige vennootskappe effektief te benut nie. VOD 17 beklemtoon die belangrikheid van kennisgebaseerde vennootskappe, veral in die telekommunikasie-infrastruktuursektor.

MBV's en strategiese kommunikasie

Strategiese, samehangende en proaktiewe strategiese kommunikasie is belangrik in MBV-aktiwiteite (Hemmati et al., 2015). Die deel van vordering en toegevoegdewaarde-inligting in MBV's help om die breër netwerk op hoogte te hou van vordering wat gemaak word, enige uitdagings wat ondervind word, en vertragings en struikelblokke wat implementering beïnvloed (Hemmati et al., 2015). Hallahan et al. (2007) definieer strategiese kommunikasie as kommunikasie om jou missie te bevorder. Strategiese kommunikasie dien 'n omvattende doel, voorkom mislukking deur bestaande probleme en moontlike bronne van ondersteuning op te spoor, en dien as 'n terugvoerinstrument in elke stadium, van beplanning tot implementering (Calabrese, 2008).

VOD 17 beklemtoon die belangrikheid van vennootskappe in infrastruktuurontwikkeling – hetsy informeel, formeel of konsulerend (VN, 2015). Die toenemende verwagting dat maatskappye verder moet gaan as om aandeelhouers en kliënte te bedien, en aktief tot die welstand van die samelewing moet bydra, het korporatiewe burgerskap noodsaaklik eerder as opsioneel gemaak (Meintjes, 2021). Aangesien regerings nie meer alleen verantwoordelik kan wees om sosiale ongeregtighede die hoof te bied nie, is maatskappye onder druk om aan hoër openbare verwagtinge te voldoen, veral in die lig van vorige korporatiewe skandale. Daarom het korporatiewe burgerskap, beskou as die maatskappy se verantwoordelikheid teenoor die samelewing, ontwikkel tot 'n sleutelaspek van moderne besigheid, wat daarop gemik is om tot die gemeenskaplike welstand by te dra (Meintjes, 2021). Die bereiking van die VOD's vereis 'n geïntegreerde benadering wat die hindernisse wat deur institusionele silo's geskep word, verminder, terwyl dit ook interregerings- en subnasionale koördinerings tussens implementeringsorganisasies verbeter (Haywood et al., 2019). Vennootskappe is nodig om bestaande en bykomende hulpbronne vir strategiese beplanning, die insameling van finansiële hulpbronne en die ontwikkeling van telekommunikasie-infrastruktuur bymekaar te bring (UNDP, 2020).

Vennootskappe op verskeie vlakke van regering, die private sektor en die burgerlike samelewing verbind en verbeter hulpbronne, wat die ontwikkeling en verandering sal bevorder wat nodig is om die VOD's te bereik en mense se lewens te verbeter (Stibbe et al., 2020). Vennootskappe wat verskillende sektore betrek, soos die regering, private nywerhede en die burgerlike samelewing, speel 'n sleutelrol in die verbetering van hulpbronne en die aandryf van die nodige veranderinge om die VOD's te bereik en mense se lewens te verbeter (Stibbe et al., 2020). Om die sukses van hierdie vennootskappe te verseker, is effektiewe belanghebbersbetrokkenheid egter noodsaaklik om sterk verhoudings te vorm. Ten spyte van die belangrikheid daarvan, is daar steeds 'n gebrek aan konsensus oor wat belanghebbersbetrokkenheid werklik behels (Shabangu et al., 2022). Betrokkenheid van belanghebbers is van kardinale belang vir die vorming van die verhoudings tussen organisasies

en hul belanghebbers, maar daar is 'n gebrek aan konsensus oor wat dit werklik behels (Shabangu et al., 2022). Daar is toenemende klem op die belangrikheid van outentieke belanghebbersverhoudings, deursigtigheid en geïntegreerde verslagdoening, veral ná die publikasie van die derde King-verslag in Suid-Afrika (Meintjes, 2021).

In die Suid-Afrikaanse konteks is daar sleutelgroepe wat MBV's moet vorm om aan die VN 2030-agenda te voldoen: die regering, die private sektor, die akademiese en wetenskaplike sektor (waaronder navorsingsinstitute en universiteite) en internasionale/multilaterale instellings, veral die Verenigde Nasies en sy verskeie agentskappe en takke (Haywood et al., 2019). MBV's fasiliteer interaksies en die vorming van netwerke tussen relevante belanghebbers om gapings en tekortkominge te bepaal en die hoof te bied deur kapasiteitsbou, innoverende denke en hulp met die ontwikkeling en verspreiding van relevante hulpbronne (VN, 2015).

Metodologie

Navorsingsontwerp

Die verkennende aard van die studie het vereis dat 'n generiese kwalitatiewe navorsingsontwerp gebruik word om die standpunte en perspektiewe van die respondente te ondersoek (Percy et al., 2015). 'n Generiese kwalitatiewe benadering het 'n deeglike begrip gebied van die deelnemers se perspektiewe en ervarings van hoe om te verseker dat MBV's doeltreffender funksioneer en die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur bevorder.

Steekproefneming

Die steekproef het bestaan uit 12 deelnemers van openbare en private instellings wat in die telekommunikasiesektor werkzaam is. Senior bestuurders is inherent betrokke by die organisasie se vennootskapsaktiwiteite, van die identifisering

van vennote tot beplanning en implementering, en dra sodoende by tot die algehele sukses van landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling. Die deelnemers is gekies op grond van doelgerigte steekproefneming. Die gekose deelnemers was senior bestuurders en kundiges in die telekommunikasiebedryf wat aan telekommunikasie-infrastruktuur ontwikkelingsprojekte gewerk het wat MBV's vereis, of voornemens was om aan sulke projekte te werk. Tabel I verskaf 'n profiel van die individuele deelnemers.

Data-insameling

12 semigestruktureerde onderhoude is gevoer. Semigestruktureerde onderhoude het oop vrae moontlik gemaak, wat deelnemers in staat gestel het om hulle vrylik uit te druk sonder om deur die navorsers se standpunte beperk te word (Creswell, 2012). Die onderhoude is oor regstreekse videostroomplatforms, soos Google Meet en Zoom, gevoer, en een onderhoud is van aangesig tot aangesig gevoer, gebaseer op die respondente se voorkeure.

'n Besprekingsgids is ontwikkel en gebruik om die onderhoudvoerder te lei. Die onderhoudvrae is ontwikkel op grond van die navorsingsvrae en 'n oorsig van die literatuur. Die besprekingsgids het uit 13 oop vrae bestaan. Die instrument is in 'n loodsstudie getoets met 'n deelnemer wat aan die steekproefkriteria voldoen het. Na afloop van die loodsstudie is die besprekingsgids se vrae en volgorde verfyn voordat met die onderhoude begin is. 'n Aanlyn transkripsie-instrument is gebruik om die onderhoude te transkribeer. Die transkripsies is hersien en met die klankopnames vergelyk om hul akkuraatheid te verseker.

Data-analise

Die data is met behulp van tematiese analise ontleed om patrone en kategorieë binne die deelnemers se reaksies te identifiseer. Die koderingsproses het begin met die navorsers wat die onderhoudstranskripsies hersien het om voorlopige kodes te identifiseer. Hierdie kodes was kort frases of terme wat die essensie van die data vasgevang het. Een kode wat byvoorbeeld verband hou met "hindernisse vir kommunikasie" is gebruik om reaksies te groepeer wat probleme in kommunikasie tussen belanghebbers bespreek, soos taalverskille of die verkeerd verstaan van tegniese terme. 'n Ander kode, "gemeenskapsweerstand", is toegeken aan reaksies wat uitdagings soos proteste, wantroue en teenkating van gemeenskapslede bespreek.

Die navorsers het vervolgens die kodes hersien, soortgelyke kodes verfyn en in meer abstrakte kategorieë saamgevoeg. Verskeie kodes wat byvoorbeeld verband hou met uitdagings waarmee multibelanghebbersvennootskappe te kampe het, soos "gebrek aan vertroue", "mededinging tussen operateurs" en "probleme met die toewysing van hulpbronne", is gekombineer onder die breër tema "Uitdagings in vennootskappe vir landelike telekommunikasie-infrastruktuur". Die navorsers het voorts die kodes in tematiese kategorieë georganiseer wat die kernaspekte van die navorsingsvrae weerspieël het, soos "Belanghebbersbestuur" en "Strategiese kommunikasie". Temas

Tabel I: Profiel van studiedeelnemers

Skuilnaam	Posisie	Sektor
Deelnemer 1 (P1)	Senior Projekbestuurder	Privaatsektor
Deelnemer 2 (P2)	Hooftegnikusbeampte	Privaatsektor
Deelnemer 3 (P3)	Direkteur	Regering
Deelnemer 4 (P4)	Senior Projekbestuurder	Privaatsektor
Deelnemer 5 (P5)	Direkteur	Regering
Deelnemer 6 (P6)	Adjunkdirekteur	Regering
Deelnemer 7 (P7)	Senior Bestuurder	Privaatsektor
Deelnemer 8 (P8)	HUB	Privaatsektor
Deelnemer 9 (P9)	HUB	Privaatsektor
Deelnemer 10 (P10)	HUB	Privaatsektor
Deelnemer 11 (P11)	Hoofdirekteur	Regering
Deelnemer 12 (P12)	Senior Ingenieur	Reguleerder

is afgelei deur verwante kodes saam te groepeer en te besin oor hoe hulle die navorsingsvrae van die studie beantwoord het. Die tema "Strategiese kommunikasieprosesse" het byvoorbeeld ontstaan uit kodes wat gehandel het oor die belangrikheid van kommunikasie in die fasilitering van samewerking tussen diverse belanghebbers. Die finale temas en subtemas is hersien en bevestig deur middel van spanbesprekings om konsekwentheid en geldigheid te verseker. Elke tema het verskeie subtemas bevat, wat elk 'n meer gedetailleerde aspek van die data weerspieël en sodoende 'n omvattende ontleding van die response verseker het.

Betroubaarheid

Om die betroubaarheid van 'n studie te verseker, moet aan vier kriteria voldoen word: geloofwaardigheid, betroubaarheid, bevestigbaarheid en oordraagbaarheid (Koonin, 2014). Deur aan hierdie kriteria te voldoen, is verseker dat deelnemers se perspektiewe outentiek versamel en akkuraat verteenwoordig is (Lietz et al., 2010). Om geloofwaardigheid te verseker, moet die navorsingsbevindinge die deelnemers se egte perspektiewe akkuraat en neutraal weerspieël (Shenton, 2004; Lietz et al., 2010; Polit et al., 2012). Die onderhoude is woordeliks getranskribeer, wat ooreenstem met die beginsel van geloofwaardigheid. Indringende vrae is ook gebruik om die deelnemers se antwoorde te verduidelik om verkeerde vertolking van die data in die bevindinge te voorkom.

Betroubaarheid word bepaal deur die navorsingsproses wat gevolg is en die geldigheid van 'n studie se bevindinge, indien die studie in die toekoms herhaal sou word (Polit et al., 2012; Shenton, 2004). Aanduiding van die studie se betroubaarheid is die gedetailleerde navorsingsmetodologie wat deur die navorsers ontwikkel en gevolg is.

Bevestigbaarheid verwys na 'n navorser se vermoë om 'n onpartydige studie wat die standpunte en reaksies van die deelnemers akkuraat weerspieël, sonder vooroordeel en idealisme uit te voer (Koonin, 2014; Polit et al., 2012). Die

navorsers het bevestigbaarheid verseker deur 'n loodsstudie uit te voer om vooroordeel en enige areas van potensieële tekortkoming wat moontlik in die besprekingsgids oor die hoof gesien is, te verminder. Alle foute wat ná die loodsstudie geïdentifiseer is, is reggestel. Om bevestigbaarheid verder te verseker, is alle opnames woordeliks getranskribeer, sonder vertolkings, byvoegings of skrappings deur die navorsers (Milne et al., 2005).

Volgens Kakar et al. (2023) weerspieël oordraagbaarheid die mate waarin navorsingsbevindinge op ander soortgelyke kontekste, groepe, mense of omgewings van toepassing kan wees. Om oordraagbaarheid te verseker, het die navorsers 'n gedetailleerde beskrywing van die studie se konteks, deelnemers en navorsingsprosesse verskaf, wat andere in staat stel om die toepaslikheid daarvan op soortgelyke kontekste te beoordeel.

Etiese oorwegings

Die navorsers het etiese goedkeuring van hul navorsingsinstansie ontvang om hierdie studie uit te voer. Om die veiligheid van alle deelnemers en die etiese geldigheid van die studie te verseker, het deelnemers ingeligtoestemmingsvorme onderteken om voor die onderhoude te lees en te onderteken. Die toestemmingsvorme het bepaal dat deelnemers te eniger tyd aan die studie kon onttrek. Deelnemers se anonimiteit en vertroulikheid is verder ooreenkomstig die toestemmingsvorme verseker. Om ondernemings na te kom wat in die etiese goedkeurings- en toestemmingsvorme aangegaan is, is alle deelnemers se name en organisasies uit die transkripsies en finale artikel verwyder.

Bevindinge

Die studie het drie hooftemas geïdentifiseer wat met die navorsingsvrae verband hou. Tabel II hier onder toon hierdie temas en hul ooreenstemmende subtemas.

Tabel II: 'n Opsomming van navorsingsvrae en verwante temas

Navorsingsvraag (NV)	NV1:	NV2:	NV3:
	Watter uitdagings word in landelike kontekste teëgekom wat die sukses van vennootskappe vir die ontwikkeling van telekommunikasie-infrastruktuur beïnvloed?	Met watter uitdagings het MBV's te kampe tydens die beplannings- en implementeringsfases van telekommunikasie-infrastruktuur-ontwikkeling?	Hoe kan strategiese kommunikasie binne MBV's aangewend word om die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur te bewerkstellig?
Temas	Tema 1: MBV's in die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur	Tema 2: Uitdagings vir die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur	Tema 3: Strategiese kommunikasieprosesse
Subtemas	Verstaan hoe MBV's werk Uitdagings in landelike telekommunikasie-infrastruktuur-vennootskappe	Landelike gemeenskapsdinamiek Uitdagings waarmee MBV's te kampe het Sosio-ekonomiese voordele Volhoubare ontwikkeling	Belanghebbersbestuur Strategiese kommunikasie Monitering en evaluering

NV1: Uitdagings wat in landelike kontekste teëgekomp word wat die sukses van vennootskappe vir die ontwikkeling van telekommunikasie-infrastruktuur beïnvloed

Tien van die 12 deelnemers het MBV's gedefinieer as samewerking tussen organisasies uit verskeie sektore, soos die regering, private telekommunikasie-operateurs, burgerlike samelewingsorganisasies, akademiese instellings en gemeenskappe, om 'n langtermyn- volhoubare doelwit te bereik – in hierdie geval die ontwikkeling van telekommunikasie-infrastruktuur in landelike gebiede. Die volgende aanhaling illustreer deelnemers se begrip van MBV's:

“Wanneer mens praat van vennootskappe met verskeie belanghebbers, praat jy daarvan om verskillende belanghebbers bymekaar te bring om te verseker dat 'n sekere projek ten volle geïmplementeer word... As jy na die landelike ruimte kyk, sal jy miskien die tradisionele leierskap wil betrek, jy sal individuele gemeenskapslede wil betrek, jy sal die plaaslike regering wil betrek, jy weet, verteenwoordigers van plaaslike regering binne daardie gebied, jy sal die mense van die Premier se kantoor wil betrek, jy sal die private sektor wil betrek...” (Deelnemer 3).

Hierdie aanhaling illustreer dat doeltreffende MSV's verder streef om vennootskappe net ter wille van vennootskappe te vorm; in plaas daarvan poog hulle om te verseker dat die volle potensiaal van elke vennoot verwesenlik word. MSV's wat betrokke is by die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur moet daarna streef om institusionele silo's af te breek en interregerings- en subnasionale samewerking te verbeter ten einde volhoubare ontwikkeling te bevorder (Haywood et al., 2019).

11 van die 12 deelnemers het aangedui dat MSV's saamwerk om hulpbronne te deel, verskillende kundigheid te voorsien, implementeringsprosesse te versnel en koste te bespaar. Die aktiewe deelname van verskeie vennote aan die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur deur MSV's speel 'n rol om belyning tussen sake- en regeringsbelange te verseker, wat verseker dat die fokus op die lewering van langtermynoplossings bly (Adam et al., 2007), soos deur die volgende aanhaling geïllustreer word:

“Hulle voorsien almal verskillende bevoegdhede, byvoorbeeld: die private sektor sal die hele kommunikasie-infrastruktuur of die radio's voorsien, die netwerke bring, maar jou regeringsinstellings sal die beleide en die wette voorsien... sodat jou netwerk veilig en voordelig kan wees” (Deelnemer 12).

Hierdie bevindinge ondersteun die VN se (2015-) stelling dat MSV's kommunikasie en die vorming van netwerke tussen toepaslike belanghebbers verbeter om tegnologievereistes en verskille te kategoriseer en te analiseer, sowel as kapasiteitsbou en innoverende denke, en te help met die ontwikkeling en verspreiding van relevante tegnologieë. Hierdie bevindinge bevestig ook dat MSV's deelname bevorder en vennote aanmoedig om strategiese en innoverende oplossings vir infrastruktuurontwikkelingsuitdagings te ontwikkel (Adam et al., 2007).

Die bevindinge dui daarop dat telekommunikasie-organisasies dikwels huiwerig is om hul organisatoriese insigte binne MBV's te deel uit vrees om hul sakestrategieë openbaar te maak. Hulle vereis gereeld dat alle vennote nieopenbaarmakingsooreenkomste (NOO's) onderteken om die vloeï van inligting te beperk. Vennote wat NOO's onderteken, het toegang tot of word inligting gegee wat verband hou met die ontplooiing van daardie spesifieke projek en niks anders buite daardie parameters nie. Drie deelnemers het aangedui dat MBV's onderling mededinging in die gesig staar, spesifiek die privatektoroperateurs, soos aangedui deur Deelnemer 9:

“Die grootste uitdaging is dat die operateurs hulself as mededingers beskou, daarom hou hulle nie daarvan om saam te werk nie” (Deelnemer 9).

Die gebrek aan vervoer- en energie-infrastruktuur, en die lae bevolkingsdigtheid in die meeste landelike gebiede, maak die ontplooiing van telekommunikasie-infrastruktuur moeiliker (Reigadas et al., 2015). Vier van die 12 deelnemers het hierdie stelling gekwalifiseer deur aan te dui dat die meeste telekommunikasie-operateurs huiwerig is om vennootskappe vir landelike telekommunikasie-infrastruktuurontplooiing te vorm as gevolg van organisatoriese politiek en 'n gebrek aan noodsaaklike geriewe, soos elektrisiteit en behoorlike padinfrastruktuur. Hierdie aanhaling illustreer sommige van die uitdagings in landelike telekommunikasie-infrastruktuur-ontwikkelingsvennootskappe:

“...as hulle nie elektrisiteit en water, paaie, reg kan kry nie, dan gaan hulle nie die telekommunikasie kan kry nie” (Deelnemer 8).

Sulke vennootskappe staar uitdagings in die gesig om verskeie belange te bestuur terwyl hulle doeltreffend bly (Clarke et al., 2019). As gevolg van die beperkte navorsing oor die rol van MBV's in die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur, verstaan vennote nie ten volle hoe om sommige van die komplekse uitdagings wat hulle tydens die beplannings- en implementeringsfasies teëkom, die hoof te bied nie.

NV2: Uitdagings waarmee MBV's tydens die beplannings- en implementeringsfasies van telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling te kampe het

In Suid-Afrika is dit moeilik om regte te verkry om telekommunikasie-infrastruktuur te bou, met lang prosesse wat in elke munisipaliteit en regeringsentiteit verskil (NT, 2019). Vier van die 12 deelnemers het sentimente gehad wat hiermee ooreenstem, met een respondent wat die volgende gesê het:

“... daar is baie dinge voordat jy sake in munisipaliteite kan doen, jy moet goedkeuring kry, maar daardie goedkeuring kan jare neem, en dit is stadig, en dit is omslagtig, en dit is verouderd, en munisipaliteite het hulself nie gerat om dit vir die private sektor makliker te maak om infrastruktuur te ontplooi nie” (Deelnemer 10).

Hierdie bevindinge strook met verslae dat private operateurs verskeie uitdagings in die gesig staar om hul infrastruktuur te vestig en in bedryf te stel. As gevolg van hierdie ontmoediging het telekommunikasiemaatskappye histories min belang-

stelling in die verskaffing van telekommunikasie-infrastruktuur in landelike gebiede getoon (Rey-Moreno et al., 2016).

Die bevindinge dui ook daarop dat die ontplooiing van telekommunikasie-infrastruktuur in afgeleë dorpe duur is as gevolg van buitensporige infrastruktuurkoste en 'n klein opbrengs op belegging. Private operateurs is tipies huiwerig om infrastruktuur in landelike gebiede te ontplooi, soos geïllustreer deur die volgende aanhaling:

"Gewoonlik, in landelike gebiede, wanneer daar geen dekking is nie, sal die operateurs sê daar is geen bevolking nie. Selfs al rol hulle die netwerk uit, mag hulle dalk nie die opbrengs op hul belegging in daardie spesifieke gebied realiseer nie" (Deelnemer 12).

Hierdie bevinding bevestig dat die bou en instandhouding van netwerkinfrastruktuur in Suid-Afrikaanse landelike gebiede duur is omdat operateurs infrastruktuur en toerusting moet invoer om die telekommunikasie-infrastruktuur te bou en in stand te hou (Mpwanya et al., 2016). Operateurs is uiters versigtig om MBV's vir landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling te sluit weens die risiko van beperkte opbrengste op hul infrastruktuurbeleggings.

Baie van Suid-Afrikaanse landelike gebiede word steeds deur tradisionele leiers, hul stamrade en munisipale wyksraadslede regeer. Sewe deelnemers het gesê dat dit van kritieke belang is om die dinamiek van landelike gemeenskappe te ken en te verstaan, want dit het die potensiaal om die ontplooiing van die telekommunikasie-infrastruktuur te vertraag of te belemmer, soos aangedui deur Deelnemer 4:

"...wat lesse in sommige gemeenskappe betref, kan jy vind dat daar binnegevegte in forums binne daardie gemeenskap bestaan; jy moet daardie dinamiek verstaan en 'n manier vind om almal aan boord te bring sodat jou projekte nie daaronder ly wanneer jy dit implementeer nie" (Deelnemer 4).

Hierdie bevindinge ondersteun die idee dat vennote in MSV's moet saamwerk om nuwe oplossings te ontdek vir komplekse sosiale en landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkelingskwessies wat verder strek as individuele organisatoriese kwessies (Reypens et al., 2016). Gedurende die beplannings- en implementeringsfases benodig MSV's strategiese kommunikasie om te verseker dat daar sistematiese kommunikasieprosesse is wat alle belanghebbers betrek om effektiewe gemeenskapsdinamiek aan te moedig en implementering te bevorder (Mefalopulos et al., 2004). Hierdie bevindinge bevestig ook dat baie landelike gemeenskappe in Suid-Afrika deur tradisionele leiers regeer word, wat dit vir die regering onmoontlik maak om sonder die hulp van tradisionele owerhede suksesvol te wees met die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur (Dansoh et al., 2020).

Nege deelnemers het aangedui dat sommige van die uitdagings wat hulle tydens die ontplooiing van landelike telekommunikasie-infrastruktuur in die gesig staar, afpersing behels deur mense wat beweer dat hulle van die gemeenskap se plaaslike sakeforums is, wat in die meeste gevalle nie waar is nie:

"... 'n Struikelblok is dat daar ook onwettige sakeforums is wat inkom en veseloptiese of breëbandverskaffers afpers..." (Deelnemer 10).

Dit bevestig die groei van wat sommige respondente as die "konstruksiemafia" bestempel het. Hierdie onwettige sakeforums stel hoofsaaklik belang in finansiële gewin en het min belangstelling in die ontwikkeling van landelike gemeenskappe se telekommunikasie-infrastruktuur. Dit dui op die behoefte om met wetsstoepassing as 'n kritieke belanghebbert te skakel.

Die koste van kommunikasie in Suid-Afrika is hoog en die internetgehalte is swak, veral in landelike gebiede, met 'n gigagreep data wat ongeveer VS\$14,10 kos (NT, 2019).

"Mense dink dat deur baie kommunikasie of infrastruktuur na die gemeenskap te bring, dit die koste van kommunikasie sal verlaag, wat nie die geval is nie, want die meeste van die geld wat betaal word vir die oproep wanneer ons oproepe maak, hou verband met interkonneksiekoste wat deur die groter operateurs gehef word" (Deelnemer 9).

Ten spyte daarvan dat Suid-Afrika die hoogste selfoonpenetrasie op die vasteland het, het navorsing aangedui dat Suid-Afrikaners minder op hul fone praat as verbruikers in ander Afrikalande as gevolg van duur stem- en datadiensgelde (Rey-Moreno et al., 2016). Dit dui daarop dat die regering nie hul doelwit soos uiteengesit in Artikel 2 van die Telekommunikasiewet no. 103 van 1996, naamlik om universele diens en bekostigbare toegang tot telekommunikasiedienste te verseker, ten volle bereik het nie (Sumbwanyambe et al., 2010).

NV3: Hoe strategiese kommunikasie binne MBV's aangewend kan word om die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur te bewerkstellig

Al 12 deelnemers het die belangrikheid van gemeenskapsbelanghebbersbestuur voor, tydens en ná die beplannings- en implementeringsfases van landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling beklemtoon. Die meerderheid van die deelnemers het aangedui dat as 'n mens nie alle relevante gemeenskapsbelanghebbers voor die uitrol van die telekommunikasie-infrastruktuur betrek nie, 'n mens se projek meer geneig is om tydens implementering vertraag of onderbreek te word.

"[Die] gemeenskap is een van die belangrikste belanghebbers wat jy sal betrek, want hulle verstaan die dinamiek binne hul gebied ... jy wil hulle van die begin van die projek af betrek, wat werklik voordelig sal wees, en jy moet ook seker maak dat jy binne die gemeenskap die dinamiek identifiseer en verstaan ..." (Deelnemer 4).

Hierdie bevindinge stem ooreen met die grondbeginsel van belanghebberteorie, wat die belangrikheid beklemtoon van die inagneming van eksterne belanghebbers, en die fokus tot verder as vennote verbreed om enige persoon, groep of organisasie in te sluit wat die ingryping beïnvloed en/of daardeur beïnvloed word, wat lei tot medeskepping van waarde (Reypens et al., 2016).

“As jy nie die steun van hierdie belanghebbers kry nie, veral die mense uit die gemeenskap, sal jy ‘n situasie hê waar, wanneer die projek begin, mense inkom en sê, nee, jy het nie mense uit ons area in diens geneem nie” (Deelnemer 3).

Belanghebbersdeelname is ‘n noodsaaklike kenmerk van ‘n effektiewe MBV. Nege deelnemers het aangedui dat belanghebbersbetrokkenheid ‘n belangrike faktor is in landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkelingsplanne en -implementeringstrategieë. Die bevindinge dui daarop dat die meeste MBV’s die belangrikheid van belanghebbersbetrokkenheid oor die hoof gesien het en verwag het dat gemeenskappe nuwe toetreders sou verwelkom as hulle broodnodige infrastruktuur sou inbring om konnektiwiteit te verbeter en toegang daartoe te bied waar dit nie voorheen was nie.

“Jy benodig dat daardie belanghebbers deel sal wees van dit waaraan jy werk, of anders gaan beduidende vertraging ervaar, jy sal ontwrigtings ervaar in die werk wat jy doen, jy kan ekstra koste ervaar” (Deelnemer 5).

Die bevindinge dui daarop dat bestuurders van MBV’s relevante belanghebbers binne die gemeenskap moet identifiseer, die dinamiek van landelike gemeenskappe en die gemeenskap se behoeftes tydens die beplannings- en ontplooiingsfases van die infrastruktuur moet verstaan.

In ‘n MBV sal die deel van inligting oor vordering die breër netwerk op hoogte hou van probleme, vertraging en struikelblokke wat implementering beïnvloed (Hemmati et al., 2015). Die bevindinge dui daarop dat strategiese kommunikasie dikwels nie in landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkelingsvennootskappe geprioritiseer word nie, en ‘n gebrek aan effektiewe strategiese kommunikasie is ‘n struikelblok vir implementering.

“Ons kan nie onbewus wees van die feit dat daardie vennootskappe uitdagings kan ervaar nie, ...een daarvan mag kommunikasie wees...” (Deelnemer 1).

Hierdie bevindinge stem ooreen met die idee dat strategiese kommunikasie verseker dat besluitnemingsprosesse oor diverse vennote gestruktureer is om effektiewe uitvoering aan te moedig en ‘n gedeelde visie binne MBV’s tydens die beplannings- en implementeringsfases aan te moedig (Mefalopolos et al., 2004).

“En maak ook seker dat die boodskappe wat gedeel word, makliker gemaak kan word vir die gemeenskap om te verstaan, moenie baie jargon te gebruik wat mense soos professionele persone en intellektuele gewoonlik gebruik nie, en probeer om kommunikasie tot op die vlak van die gemeenskap te bring, sodat hulle sal verstaan” (Deelnemer 5).

Dit is belangrik dat gemeenskapsbelanghebbers ingesluit word in die beplanning en implementering van infrastruktuurontwikkelingsprojekte. Verder moet kommunikasie met hulle in ‘n taal wees waarmee hulle vertrou is. MBV’s vereis noukeurig gelokaliseerde strategiese kommunikasie wat betekenisvolle deelname, betrokkenheid en leer tydens die

beplannings- en implementeringsfases van landelike telekommunikasie-infrastruktuur ondersteun (Hemmati et al., 2015).

Nege respondente het aangedui dat hulle, wanneer hulle aan MBV’s deelneem, nie hul kommunikasiepogings dopgehou en ontleed het om te bepaal of die kommunikasie tussen die vennote en belanghebbers effektief was nie. Gevolglik het hulle vertraging met implementering ervaar.

“Ons doen dit dikwels nie. Selfs die evaluering van lesse wat uit kommunikasie binne die projek geleer is, wat nog te sê van die impak van die projek self” (Deelnemer 11).

VOD-doelwit 17 dui aan dat reflektiewe strategiese kommunikasie van kardinale belang is in MBV’s om beleidskoherensie vir langtermynontwikkeling te versterk (VN, 2015). Doeltreffende kommunikasie verseker dat besluitnemingsprosesse oor diverse vennote gestruktureer is om effektiewe uitvoering aan te moedig, en lewer ‘n gedeelde visie van landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling (Mefalopolos et al., 2004), wat implementering in die hand werk.

Gevolgtrekkings en aanbevelings

Hierdie studie beklemtoon die noodsaaklike rol wat MBV’s speel in die oorkoming van die hindernisse vir die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur in Suid-Afrika. Die bevindinge toon dat, hoewel beduidende vordering deur MBV’s gemaak is om sommige van die uitdagings die hoof te bied, verskeie sleutelkwessies steeds onopgelos bly. Landelike telekommunikasie-infrastruktuur bly onderontwikkel, hoofsaaklik as gevolg van hoë koste, regulatoriese kompleksiteit en die gebrek aan toegang tot noodsaaklike hulpbronne soos energie- en vervoerinfrastruktuur.

Betrokkenheid van belanghebbers word geïdentifiseer as ‘n kritieke faktor in die sukses van hierdie vennootskappe. Die studie bevind egter ook dat MBV’s in Suid-Afrika dikwels sukkel met effektiewe kommunikasie, veral om gemeenskappe te betrek en die belange van alle vennote in lyn te bring. Strategiese kommunikasie, hoewel dit as belangrik erken word, word dikwels nie geprioritiseer nie, wat lei tot vertraging en uitdagings tydens implementering. Verder is bevind dat die rol van vertroue en deursigtigheid in MBV’s van kritieke belang is om langtermynsamewerking tussen diverse belanghebbers te bevorder.

Die navorsing werp ook lig op die belangrikheid daarvan om plaaslike gemeenskapsdinamiek te verstaan en die gemeenskap in die vroeë stadiums van infrastruktuurontwikkelingsprojekte te betrek. Versuim om dit te doen lei tot ontwrigtings, vertraging en verhoogde koste. Ten spyte van die regering en private sektor se pogings om in landelike konnektiwiteit te belê, bly daar gapings, veral in die mees afgeleë en ekonomies benadeelde gebiede.

Laastens toon die studie dat suksesvolle ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur meer as net infrastruktuurbelegging vereis. ‘n Holistiese benadering wat strate-

giese kommunikasie, belanghebbersbestuur en plaaslike gemeenskapsbetrokkenheid integreer, is nodig om die VOD's te bereik, veral VOD 9 en VOD 17. Gebaseer op die bevindinge en die ontleding van die literatuur, maak die navorsers die volgende aanbevelings:

1. Verbeter strategiese kommunikasie: Doeltreffende en proaktiewe strategiese kommunikasie moet in alle fases van vennootskappe met verskeie belanghebbers geprioritiseer word. Dit sluit in om te verseker dat alle belanghebbers oor vordering, uitdagings en veranderinge dwarsdeur die projeklewensiklus ingelig word. Strategiese kommunikasie moet gelokaliseer, duidelik en inklusief wees, met besondere aandag daaraan om te verseker dat tegniese jargon vir gemeenskapsbelanghebbers vereenvoudig word.
2. Versterk belanghebbersbetrokkenheid: Die betrokke maak van belanghebbers moet 'n deurlopende proses wees en nie tot die beplanningsfase beperk word nie. Deur te verseker dat alle relevante belanghebbers, veral plaaslike gemeenskappe, vroeg in die proses betrokke is, sal dit help om vertraging te vermy, gemeenskapsweerstand te verminder en eienaarskap van die infrastruktuurprojekte te bevorder. Hierdie benadering sal ook vertroue verbeter en die waarskynlikheid van ontstigings tydens implementering verminder.
3. Fokus op kapasiteitsbou en hulpbrondeling: Dit is noodsaaklik vir MBV's om kapasiteitsbou onder belanghebbers, veral plaaslike gemeenskappe, te fasiliteer. Deur gemeenskappe met die nodige vaardighede en kennis te bemagtig, sal dit help verseker dat die infrastruktuur effektief gebruik en op die lang termyn in stand gehou word. Daarbenewens moet groter pogings aangewend word om hulpbronne en kundigheid tussen vennote te deel, om te verseker dat die vaardighede en kennis van alle belanghebbers tot voordeel van die projek aangewend word.
4. Regulatoriese en beleidshindernisse moet hanteer word: Beleidmakers moet die regulatoriese prosesse wat verband hou met infrastruktuurontwikkeling, veral in landelike gebiede, stroomlyn. Die vereenvoudiging van die goedkeuringsproses vir telekommunikasie-infrastruktuur, die vermindering van burokrasie en die aanmoediging van intraregeringsamewerking kan help om vertraging te verminder en die gladder uitrol van projekte te vergemaklik.
5. Moedig multisektorale samewerking aan: Toekomstige projekte moet samewerking oor verskeie sektore beklemtoon, wat insluit die regering, die private sektor, die burgerlike samelewing en akademiese instellings. Elke sektor dra unieke hulpbronne, kundigheid en perspektiewe by, wat die algehele sukses van die projek kan versterk. 'n Meer gekoördineerde benadering sal help om die institusionele silo's wat tans vordering belemmer, af te breek.
6. Benut tegnologie en innovasie: Tegnologiese innovasie moet geïntegreer word in die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur. Regerings- en privaatsektorvennote moet koste-effektiewe tegnolo-

giese ondersoek, soos satelliet- of draadlose breëband, wat kan help om infrastruktuur- en geografiese uitdagings te oorkom, veral in die mees afgeleë gebiede.

7. Deurlopende monitering en evaluering: Om te verseker dat MBV's hul doelwitte bereik, moet gereelde moniterings- en evalueringsmeganismes ingestel word. Hierdie meganismes moet nie net op die ontplooiing van infrastruktuur fokus nie, maar ook op die doeltreffendheid van kommunikasiestrategieë, die betrokkenheid van belanghebbers en die langtermynvolhoubaarheid van die infrastruktuur.

Deur hierdie aanbevelings te implementeer, kan Suid-Afrika die doeltreffendheid van MBV's in die ontwikkeling van landelike telekommunikasie-infrastruktuur verbeter, die digitale kloof oorbrug en die bereiking van die VOD's, veral VOD 9 en VOD 17, bevorder.

Beperkings en rigtings vir toekomstige navorsing

Die studie bied verskeie belangrike beperkings. Eerstens verteenwoordig die studie se steekproefgrootte moontlik nie die breër bevolking nie, wat die veralgemeenbaarheid van die studie beperk. Tweedens het die studie ook nie die land se telekommunikasiebeleidsimplikasies vir landelike telekommunikasie-infrastruktuurontwikkeling in ag geneem nie. Derdens kan verdere studies aangemoedig word, met 'n fokus op Suid-Afrika se telekommunikasiebeleidsimplikasies vir landelike infrastruktuurontwikkeling. Verder kan toekomstige navorsers ook 'n bibliometriese studie ontwikkel om te bepaal waar die belangrikste literatuurgapings is, wêreldwyd en plaaslik.

ORCID

O Selebi <https://orcid.org/0000-0002-9934-8538>
K Mashele <https://orcid.org/0009-0006-6980-2695>

Bronnelys

- Adam, L., James, T., Wanjira, A.M., 2007, Frequently asked questions about multi-stakeholder partnerships in ICTs for development: A guide for national ICT policy animators. *Association for Progressive Communications (APC)*.
- Calabrese, D., 2008, Strategic communication for privatization, public-private partnerships, and private participation in infrastructure projects, *Washington: The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank*. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7499-3>.
- Clarke, A., MacDonald, A., 2019, Outcomes to partners in multi-stakeholder cross-sector partnerships: A resource-based view, *Journal of Business and Society* 58(2), 298-332. <https://doi.org/10.1177/0007650316660534>.
- Castelo Branco, M., Lima Rodrigues, L., 2007, Positioning stakeholder theory within the debate on corporate social responsibility, *EJBO-Electronic Journal of Business Ethics and Organization Studies* (1). Available from: https://www.researchgate.net/publication/228703111_Positioning_stakeholder_theory_within_the_debate_on_corporate_social_responsibility.
- Creswell, J.W., 2012, *Education research: planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research*. 4th edition. Boston, MA: Pearson.
- Dansoh, A., Frimpong, S., Oppong, G., 2020, Exploring the dimensions of traditional authority influencing stakeholder management at the pre-construction stage of infrastructure projects, *Journal of Construction Management and Economics* 38(2), 189-206. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1589647>.
- De Oliveira, G.F., Rabechini, R., 2019, Stakeholder management influence on trust in a project: A quantitative study, *International Journal of Project Management* 37,131-144. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.11.001>.

- Department of Communications and Digital Technologies (DCDT), 2025. National Broadband Policy for South Africa 2025. Department of Communications and Digital Technologies. Available at: <https://www.dcdt.gov.za/> [Accessed: 2025-05-23].
- Department of National Treasury (NT), 2019. Economic transformation, inclusive growth, and competitiveness: A contribution towards a growth agenda for the South African economy. Pretoria. Department of National Treasury. [Online] Available from: http://www.treasury.gov.za/comm_media/press/2019/TowardsanEconomicStrategyforSA.pdf [Accessed: 2021-06-23].
- Gillwald, A., Mothobi, O., Rademan, B., 2018, The state of ICT in South Africa. [Online] Available from: https://media.africaportal.org/documents/after-access-south-africa-state-of-ict-2017-south-africa-report_04.pdf [Accessed: 2021-02-25].
- Hallahan, K., Holtzhausen, D., van Ruler, B., et al., 2007. Defining strategic communication, *International Journal of Strategic Communication* 1(1), 3-35. <https://doi.org/10.1080/15531180701285244>.
- Haywood, L.K., Funke, N., Audouin, M., Musvoto, C. & Nahman, A., 2019. The Sustainable Development Goals in South Africa: Investigating the need for multistakeholder partnerships. *Journal of Development Southern Africa*, 36(5):555-569. <https://doi.org/10.1080/0376835X.2018.1461611>
- Hemmati, M., Rogers, F., 2015, Multi-stakeholder engagement and communication for sustainability, *CatalySD Sustainability*. Available from: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1894CatalySD_MSEC_for_Sustainability_300615.pdf.
- Herselman, M.E., 2003, "Where parallels intersect" ICT in rural areas in South Africa: Various case studies, *Journal of Informing Science* 3, 946-950. <https://doi.org/10.28945/2680>.
- Kakar, Z.U.H., Rasheed, R., Rashid, A., et al., 2023, Criteria for assessing and ensuring the trustworthiness in qualitative research, *International Journal of Business Reflections*. [Online] Available from: https://academicworks.cuny.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1386&context=yc_pubs [Accessed: 2025-06-20].
- Koonin, M., 2014, Validity and reliability. In: du Plooy-Cilliers, F., Davis, C. & Bezuidenhout, R.M. (Eds.). *Research Matters*. Cape Town, South Africa: Juta & Company.
- Mahajan, R., Lim, W.M., Sareen, M., et al., 2023, Stakeholder theory, *Journal of Business Research* 166, 114104. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114104>.
- Mefalopoulos, P., Grenna, L., 2004, Communicating protected areas. [Online] Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?> [Accessed: 2021-02-15].
- Mohamed, S., Nguyen, T.S., Panuwatwanich, K., 2018, Stakeholder management in complex project: Review of contemporary literature, *Journal of Engineering, Project, and Production Management* 8(2), 75-89. <https://doi.org/10.32738/JEPPM.201807.0003>.
- Mpwanya, M.F., Van Heerden, C.H., 2016, Perceptions of mobile network operators regarding the cost drivers of the South African mobile phone industry, *Acta Commercii* 16(1), 398-398. <https://doi.org/10.4102/ac.v16i1.398>.
- Mwansa, G., Ngandu, M.R., Mkwambi, Z., 2025, Bridging the digital divide: exploring the challenges and solutions for digital exclusion in rural South Africa, *Discover Global Society* 3(1), 54. <https://doi.org/10.1007/s44282-025-00189-2>.
- Pattberg, P., Widerberg, O., 2016, Transnational multistakeholder partnerships for sustainable development: Conditions for success, *Ambio* 45(1), 42-51. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0684-2>.
- Percy, W.H., Kostere, K., Kostere, S., 2015, Generic qualitative research in psychology, *The Qualitative Report* 20(2), 76-85. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2015.2097>.
- Polit, D.F., Beck, C.T., 2012, *Nursing research: generating and assessing evidence for nursing practice*. 9th edition. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health | Lippincott Williams & Wilkins.
- Popp, W., Va Rathi, V., Kukulies, D., et al., 2019, Unlocking digital in South Africa's value telecoms sector, *Accenture Strategy*. [Online] Available from: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-116/Accenture-Unlocking-Digital-Value-South-Africa-Telecoms-Sector.pdf [Accessed: 2021-02-28].
- Reigadas, J.S., Municio, E., Morgado, E., et al., 2015, Sharing low-cost wireless infrastructures with telecommunications operators to bring 3G services to rural communities, *Computer Networks* 93, 245-259. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.09.006>.
- Reypens, J., Lievens, A., Blazevic, V., 2016, Leveraging value in multi-stakeholder innovation networks: A process framework for value co-creation and capture, *Industrial Marketing Management* 56(0), 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2016.03.005>.
- Rey-Moreno, C., Blignaut, R., Tucker, W.D., et al., 2016, An in-depth study of the ICT ecosystem in a South African rural community: unveiling expenditure and communication patterns, *Journal of Information Technology for Development* 22(1), 101-120. <https://doi.org/10.1080/02681102.2016.1155145>.
- South African Institute of International Affairs (SAIIA), 2025. Africa's ICT infrastructure: Its present and prospects. Available from: <https://saiia.org.za/research/africas-ict-infrastructure-its-present-and-prospects> [Accessed: 2025-04-19].
- Shenton, A.K., 2004, Strategies for ensuring trustworthiness in qualitative research projects, *Education for Information* 22(2), 63-75. <https://doi.org/10.3233/EFI-2004-22201>.
- Stibbe, D., Prescott, D., 2020, United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2015. Partnerships for Sustainable Development Goals: United Nations A legacy review towards realizing the 2030 Agenda. [Online] Available from: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdinaction/publication/partnerships-a-legacy-review> [Accessed: 2021-03-13].
- Sumbwanyambe, M., Nel, A., Clarke, W.A., 2010, Telecoms policy and regulation for social and economic development in South Africa: A comparative study, *Telecommunications forum Serbia. Belgrade*, (18), 23-25.
- Thacker, S., Adshhead, D., Fay, M., et al., 2019, Infrastructure for sustainable development, *Journal of Nature Suitability*. [Online] Available from: <https://www.greengrowthknowledge.org/sites/default/files/downloads/resource/> [Accessed: 2021-04-20].
- The Presidency, 2019, 2019 South Africa Voluntary National Review (VNR): Empowering people and Ensuring inclusiveness and Equality. Pretoria. The Presidency.
- United Nations Development Programme (UNDP), 2020, The South Africa SDG investor map. [Online] Available from: https://www.za.undp.org/content/south_africa/en/home/library/sa-sdg-investor-map-2020 [Accessed: 2021-05-13].
- United Nations (UN), 2015, Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Outcome Document for the United Nations Summit to Adopt the Post 2015 Development Agenda. [Online] Available from: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld> [Accessed: 2021-03-09].
- Wilson, A., Ifeoma, O.M., Ugwunta, D., 2013, Telecommunication development and regional economic growth: Evidence from ITU ICT Development Index (IDI) top five Countries for African Region, *African Journal of Business and Economic Research*, 8(2), 85-100.
- Zerfass, A., Verčič, D., Nothhaft, H., et al., 2020, Strategic communication: Defining the field and its contribution to research and practice. In: *Future directions of strategic communication* (pp. 159-177). Routledge.

Humanisering van eerstejaar chemie praktiese sessies: Die pad na inklusiwiteit

L (Lu-Nita) Berrange, C Mundy

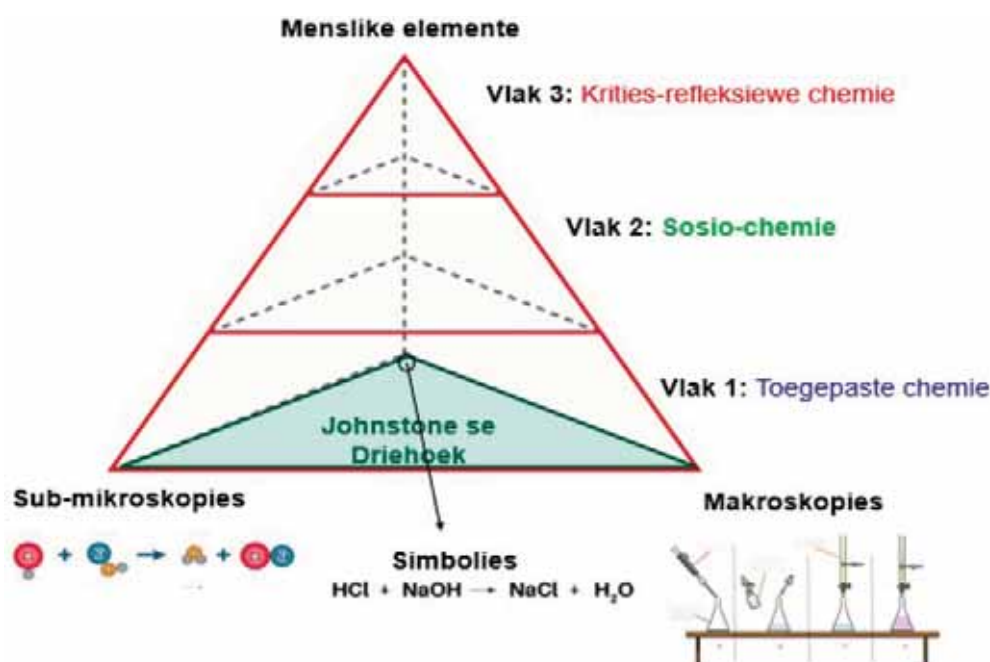
Departement Chemie, Universiteit van Pretoria, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Lu-Nita Berrange E-pos: u15179941@tuks.co.za

Humanizing of first-year chemistry practical sessions: Humanizing first-year chemistry students' practical environment can promote inclusivity by addressing language, mathematics, and prior knowledge barriers. Design-based research will refine the practical exercise using a humanizing approach posed by a tetrahedron model. The study evaluates how inclusive practicals impact first-year students' confidence and enhance conceptual understanding and practical skills.

Chemie praktiese sessies of laboratoriumwerk ontwikkel voortdurend, en daar is ook 'n dringende behoefte om laboratoriums te vernuwe en te verbeter. Tradisionele "kookboek"-instruksies vir praktiese sessies of laboratoriumwerk kan studente verhinder om teoretiese kennis met praktiese toepassing te koppel (Domin, 1999). Die koppeling van konsepte in 'n praktiese omgewing word verder beïnvloed deur studente se uiteenlopende agtergronde en wisselende vlakke van voorkennis. Humaniserende pedagogiek bestaan sedert die 20ste eeu, en wanneer opvoeders humaniserende pedagogiek aanneem, waardeur hulle studente se verskillende agtergronde, kulture, tale, ervarings en historiese perspektiewe, wat inklusiwiteit bevorder (Freire, 1970). As gevolg van eerstejaarstudente se uiteenlopende agtergronde, kan hulle hindernisse in die laboratorium teëkom wat verband hou met taal-, wiskunde- en chemiekonsepte. Daarbenewens moet studente apparaat herken, protokolle volg, waarnemings aanteken en hul verslagblad voltooi; dit wil sê studente moet in 'n komplekse leeromgewing kan funksioneer (Johnstone & Wham, 1982). So 'n omgewing kan vir studente oorweldigend wees, veral as hulle bykomende leerhindernisse in die gesig staar.

'n Ontwerpgebaseerde navorsingsbenadering sal 'n chemie praktiese sessie oor verskeie siklusse verfyn om struikelblokke wat studente in die praktiese omgewing ondervind, aan te spreek. Komplekse leerteorie, wat kyk na die verskillende domeine van chemiekennis in 'n menslike konteks, sal lei tot die ontwerp van 'n inklusiewe praktiese sessie. Soos gesien in Figuur 1, sal 'n tetraëdermodel die komplekse leerteorie ondersteun wat makroskopiese, sub-mikroskopiese en simboliese domeine met menslike elemente integreer.



Figuur 1: Die tetraëdermodel, oorgeneem en aangepas van Johnstone (1982), Mahaffy (2006) en Sjöström (2013)

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Die verskillende vlakke van die tetraëder kan gebruik word om menslike elemente in 'n praktiese sessie in te sluit, wat die gebruik van verskeie toepassings van chemie insluit om alledaagse uitdagings aan te spreek wanneer fundamentele chemiekonsepte onderrig en gefokus word op die ontwikkeling van chemiekennis oor tyd. Die vermenslikingsvlakke kan gelyktydig binne die model bereik word om 'n praktiese sessie te vermenslik en inklusiwiteit te bevorder. Eerstejaar-chemiestudente vind suur-basis-titrasies uitdagend as gevolg van die terminologieë wat gebruik word, komplekse berekeninge en die koppeling van die konsepte aan die mikroskopiese vlak (Salame et al., 2022). Pre-praktiese oefeninge is noodsaaklik om 'n inklusiewe omgewing te skep deur studente voldoende voor te berei voordat hulle die praktiese sessie betree om hulle tyd te gee om eksperimente uit te voer en kreatief te wees, te konseptualiseer en te besin oor wat hulle tydens die praktiese sessie doen (Agustian & Seery, 2017). Pre-praktiese oefeninge sal volledig aanlyn wees en 'n aanlyn simulasie insluit wat studente bekendstel aan verskeie glasware wat nodig is, hulle leer hoe om titrasies uit te voer, en om hulle by komplekse berekeninge te betrek.

Deur 'n humaniserende benadering te gebruik, behels die studie dat eerstejaarstudente se vorige praktiese ervarings verken, die impak van inklusiewe praktika op hul selfvertroue evalueer word, en ook assesseeer word hoe intervensies, wat aanlyn simulasies en begeleide ondersoekverslagblaaie insluit,

help om struikelblokke aan te spreek. Die studie poog om studente se begrip en selfvertroue tydens 'n suurbasis titrasie praktiese sessie te verbeter deur die struikelblokke wat deur taal, wiskundige vaardighede en voorkennis gestel word, te erken. Uiteindelik het hierdie studie ten doel om 'n inklusiewe en ondersteunende omgewing te kweek wat betekenisvolle leer aanmoedig, studente se konseptuele begrip versterk en hul selfvertroue en praktiese vaardighede in chemie verbeter.

Bibliografie

- Agustian, H.Y., Seery, M.K., 2017, Reasserting the role of pre-laboratory activities in chemistry education: a proposed framework for their design, *Chemistry Education Research Practice* 18, 518-532. <https://doi.org/10.1039/C7RP00140A>.
- Domin, D.S., 1999, A review of laboratory instruction styles, *Journal of Chemical Education* 76(4), 543-584. <https://doi.org/10.1021/ed076p543>.
- Freire, P., 1970, *Pedagogy of the oppressed*. United Kingdom: Penguin Books.
- Johnstone, A.H., 1991, Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *Journal of Computer Assisted Learning* 7, 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>.
- Johnstone, A.H., Wham, A.H., 1982, The demands of a practical work, *Education in Chemistry* 19, 71-73.
- Mahaffy, P., 2006, Moving chemistry education into 3D: A tetrahedron metaphor for understanding chemistry, *Journal of Chemistry Education* 83, 49-55. <https://doi.org/10.1021/ed083p49>.
- Salame, I., Montero, A., Eschweiler, D., 2022, Examining some of the students' challenges and alternative conceptions in learning about acid-base titrations, *International Journal of Chemistry Education Research* 6, 1-10. <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol6.iss1.art1>.
- Sjöström, J., Talanquer, V., 2013, Towards Bildung-oriented chemistry education, *Science and Education* 22, 1757-177. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9401-0>.

Die groeipotensiaal van *Hibiscus cannabinus* op steenkooloorskot in Suid-Afrika

CWEC (Bianca) Boshoff, JM Berner

Eenheid van Omgewingswetenskappe en -Bestuur, Noordwes-Universiteit, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Bianca Boshoff **E-pos:** biancaboshoff0005@gmail.com

The cultivation potential of *Hibiscus cannabinus* on coal tailings in South Africa: Coal tailings are an expanding problem in South Africa that creates the need for alternative rehabilitation methods. Kenaf is a fiber crop that shows potential to be cultivated on coal tailings to solve this problem. The results showed that the plants grew equally well in both control environments and coal tailings.

Steenkooloorskot is 'n algemene resultaat van die steenkoolmynbou-industrie in Suid-Afrika wat jaarliks uitbrei. Tans beskik Suid-Afrika oor meer as 1 biljoen ton geakkumuleerde steenkooloorskot (spesifiek fyn steenkool). Addisioneel, neem dit jaarliks toe met meer as 60 miljoen ton. Hierdie toename veroorsaak 'n probleem vir toekomstige mynrehabilitasie (Daniels et al., 1996). Dus is alternatiewe strategieë vir rehabilitasie noodsaaklik, wat ook die nodigheid vir werkskepping in ag neem.

Hierdie studie fokus op 'n alternatiewe moontlikheid om hierdie kwessie op te los, spesifiek deur die verbouing van industriële gewasse. Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) is 'n industriële gewas met 'n hoë veselinhoud in die stingels en blare (Yu-xi, et al., 2013). Alhoewel kenaf talle ander gebruike het soos medisinale middels, skoonheidsmiddels en voedsel, is hierdie gewas hoofsaaklik bekend vir die gebruik daarvan in veselindustriële. Dit sluit in die vervaardiging van tou, tekstielmateriale, boumateriale, karton- en papierprodukte (Yu-xi et al., 2013). As 'n gewas is kenaf redelik aanpasbaar by verskillende grondtipes. Spesifiek is hierdie gewas nie sensitief vir grond met 'n lae pH nie, wat die geval is vir steenkoolmyne as gevolg van die hoë sulfaat- en swaar metaalinhoud van steenkooloorskot (Kidd & Proctor, 2001). Kenaf het dus hoë industriële waarde en die potensiaal om in steenkooloorskot te groei.

Die doel van hierdie studie was om te bepaal of *Hibiscus cannabinus* moontlik op steenkooloorskot in Suid-Afrika verbou kan word. Verder was die doel ook om die verbouingspotensiaal van kenaf te bepaal deur te fokus op die fisiologiese reaksie van die gewas op die steenkooloorskot. Die rede hiervoor was om vas te stel of kenaf 'n aanvaarbare gesondheid- en fotosintese-effektiwiteit in die oorskot behou.

Om bogenoemde doel te bereik, was steenkooloorskotmonsters van twee verskillende terreine naby Witbank vir die eksperiment gebruik. Kenaf was geplant en gegroei in vyf verskillende grondbehandelings in die kweekhuis by Noordwes-Universiteit, Potchefstroom. Die eksperiment was gebaseer op 'n kontrole groep bestaande uit gewone rooigrond, twee rou steenkooloorskotmonsters en twee mengsels van die kontrole en oorskot in 'n 1:2-verhouding. Oor 'n tydperk van agt weke was weeklikse fisiologiese lesings geneem om belangrike data te versamel wat die welstand van die plant definieer. Hierdie lesings het chlorofil a-fluoresensie, gemoduleerde 820 nm weerkaatsing en chlorofilinhoud ingesluit. Verder was grond- en plantanalise gedoen om te bepaal of kenaf die potensiaal het om enige swaarmetale of seldsame aardelemente uit die verskillende grondtipes te absorbeer.

Na deeglike ondersoek het die resultate getoon dat daar geen merkwaardige verskille in die plantgroei en fisiologie tussen die verskillende behandlings was nie. Dit dui daarop dat kenaf die potensiaal het om op steenkooloorskot te groei en steeds 'n aanvaarbare gesondheid te behou. Verder het die grond- en plantanalise getoon dat kenaf seldsame aardelemente en swaarmetale opneem en in die verskillende dele (wortels, stingels en blare) van die plant berg. Die hoogste konsentrasies was wel hoofsaaklik in die wortels teenwoordig. Kenaf toon dus die potensiaal om gegroei en gebruik te word in die rehabilitasie van steenkoolmyne in Suid-Afrika.

Bibliografie

- Daniels, W.L., Stewart, B., Zipper, C.E., 1996, Reclamation of coal refuse disposal areas, Reclamation Guidelines for Surface-Mined Land, Publication Number 460-131 Virginia Tec. Available from: https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/460/460-131/CSES-215.pdf. Accessed 1 January 2026.
- Kidd, P.S., Proctor, J., 2001, Why plants grow poorly on very acid soil: are ecologists missing the obvious? *Journal of Experimental Botany* 52(357), 791-799. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.357.791>.
- Yu-xi, Y. et al., 2013, Using kenaf (*Hibiscus cannabinus*) to reclaim multi-metal contaminated acidic soil, *Chinese Journal of Applied Ecology* 24(3), 832-838.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Eerste aanmelding van *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* ras 142E30A+ op koring in Suid-Afrika

A (Amy) Coetzer, A Maré, WHP Boshoff

Departement Plantwetenskappe, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Amy Coetzer, **E-pos:** amycoetzera@gmail.com

First report of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* race 142E30A+ on wheat in South Africa: Stripe rust race 142E30A+, with increased virulence, has been detected in local wheat fields. Results indicated that 41 out of 109 wheat varieties with resistance to the older race 6E22A+ are susceptible to the new race. The study highlights the importance of regular rust monitoring and current cultivar response data.

Koringproduksie in Suid-Afrika word sedert 1996 geaffekteer deur *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (*Pst*), 'n roesswam wat streeproes, ook bekend as geelroes op koring veroorsaak. Die eerste aanmelding van die siekte was in die Moorreburg-distrik in die Wes-Kaap. Ten spyte van die toepassing van chemiese beheer, het die siekte die opbrengs en kwaliteit van die graan negatief geraak. Die betrokke ras is geïdentifiseer as 6E16A- en in daaropvolgende seisoene is die rasse 6E22A- (1998) en 6E22A+ (2005) aangemeld op voorheen bestaande kultivars wat tot gelokaliseerde streeproesuitbrake aanleiding gegee het (Pretorius et al., 2020). Sedertdien het die roesswam stabiel gebly met nuut vrygestelde kultivars wat hoë vlakke van weerstand getoon het. In September 2022 was daar 'n kommerwekkende hoë voorkoms van streeproes op voorheen weerstandbiedende kultivars aangeplant onder besproeiing in die noordelike provinsies van Suid-Afrika. Dit is voorafgegaan deur *Pst*-uitbrake in Zimbabwe gedurende Augustus 2022, na die afwesigheid van die roesswam sedert die eerste aanmelding daarvan in 2018 in dié buurland (Boshoff et al., 2020).

In die studie is die infeksietipes van *Pst*-isolate versamel op koringkultivars wat gedurende die 2022-seisoen in Mpumalanga-, Limpopo-, Noordwes-, Vrystaat- en die Wes-Kaap-provinsies geplant is, op 'n standaard stel differensiële lyne bepaal. Verder is die streeproesreaksie van koringvariëteite in die saailing- en volwasse plant groeistadiums onder beheerde toestande bepaal, en molekule merkers is gebruik om vir die teenwoordigheid van bekende weerstandsgene te toets.

Die resultate het die voorkoms van vier *Pst*-rasse aangetoon, met isolate vanaf Limpopo, Mpumalanga en Noordwes wat geïdentifiseer is as ras 142E30A+. Die nuut aangetekende ras het ook in vyf distrikte in die Wes- en Oos-Vrystaat voorgekom, met verhoogde virulensie teen koringlyne met die weerstandsgene *Yr3a*, *Yr4a*, *Yr9* en *Yr27*. Rasse 6E16A- en 6E22A- het voorgekom in die Vrystaat en Wes-Kaap, en ras 6E22A+ in die Vrystaat.

Met die saailingdata is bevind dat 41 uit die 109 koringvariëteite met weerstand teen ras 6E22A+ vatbare infeksietipes teen ras 142E30A+ getoon het. Volwasse plantreaksies, bepaal op die vlagblare, het aangetoon dat 15 uit die 35 aanbevole plaaslike koringkultivars verhoogde vatbaarheid teen ras 142E30A+ in vergelyking met ras 6E22A+ getoon het.

Molekulêre data het die teenwoordigheid van die weerstandsgene *Yr9* (een kultivar), *Yr17* (5), *Yr18* (3) en *Yr27* (7) aangedui. Die resultate bevestig die besondere vatbaarheid van veral koringkultivars wat aanbeveel word vir produksie onder besproeiing vir die nuwe ras, en beklemtoon die belangrikheid van gereelde roesmonitering om nuwe roesrasse betyds te identifiseer en om hul invloed op die reaksie van aanbevole kultivars tydig aan produsente bekend te maak.

Bibliografie

Boshoff, W.H.P., Visser, B., Lewis, C.M., et al., 2020, First report of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, causing stripe rust of wheat, in Zimbabwe, *Plant Disease* 104(1), 290. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-19-1395-PDN>.

Pretorius, Z.A., Prins, R., Wessels, E., et al., 2020, Accomplishments in wheat rust research in South Africa, *South African Journal of Science* 116(11/12), 1-8. <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/7688>.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Numeriese simulase van bloedvloei deur slagare met stenoses

J (Jana) de Jongh, GJF Smit, M Cloete

Afdeling Toegepaste Wiskunde, Departement Wiskundige Wetenskappe, Universiteit Stellenbosch, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Jana de Jongh E-pos: 24988421@sun.ac.za

Numerical simulation of blood flow through stenosed arteries: This study investigates the effect of different stenosis geometries and the degree of the stenosis on certain blood flow characteristics, namely, velocity, pressure, and wall shear stress. Numerical simulations are conducted where steady and pulsatile blood flow is considered. The observed changes provide important insight into clinical implications.

Kardiovaskulêre siektes is die grootste oorsaak van sterftes wêreldwyd. Een van die hoofoorsake hiervan is die vernouing van slagare as gevolg van die opbou van plaak op die wande van die slagare, wat veroorsaak dat bloedvloei verhoed word. Dit staan bekend as 'n stenose. Die plaak kan onstabiel word, oopbars en 'n bloedklont vorm. Die obstruksie wat deur die bloedklont veroorsaak word kan aanleiding tot 'n hartaanval of 'n beroerte gee.

Die bestudering van bloedvloei om die ontwikkeling van hartsiektes te monitor, het dus 'n uiters belangrike navorsingsgebied geword. Wiskundige modelle om bloed se gedrag, onderhewig aan verskeie vloeitoestande, te bestudeer, kan kliniese implikasies hê, wat deur medici gebruik kan word. Die doel van hierdie navorsing is om die effek van verskillende tipes vernouings op spesifieke bloedvloeitoestande, naamlik snelheid, druk en wandskuifspanning, te ondersoek. Bloed word as 'n magswet-vloeistof ("power law fluid") beskou en die vloei daarvan word as tyd-onafhanklik en -afhanklik, gesimuleer.

Analitiese oplossings wat die snelheidsprofiel vir bloedvloei deur parallelle plate en deur 'n silinder beskryf, word bereken. Verskeie aannames is gemaak: bloedvloei is laminêr, bestendig en volledig ontwikkel. 'n Konstante drukgradiënt word in die vloerigting toegepas en die vloeistof word as onsaamdrukbaar beskou. Die momentum-oordragsvergelyking is as beginpunt gebruik, en, met behulp van bogenoemde aannames, is vergelykings vir die snelheidsprofiel vir bloedvloei deur parallelle plate en deur 'n silinder in terme van die gemiddelde snelheid bereken. Numeriese simulaties van bloedvloei is in Ansys Fluent uitgevoer. Verskillende geometrieë van stenoses is ondersoek, naamlik stenoses met elliptiese, driehoekige en trapesium vorms. Die persentasie vernouing van die slagaar is ook ondersoek.

Die bloedvloeitempo deur 'n normale slagaar, asook deur slagare met verskillende tipes stenoses, is by spesifieke posisies bepaal. Die volgende posisies is geëvalueer: net voor die stenose, in die middel van die stenose, net na die stenose, asook by die uitlaat van die slagaarsegment. Daar is waargeneem dat namate die vloei die vernoude area nader, die snelheid toeneem en 'n maksimum waarde in die middel van die stenose bereik. Hierdie waarneming stem ooreen met die verskynsel dat wanneer daar 'n afname in die dwarsdeursnee-oppervlakte is, die snelheid sal toeneem om 'n konstante volumetriese vloeitempo te handhaaf. Hierdie effek word meer beduidend vir groter persentasie vernouings. Die vorm wat die stenose aanneem speel ook 'n rol, en daar is bevind dat die stenose met 'n trapesium vorm die grootste toename in snelheid toon, gevolg deur die elliptiese en driehoekige stenoses.

Die verandering in die druk, asook die wandskuifspanning, deur die slagaar met of sonder stenose, is ook ondersoek. Soortgelyk aan die snelheid, is daar bevind dat die teenwoordigheid van 'n stenose, soos verwag, 'n invloed het, en dat die vorm van die stenose ook 'n beduidende rol speel. Die effek van pulserende bloedvloei en die invloed daarvan op die bogenoemde vloeitoestande is ook ondersoek. Die kliniese implikasies van die veranderinge in elk van die vloeitoestande is bestudeer en bespreek.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

'n Ondersoek na die gebruik van biokool as 'n grondbehandelingsmiddel om plantegroei te bevorder

A (Ami) Janse van Rensburg, Y Isa, H Potgieter

Departement Chemie en Metallurgiese Ingenieurswese, Universiteit van die Witwatersrand, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Ami Janse van Rensburg **E-pos:** ami.jvr@zutari.com

Investigating the use of biochar as a soil conditioner to enhance plant growth: This study explores the use of biochar as a soil conditioner. Biochar was produced from grass clippings of two different sizes via pyrolysis at various temperatures, highlighting the influence of pyrolysis conditions on biochar characteristics. Results indicate that the biochar produced exhibited effective water retention, suggesting benefits for soil amendment.

Wêreldwye landbouproduksie het aansienlik gegroei in die afgelope paar dekades as gevolg van die groeiende wêreldbevolking. Kunsmissie het 'n belangrike rol in hierdie toename gespeel, maar die oorbenuiting daarvan het nadelige omgewingsgevolge. Biokool, gemaak deur die termochemiese ontbinding van organiese materiaal in 'n chemiese onaktiewe atmosfeer, is as 'n moontlike oplossing voorgestel. Biokool het 'n goeie poriestruktuur, met 'n groot oppervlakte en adsorpsiekapasiteit, wat dit nuttig maak in toepassings soos koolstofsekwestrasië en grondverbetering. Hierdie studie ondersoek die potensiaal van biokool om plantegroei te verbeter.

Vars grassnysels is luggedroog en dan oondgedroog tot 'n konstante massa. Die gedroogde gras is in twee grootte-fraksies gesif (100-500 µm en 1000-2000 µm). Stadige pirolise in 'n stikstofatmosfeer is gebruik om die voorbereide organiese afval na biokool op te gradeer. Drie piektemperature (400°C, 500°C en 600°C) is getoets. Die oppervlakarea van die biokool is gemeet deur Brunauer-Emmett-Teller-analise (BET-analise), terwyl oppervlakmorfologie deur middel van skandering-elektronmikroskopie (SEM) ondersoek is. Biokool-pH en waterretensiekapasiteit (WRK) is ook getoets. Geselekteerde biokoolmonsters is as grondverbeteraars teen drie verskillende dosisse toegedien. Swiss Chard (*B. vulgaris*) sade is geplant om die impak op plantegroei te evalueer.

'n Maksimum opbrengs van 49% by 400°C en 'n minimum van 36% by 600°C is verkry. Hierdie afname met toenemende temperatuur is te wyte aan verhoogde termochemiese ontbinding van lignosellulose-komponente by hoër temperature. Fourier-Transform-Infrarooispektroskopie-analise (FTIR-analise) het die afbraak van suurhidroksielgroepe by hoër temperature bevestig, wat bygedra het tot die hoër pH-waardes in biokool wat by 500°C en 600°C vervaardig is. Alle pH-metings het 'n waarde van 9.6 oorskry, wat die potensiaal van biokool aandui om suur gronde te verbeter.

Die BET-analise het getoon dat beide pirolise-temperatuur en die grootte-fraksie van die voermateriaal die biokool se oppervlakte beïnvloed. Biokool wat van die growwer voermateriaal (1000-2000 µm) afkomstig is, het die grootste oppervlakarea van 15 m²/g by 500°C, terwyl die kleinste oppervlakarea (1.7m²/g) by 600°C waargeneem is. Die SEM-beelde bevestig dat biokool wat by 500°C vervaardig is, 'n goed-gedefinieerde poriestruktuur behou, terwyl biokool wat by 600°C vervaardig is tekens van porie-inploffing toon. Hierdie inploffing sal waarskynlik die nut van biokool verminder, veral die waterretensie daarvan.

Die WRK-toetse weerspieël die BET-resultate en dui daarop dat oppervlakarea en porositeit sleutelrolle in die doeltreffendheid van biokool as 'n grondverbeteraar speel. Verder kan die byvoeging van koolstofryke biokool tot grond die koolstofinhoud daarvan verhoog, wat moontlik oesopbrengste kan verbeter en grond se koolstofsekwestrasië kan verhoog. Biokool se vermoë om die waterhouvermoë en koolstofinhoud van grond te verbeter, dui op potensiële omgewingsvoordele daarvan vir grondverbeteringstoepassings.

Bibliografie

- Chagas, J.K.M., Figueiredo, C.C.D., Ramos, M.L.G., 2022, Biochar increases soil carbon pools: Evidence from a global meta-analysis, *Journal of Environmental Management* 305, 114403. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114403>.
- FAO, 2022, Agricultural production statistics. 2000-2021, FAOSTAT Analytical Brief Series No. 60, FAO, <https://doi.org/10.4060/cc3751en>.
- Penuelas, J., Coello, F., Sardans, J., 2023, A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability, *Agriculture and Food Security* 12, 5. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>.
- Pratap, T., Patel, M., Pittman, et al., 2020, Nanobiochar: A sustainable solution for agricultural and environmental applications, *Nanomaterials for Soil Remediation* 501-519. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822891-3.00028-1>.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Herkouerrebelle: Uitdaging van die lineêre verhouding tussen morfofisiologiese eienskappe en dieetnisse

C (Chanel) Lewis, D Codron

Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Chanel Lewis **E-pos:** chanellewis11@gmail.com

Ruminant rebels: Challenging the linear relationship between morphophysiological traits and diet niches: Ruminants, which include grazers, browsers, and mixed-feeders, are key models for studying form-function relationships due to their diverse dietary adaptations. This study explores non-linear and polytonic trait-diet relationships through meta-analysis, highlighting craniodental traits like hypsodonty. Findings reveal complex evolutionary adaptations that affect species' flexibility and fitness in changing environments.

Herkouers, bestaande uit grasvreters, blaarvreters en gemengde voeders, het aansienlik tot die ontwikkeling van hipoteses rakende vorm-funksie verwantskappe bygedra. Grasvreters vertoon dikwels eienskappe soos hoë hipsodontie om tandverwerende diëte te hanteer, terwyl blaarvreters eienskappe toon wat meer geskik is vir selektiewe voeding op blare en sagte plantegroei. Gemengde voeders het buigsame dieetgewoontes en verskuif seisoenaal tussen voedselbronne. Hierdie konvergensie maak herkouers ideale modelle vir die bestudering van eienskap-dieet verhoudings. Tradisioneel word aanvaar dat hierdie verwantskappe lineêr is, maar onlangse bewyse dui daarop dat meer komplekse, nie-lineêre interaksies kan bestaan. Die aanname dat evolusionêre nisverskuiwings proporsionele morfologiese veranderinge vereis, word uitgedaag deur die idee dat die morfologie van 'n dier dit nie streng tot 'n enkele dieetnis beperk nie. Verder mag aansienlike morfologiese veranderinge nie altyd nodig wees om fiksheid te handhaaf nie. Dit kan moontlik tot nie-lineêre of veeltonige verwantskappe tussen eienskappe en nisse lei. Hierdie studie behels 'n meta-analise van bestaande literatuur om die omvang van nie-lineariteit en veeltonigheid in eienskap-nis verhoudings regoor spesies te ondersoek, en spesifieke eienskappe wat hierdie dinamika vertoon te identifiseer. Benewens spesievlakontledings, word intraspesifieke variasie deur middel van kraniodentale metings en rumenstratifikasie in veelvuldige individue oor verskeie spesies ondersoek. Deur te fokus op hoe nis-spesifieke eienskappe nie-lineêre verwantskappe kan dryf, poog ons om vas te stel of funksionele aanpassings, soos kraniodentale en ruminale eienskappe, spesies in staat stel om buigsamheid oor diverse habitats te handhaaf. Dit sal help om taksonomiese verskille in eienskap-nis verhoudings te belig, insluitend hoe gemengde voeders by seisoenale dieetfluktuasies kan aanpas. Voorlopige ontledings dui daarop dat die hoogte-tot-breedte verhouding van derde molêre emalje krone (die hipsodontie-indeks (HI)), 'n asimptotiese toename toon met die gemiddelde persentasie gras in 'n spesie se natuurlike dieet. Dit blyk dat selfs geringe dieetverskuiwings na grasdiëte beduidende hipsodontie-evolusie kan aandryf, waarna diverse dieetopsies sonder verdere verhogings in HI moontlik word. Dit is egter noodsaaklik om die potensiële beperking op boonste HI-limiete te oorweeg. Alhoewel die oop tandwortels wat in spesies soos wildebeeste waargeneem word, daarop dui dat sulke beperkings nie universeel geld nie, sal die teenwoordigheid of afwesigheid van 'n asimptoot na die toepassing van filogenetiese veralgemeende kleinste kwadrate (PGLS) bepalend wees om hierdie hipotese te toets. As 'n asimptoot bevestig word, sal dit die argument vir aanpasbare limiete versterk. Boonop dui die teenwoordigheid van veeltonigheid in die verhouding tussen bekbreedte en dieetnis aan dat grasvreters met intermediêre vorms buite hul primêre habitats benadeel kan word. Hierdie voorbeelde beklemtoon dat die beperkings wat deur dieetnisse op herkouerspesies opgelê word, steeds swak verstaan word. Reekverskuiwings as gevolg van faktore soos klimaatsverandering, translokasie en pogings om maksimum spesierikheid in beskermde gebiede te bewaar, kan baie herkouerspesies in 'n risiko van aanpasbare fiksheidsverliese plaas. Die studie het ten doel om begrip van hierdie komplekse vorm-funksie verhoudings te verdiep, deur lig te werp op die meganismes wat die evolusionêre aanpasbaarheid van herkouers in reaksie op veranderende omgewingstoestande moontlik maak of beperk. Dit sal tot meer effektiewe bewaringstrategieë bydra, asook 'n beter begrip van die evolusionêre prosesse wat biodiversiteit vorm.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Verbetering van koste-effektiewe $\text{SrB}_6\text{O}_{10}:\text{Sm}^{2+}$ -fosformateriale vir die gebruik in sonsspektrumomskakeling en lumiserende sonkonsentreerders

GJ (Johané) Odendaal, LJB Erasmus, RE Kroon, HC Swart

Departement Fisika, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Johané Odendaal **E-pos:** OdendaalGJ@ufs.ac.za

Enhancing cost-effective $\text{SrB}_6\text{O}_{10}:\text{Sm}^{2+}$ phosphors for solar cell spectral matching and luminescent solar concentrators:

Strontium borate materials doped with divalent samarium (Sm^{2+}) exhibit promising potential as down-shifting phosphor materials to be utilised in the application field of luminescent solar concentrators (LSCs). This work explores methods to increase the Sm^{2+} ions' luminescence efficiency inside the strontium hexaborate ($\text{SrB}_6\text{O}_{10}$) host structure.

Onlangse navorsing oor sonenergie het die potensiaal van strontium-boraat-materiale gedoteer met divalente samarium (Sm^{2+}) as 'n belowende kandidaat vir gebruik in die toepassingsgebied van lumineserende-sonkonsentreerders (LSKs) beklemtoon. Hierdie fosformateriaal se fotolumineserende eienskappe toon 'n merkwaardige omskakelingseffektiwiteit, stem goed ooreen met die maksimum spektrale reaksie van sonselle en hou groot potensiaal in om die effektiwiteit van LSKs te verbeter deur sonstraling na langer golflengtes om te skakel. Hierdie studie ondersoek potensiële strategieë om die reduksie van trivalente samarium (Sm^{3+}) na Sm^{2+} te fasiliteer en die luminesensie-effektiwiteit van Sm^{2+} -ione binne die strontium-heksaboraat-gasheerstruktuur te verbeter.

Gedurende 'n hoë-temperatuur vastetoestandreaksie is strontium-heksaboraat gedoteer met samarium ($\text{SrB}_6\text{O}_{10}:\text{Sm}$) gesintetiseer. Die fasevorming van die $\text{SrB}_6\text{O}_{10}$ -struktuur is deur X-straal-poeierdiffraksie bevestig en die plaatagtige morfologie van die monsters is deur die skandeerelektronmikroskopiebeelde sigbaar. Verder is die teenwoordigheid van Sr, B, O, Sm^{3+} , en Sm^{2+} bevestig deur X-straal-fotoelektron-spektroskopie. Die fotoluminesensie resultate het getoon dat die materiaal deur 240 tot 560 nm straling opgewek kan word. Die emissie van die materiaal tussen 540 en 680 nm hou verband met die ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_J$ ($J = 5/2, 7/2, \text{ en } 9/2$) spektrale oorgange van die Sm^{3+} -ioon en die emissie tussen 680 en 830 nm hou verband met ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_J$ ($J = 0, 1, 2, 3, \text{ en } 4$) spektrale oorgange van die Sm^{2+} -ioon.

Die materiaal is verder mede-gedoteer met magnesium (Mg), kalsium (Ca), barium (Ba), yttrium (Y), lantaan (La) of europium (Eu), om te poog om die emissie van die Sm^{2+} -ione te verbeter. Die $\text{SrB}_6\text{O}_{10}:\text{Sm},\text{Mg}$ -monster het die mees intense Sm^{2+} -emissie getoon in vergelyking met die ander monsters. Hierdie monster het die Sm^{2+} -emissie-intensiteit met 'n faktor van 9.9 verbeter. Die absorpsie tussen 300 en 600 nm het ook toegeneem met die dotering van Mg of Eu. Die mede-dotering met Eu het aangedui op 'n ladingkompenseringsmeganisme wat die omskakeling van Sm^{3+} na Sm^{2+} bevorder en sodoende die emissie vanaf die Sm^{2+} -ione verhoog. Daarenteen het die mede-dotering met Mg eerder gedui op 'n meganisme gekoppel aan die versterking van die emissie van al die lumineserende sentrums.

Tydens die optimeringsproses van die $\text{SrB}_6\text{O}_{10}:\text{Sm},\text{Mg}$ -fosformateriaal is dit bevestig dat die vloeï van 'n H_2/Ar -reducerende atmosfeer tydens die na-sintese-termiese-uitgloeiingsproses effektief is om Sm^{3+} na Sm^{2+} om te skakel. Terselfdetyd het die bevindings van X-straal-poeierdiffraksie en die Scherrer-metode aangedui dat die verbetering in emissie toegeskryf kan word aan die verbetering in kristalliniteit wat geassosieer kan word met die dotering met Mg.

Die geoptimaliseerde monster, $\text{Sr}_{0,895}\text{B}_6\text{O}_{10}:\text{Sm}_{0,005},\text{Mg}_{0,10}$ het toepassingspesifieke luminiserende eienskappe, insluitend 'n groot Stokes-gaping, absorpsie tussen 300 en 600 nm, en emissie tussen 680 en 830 nm. Die interne-kwantumeffektiwiteit van die materiaal is vasgestel as 100% by 'n opwekkingsgolflengte van 300 nm. Die kombinasie van hierdie eienskappe maak hierdie fosformateriaal 'n belowende kandidaat vir gebruik in sonsspektrumomskakeling en lumiserende-sonkonsentreerders.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie; Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Outomatiese assessering van eerstejaar HTML- en CSS- werkopdragte

J (Jocelyne) Smith, E Kotzé, L Nel

Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Jocelyne Smith **E-pos:** me@jocelyne.co.za

Automatic assessment of first-year HTML and CSS assignments: This study explores how AI, specifically large language models (LLMs), can enhance automated grading for introductory computer science courses. The research develops an AI-driven grading system, compares local and API-based LLMs, and finds significant reductions in grading time (up to 97%). It highlights the potential of AI to improve grading efficiency and scalability.

Dosente ervaar uitdagings om koderingswerkopdragte vinnig en akkuraat na te sien weens 'n skerp toename in studentinskrywings. Hierdie studie ondersoek die gebruik van kunsmatige intelligensie, spesifiek groot taalmodelle, vir die outomatiese nasien van HTML- en CSS-werkopdragte onder eerstejaarstudente. Die navorsing bestaan uit twee fases, naamlik eerstens die ontwikkeling van 'n outomatiese nasienstelsel, en tweedens die evaluering van groot taalmodelle.

Die eerste fase behels die ontwikkeling van 'n outomatiese nasienstelsel wat groot taalmodelle gebruik om memorandum met studente-werkopdragte te vergelyk. Hierdie modelle assessee die opdragte en verskaf individuele terugvoer. Die stelsel maak gebruik van optiese karakterherkenning om vrae uit die memorandum te onttrek en om as konteks vir gradering te gebruik. Verder gebruik die studie gevorderde KI-tegnieke om die akkuraatheid en terugvoer te verbeter. Hierdie tegnieke sluit in:

- Refleksie – 'n iteratiewe tegniek wat 'n groot taalmodel toelaat om terugvoer te verbeter op grond van vorige evalueringe.
- Hulpmiddelgebruik – die integrasie van verskeie KI-nutsprogramme.
- Multi-agent samewerking – die gebruik van 'n gespesialiseerde agent vir elke taak (byvoorbeeld gradering van werkopdragte, onttrekking van vrae uit die memorandum en lees van die inhoud van werkopdragte), met besprekings tussen agente.

Die tweede fase vergelyk plaaslike oopbronmodelle (byvoorbeeld Llama-2 en Gemma-2) met toepassingsprogrammeerkoppelvlakmodelle (TPK-modelle, byvoorbeeld ChatGPT en Claude). Die studie se doelwit is om te bepaal watter model die beste balans van doeltreffendheid, koste, akkuraatheid, nasientyd en bruikbaarheid bied. Die navorsing volg die grondslagdata wetenskapmetodologie, wat prosesse soos besigheidbegrip, modellering, evaluering en implementering insluit. Hierdie benadering verseker die stelselmatige ontwikkeling van die nasienstelsel.

Daar is bevind dat die outomatiese nasienstelsel die spoed van gradering aansienlik verbeter het. Die evaluering dui op 'n afname in nasientyd van ongeveer 97%. Gevorderde KI-tegnieke soos refleksie, hulpmiddelgebruik, en multi-agent samewerking het die akkuraatheid en relevansie van gradering beduidend verbeter. TPK-modelle lewer beter resultate aangesien dit kragtige grootskaalse infrastruktuur benut waartoe gebruikers nie gewoonlik toegang het nie.

Plaaslike oopbronmodelle soos Llama-2 en Gemma-2 het goeie resultate gelewer maar die proses was stadig omdat eindgebruikers nie noodwendig toegang tot die mees moderne hardeware het nie. Die ChatGPT-modelle verskaf die mees gedetailleerde en akkurate graderings. ChatGPT-4-mini is die model van keuse, aangesien dit 'n balans bied tussen akkuraatheid, nasientyd en koste-effektiwiteit.

Die gevolgtrekking is dat hierdie navorsing die kritieke behoefte aan skaalbare en akkurate nasienoplossings te midde van die stygende getal inskrywings van universiteitstudente aanspreek. Die breër implikasies van hierdie navorsing dui daarop dat sulke stelsels aangepas kan word om opvoeders in verskeie kontekste by te staan en moontlik KI in onderrig aan die Universiteit van die Vrystaat bekend te stel. Toekomstige werk kan fokus op die verfyning van die stelsel gebaseer op gebruikersterugvoer en die uitbreiding van die toepassing in bykomende areas, soos verskillende koderingstale en -raamwerke.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Geoutomatiseerde bespeuring van valle voor impak

M (Mia) Swanepoel, J Coetzer

Departement Wiskundige Wetenskappe, Universiteit Stellenbosch, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Mia Swanepoel **E-pos:** mia.swanepoel95@gmail.com

Automatic pre-impact fall detection: This study concerns the investigation, implementation and comparison of various techniques and models to detect falls before impact using time series data from a wearable device. The systems investigated include a thresholding technique, SVM, CNN, ConvLSTM, transformer and an inverted transformer model. The results of testing each of these systems are reported.

Wêreldwyd neem die gemiddelde ouderdom van mense jaarliks toe. Daar is tans meer individue van 60 jaar en ouer as wat daar kinders onder die ouderdom van vyf jaar is. Dit lei tot 'n verhoging van ouderdomsverwante gesondheidstoestande, soos bejaardes wat val. Die vooruitgang in draagbare tegnologie het tot aansienlike ontwikkeling in die studie van menslike beweging gelei. Moderne valopsporingstelsels maak staat op óf konteksbewuste sensors, soos kameras in versorgingsfasiliteite, óf draagbare toestelle wat beweging monitor deur van akselerometers, giroskope en barometers gebruik te maak. Baie draagbare toestelle bespeur valle en kan nooddienste kontak om sodoende te verhoed dat individue vir lang tydperke sonder hulp gelaat word. Alhoewel valverwante beserings moontlik hierdeur verminder word, voorkom dit nie die val nie. Om hierdie rede, het navorsing begin om te fokus op voor-impak valopsporing, wat valle kan identifiseer voordat impak plaasvind en ingrypings soos draagbare lugsakke moontlik maak. Sulke stelsels poog om die val so vroeg as moontlik voor impak op te spoor.

Hierdie studie ondersoek spesifiek die gebruik van verskillende masjienleer-modelle (SVM, CNN, ConvLSTM en klassifikasie-transformators) en 'n drempelwaardetegniek, om valle akkuraat op te spoor na die aanvang van 'n val, maar voor die impak daarvan. Die mees moderne masjienleer-model wat geïmplementeer word, is die "iTransformer".

Die tegniek wat eerstens gebruik is, is die drempelwaardetegniek. Dit gebruik vier voorafbepaalde drempels (versnellingsgrootte, steekhoek, rolhoek en vertikale snelheid) gebaseer op vorige navorsing. Die versnelling en hoekspeed word bereken met behulp van die L2-norm van die drie-as aflesings. Die algoritme bespeur val en bereken die lei-tyd, wat gedefinieer word as die tyd tussen valbespeuring en die impak van die val.

Die eerste model wat gebruik is, is die SVM-model. Dit onttrek kenmerke deur 'n 50-raam glyvenster te gebruik verkry uit vorige navorsing. In totaal word 40 kenmerke gebruik om die SVM-model op te lei. Die model se parameters, C en γ , en word geoptimaliseer deur 'n roostersoektoeg.

Die tweede model is die CNN-model, wat bestaan uit drie konvolusieblokke en twee volledig gekoppelde lae. Elke konvolusieblok sluit 'n konvolusie-operasie, groepnormalisering, ReLU-aktivering, en maksimum poel in. Die model se hiperparameters, soos bondelgrootte, aantal epogte, leerkoers, en verliesfunksie, is geoptimaliseer.

Die derde model is die ConvLSTM-model, wat 'n LSTM-model voorafgegaan deur 'n CNN-model is. Die argitektuur sluit drie konvolusieblokke in, twee LSTM-selle met uitval, en laastens 'n volledig-gekoppelde-softmax-laag.

Die vierde model is die transformator-model. Die kern van die transformator-argitektuur is die multi-kop-selmeeganisme, wat toelaat dat elke insetposisie aan alle ander posisies gekoppel is. Vir klassifikasietake word die dekodeerder en maskering verwyder. In plaas daarvan word 'n klassifikasiekop by die enkodeerder gevoeg. Dit is 'n multilaag perseptron (MLP) met drie versteekte lae en een digte laag wat softmax-aktivering behels.

Die laaste model wat gebruik word, is die iTransformer-model. Hierdie transformer-model bevat 'n omgekeerde inbedding en dieselfde klassifikasiekop as wat in die bogenoemde klassifikasie-transformator gebruik word.

Hierdie modelle word vergelyk om die beste metode vir outomatiese voor-impak valbespeuring te bepaal.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Uiterste resultate vir twee grafiekindekse

E (Elize) Swartz, T Vetrík, ECM Maritz

Departement Wiskunde en Toegepaste Wiskunde, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Elize Swartz E-pos: swartz1@ufs.ac.za

Extremal results for two graph indices: We determine new lower bounds on the general sum-connectivity index and an upper bound on the general Randić index for trees with a given number of vertices and maximum degree. We also present the corresponding extremal trees for the bounds given.

'n Topologiese grafiekindeks is 'n wiskundige formule wat toegepas kan word op enige grafiek wat verbindings tussen atome van 'n molekule of kristal voorstel. Sommige van die eerste topologiese indekse, ook genoem molekulêre beskrywings, is gedefinieer en gebruik deur chemici om die aard van molekulêre vertakkings te bepaal en te karakteriseer. Dié indekse is onder andere in organiese chemie gebruik om verskeie eienskappe soos kookpunte of molekulêre volumes te voorspel. Tans is daar vele meer topologiese grafiekindekse, waarvan sommige toepassings in wiskundige chemie het.

Ons bestudeer twee indekse naamlik die algemene Randić-indeks wat eerste deur Bollobás en Erdős (1998) ondersoek is en die algemene som-verbindingsindeks wat deur Zhou en Trinajstić (2010) bekendgestel is. In grafiektoerie word 'n boom gedefinieer as 'n samehangende grafiek sonder enige siklusse. 'n Uiterste-boom word gedefinieer as 'n boom waarvoor die algemene Randić-indeks of algemene som-verbindingsindeks 'n minimum of maksimum waarde het. In die literatuur is die uiterste-bome en ooreenstemmende waardes vir die algemene som-verbindingsindeks en algemene Randić-indeks vir bome met 'n gegewe aantal nodusse reeds bepaal. Ons het wel gapings vir hierdie twee indekse vir bome met 'n gegewe aantal nodusse en ander parameters geïdentifiseer.

Ons bestudeer spesifiek bome met 'n gegewe aantal nodusse en maksimum graad. Die studie word uitgevoer deur die strukturele eienskappe van die uiterste-boom te voorspel en dan, in teenstrydigheid, aan te neem dat die uiterste-boom nie aan hierdie strukturele eienskappe voldoen nie. Grafiektransformasies word dan op die boom toegepas totdat ons die gewenste struktuur bereik. As die waardes van die algemene som-verbindingsindeks (algemene Randić-indeks) van die boom voor 'n transformasie vergelyk word met die waardes van die boom na 'n transformasie, dan bestaan daar 'n teenstelling, wat tot die gevolgtrekking lei dat die uiterste-boom wel aan die voorspelde strukturele eienskappe moet voldoen.

Sodoende word ondergrense vir die algemene som-verbindingsindeks en 'n bo-grens vir die algemene Randić-indeks vir bome met 'n gegewe aantal nodusse en maksimum graad, bepaal en bewys. Die struktuur van die ooreenstemmende uiterste-bome vir die onderskeie grense word ook ondersoek en aangebied (Swartz & Vetrík, 2023). Hiermee karakteriseer ons die uiterste-bome en voltooi ons 'n paar van die vorige gapings vir die algemene som-verbindingsindeks en algemene Randić-indeks vir bome met 'n gegewe aantal nodusse en maksimum graad.

Bibliografie

- Bollobás, B., Erdős, P., 1998, Graphs of Extremal Weights, *Ars Combinatoria* 50, 225-233.
Swartz, E., Vetrík, T., 2023, General sum-connectivity index and general Randić index of trees with given maximum degree, *Discrete Mathematics Letters* 12, 181-188.
<https://doi.org/10.47443/dml.2023.140>
Zhou, B., Trinajstić, N., 2010, On general sum-connectivity index, *Journal of Mathematical Chemistry* 47(1), 210-218. <https://doi.org/10.1007/s10910-009-9542-4>.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Ondersoek na die potensiaal van ouderdomsverwante weerstand van beeste teen bosluise vir bosluisebeheer

E (Elizna) Terblans-Molony¹, EMS van Dalen¹, L Kruger², L van der Mescht¹

¹ Department Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

² Department Veekunde, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Elizna Terblans-Molony **E-pos:** terblans.elizna@gmail.com

Investigating the potential of age-related resistance of cattle to hard ticks for tick control: Ticks are important ectoparasites, especially in the livestock production industry, which is becoming an enormous problem due to the development of resistance to chemical control methods. Therefore, alternative methods such as age-related host resistance are urgently needed as it is the future of controlling ticks and limiting losses.

Bloedsuiende ektoparasiete, veral bosluise, is wêreldwyd vir enorme ekonomiese verliese in die veeproduksiebedryf verantwoordelik. Hierdie verliese sluit in 'n afname in produksie-uitsette, 'n toename in produksiekoste en verliese weens bosluise-oordraagbare siektes. Huidige boerderypraktyke in Suid-Afrika maak meestal staat op die chemiese beheer van bosluise met behulp van akarasiëdes. Die grootste nadeel van chemiese beheermetodes is dat bosluise oor tyd weerstand teen die middels kan ontwikkel. Baie bosluisspesies, veral *Rhipicephalus decoloratus* en *Rhipicephalus microplus*, het egter reeds weerstand teen die meeste aktiewe bestanddele ontwikkel, met sommige wat weerstandig is teen veelvuldige aktiewe bestanddele. Daarom is geïntegreerde beheerstrategieë, wat verskeie bosluisebeheermetodes gebruik, voorgestel as 'n alternatiewe metode om akarasiëde-weerstandontwikkeling te vertraag.

Die natuurlike weerstand van beeste teen bosluise, bekend as gasheerweerstand, is een moontlike alternatiewe bosluisebeheermetode. Gasheerweerstand word beïnvloed deur baie verskillende eienskappe van die gasheerdier, wat oorerflik en nie-oorerflik kan wees. Een van die bekendste eienskappe wat gasheerweerstand beïnvloed, is die verskillende beesrasse. Oor die algemeen het inheemse beesrasse (*Bos indicus*) 'n hoër vlak van weerstand teen bosluise as Europese beesrasse (*Bos taurus*). Ander fisiese eienskappe van beeste wat die graad van gasheerweerstand kan beïnvloed, sluit in haarlengte, haarkleur en veldikte. Nog 'n aspek wat in ag geneem kan word, is die rol wat verskillende ouderdomme van beeste op gasheerweerstand kan hê.

Hierdie studie het ondersoek ingestel na die gebruik van die natuurlike ouderdomsverwante weerstand van beeste teen bosluise om die gebruik van akarasiëdes te beperk. Die doel was om te bepaal of die bosluise-lading op beeste deur die ouderdom van die diere beïnvloed word. 'n Groep van 30 kruisgeteelde vroulike beeste van verskillende ouderdomme is van die Paradys-proefplaas naby Bloemfontein in die Vrystaatse provinsie gekies. Alle bosluisebeheer is gestaak vir die tydperk van die studie en die beeste was toegelaat om deel van die normale kudde te vorm. Alle sigbare bosluise is een keer per maand vir 12 maande van elke dier verwyder en volwassenes tot op spesievlak met morfologiese sleutels geïdentifiseer.

Altesaam is 4 361 bosluise wat aan 10 spesies behoort versamel, waarvan sewe van veterinêre belang was. Die voorkoms van die bosluise op die onvolwasse verse, nie-dragtige en dragtige koeie was 87.0 %, 86.3 % en 90.6 %, onderskeidelik. Ons het 'n gemengde effek veralgemeende lineêre model met 'n negatiewe binomiale verspreiding gebruik om die effek van ouderdom op bosluise-intensiteit te ondersoek. 'n Beduidend laer gemiddelde bosluise-intensiteit is gevind op onvolwasse verse (9.04 ± 1.03) in vergelyking met volwasse nie-dragtige (16.54 ± 2.65) en dragtige koeie (18.16 ± 1.70). Daar was egter geen verskil in gemiddelde intensiteit tussen volwasse koeie nie. Die bevindinge van die studie demonstreer die potensiaal van die gebruik van ouderdomsverwante gasheerweerstand wanneer 'n geïntegreerde bosluisebeheerplan saamgestel word.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Effektiwiteit verifikasie van nie-liniêre Bewys-van-Werk blokskakel konsensus-algoritmes

JDP (Johandré) Bothma, W Nel, RC Fouché

Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Johandré Bothma **E-pos:** johandrebothma@gmail.com

Verifying the efficiency of nonlinear probability of success Proof-of-Work blockchain consensus algorithms: This research aims to verify the energy efficiency of new nonlinear Proof-of-Work (nPoW) algorithms compared to Bitcoin's PoW algorithm. By implementing nPoW in an isolated test network and analysing computation data generated during the mining process, the study will assess its energy impact in relation to that of the Bitcoin PoW.

Die gebruik van blokskakelstelsels groei geweldig en daar word verwag dat wêreldwye besteding aan blokskakelstelsels byna R330 biljoen gaan bereik met blokskakelstelsels wat moontlik 10 tot 20% van die globale ekonomiese infrastruktuur teen 2030 gaan beheer (Yirrell, 2024). Hierdie navorsing het ten doel om by te dra tot die veld wat gemeed is met die verbetering van konsensus-algoritmes in blokskakelstelsels, met die spesifieke fokus op kriptogeldeenede waarvan Bitcoin die oudste en steeds die gewildste is met 'n markkapitalisasie van R20 triljoen (Forbes Advisor, 2024).

Die huidige Bewys-van-Werk-algoritme (BvW-algoritme) wat deur Bitcoin (Nakamoto, 2009) gebruik word het die problematiese gevolg dat 'n buitensporige hoeveelheid energie deur die Bitcoin-netwerk verbruik word. Die probleem groei soos die Bitcoin-netwerk groei en meer energie aangewend word om berekeninge te doen met die hoop om 'n geldige blok te vind terwyl die kans op sukses per berekening al kleiner word. Hierdie toestand kan grootliks toegeskryf word aan die lineêre verhouding tussen 'n myner se berekeningsvermoë en hul kans om suksesvol 'n geldige blok te vind. Gebaseer op hierdie bevinding is 'n nuwe stel nie-liniêre Bewys-van-Werk-algoritmes (nBvW-algoritmes) wat hierdie lineêre verhouding verbreek voorgestel deur Bezuidenhout, Nel en Burger (2020). Alhoewel statistiese modellering bevind het dat hierdie algoritmes meer energiedoeltreffend as die BvW-algoritme is, is hul effektiwiteit nog nie in 'n werklike blokskakelstelsel getoets nie. Hierdie studie poog om die resultate van die statistiese modellering te verifieer deur die nBvW-algoritmes in 'n geslote toetsnetwerk te implementeer.

Die studie is in twee dele verdeel. Eerstens is die Bitcoin-toepassing aangepas om dit moontlik te maak om die konsensusalgoritme wat tydens die mynproses gebruik word te verander. Die nodige kode om die data rakende die aantal berekeninge wat uitgevoer word op te vang, is ook bygevoeg. Die twee nBvW-algoritmevariasies wat met statistiese modellering die beste gevaar het, tesame met die oorspronklike BvW-algoritme as maatstaf word in die toetsnetwerk geïmplementeer. Aangesien 'n direkte verband bestaan tussen die hoeveelheid berekeninge ("hashes") wat gedoen word en die energie wat verbruik word, word die hoeveelheid berekeninge wat gedoen word in die netwerk vir elke algoritme vergelyk. Indien daar gevind word dat die nBvW-algoritmes wel beter energiedoeltreffendheid bereik, sal met fase twee voortgegaan word.

Tydens die tweede fase sal die moontlike invloed van gesamentlike transaksieverwerking ("pooled mining") op die effektiwiteit van die nBvW-algoritmes ondersoek word. Dele van die toetsnetwerk sal omskep word in groepe wat saam werk om dus hul kans op sukses te verbeter. Tydens beide fases sal die data verwerk word en beskrywende sowel as inferensiële statistiek sal gebruik word om dit te analiseer. Indien dit gevind word dat die nBvW-algoritmes beter energiedoeltreffendheid het as die BvW-algoritme sal dit toekomstige blokskakelstelsels in staat stel om dieselfde sekuriteitreëls as die Bitcoin-stelsel te volg met beter energieverbruik en 'n laer impak op die omgewing.

Bibliografie

- Bezuidenhout, R., Nel, W., Burger, A.J., 2020, Nonlinear proof of work - Improving the energy efficiency of Bitcoin mining, *Journal of Construction Project Management and Innovation* 1(1), 20-32. <https://doi.org/10.36615/jcpmi.v10i1.351>.
- Forbes Advisor, 2024, Top 10 Cryptocurrencies of September 24, 2024. Available from: <https://www.forbes.com/advisor/investing/cryptocurrency/top-10-cryptocurrencies/> Accessed 3 January 2026.
- Nakamoto, S., 2009, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Available from: <https://bitcoin.org/en/bitcoin-paper> Accessed 3 January 2026.
- Yirrell, S., 2024, Blockchain Statistics: Top Stats, Facts and Trends for 2024. Available from: <https://connect.comptia.org/blog/blockchain-statistics> Accessed 30 September 2024.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Ontwikkeling van 'n intelligente dinamiese ontlaai-beheermeganisme om batterywanbalans te verbeter

A (Ashleigh) Townsend, R Gouws

Skool vir Elektriese, Elektroniese en Rekenaaringenieurswese, Noordwes-Universiteit, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Ashleigh Townsend **E-pos:** ashleigh.townsend@nwu.ac.za

Development of an intelligent dynamic discharge controller to address battery imbalance: Use of battery-powered electric vehicles to decrease greenhouse gas emissions, diesel particulate matter and carbon footprints, is becoming more common. This project makes use of an intelligent controller to manage the discharge of the cells in a battery pack and therefore improve the inevitable imbalance that occurs during battery discharge.

Die toenemende druk om koolstofgebruik en die vrystelling van kweekhuysgasse te beperk, gaan gepaard met merkbare groei in die belangstelling om elektries-aangedrewe voertuie te gebruik. Die verwagting is egter dat elektries-aangedrewe voertuie dieselfde, of beter, verrigting gee as die ekwivalente binnebrandenjins, saam met die vermindering van koolstofuitlaatgasse en ander nuwe-effekte op die omgewing.

Batterye is die primêre stoelement wat gebruik word om elektries-aangedrewe voertuie aan te dryf en 'n uitdaging wat al hoe meer waargeneem word is die wanbalans wat ontwikkel soos wat die batterye ontlaai. Daar is verskillende tipes batterye, almal met unieke eienskappe wat volgens toepassing gekies word. 'n Paar eienskappe wat van belang is, is energiedigtheid, stroomkapasiteit, c-gradering en termiese wegholtemperatuur en veiligheid - indien dit sou plaasvind. Dié eienskappe is hoofsaaklik generies vir die spesifieke batterychemie wat gebruik word, maar lei tot en 'n toename in die gegradeerde waardes soos wat die battery ontlaai en verouder. Meeste van dié eienskappe word grootliks beïnvloed deur die interne weerstand van die selle en dit verander soos die selle verouder, en wat geneig is om toe te neem.

Interne weerstande is die primêre wyse waardeur selle die las tussen mekaar volgens Ohm se wet versprei - in parallelle of seriekombinasie. Wanneer die interne weerstande verskil sal die las oneweredig tussen die selle versprei word en sodoende die selle ongebalanseerd ontlaai - met ander woorde die selle sal nie almal teen dieselfde tempo ontlaai nie. Ongebalanseerde selle lei tot verskeie nuwe-effekte wat die battery vinniger laat verouder en sodoende beskadig. Die geneigdheid tussen ongebalanseerde selle is dat van die selle (dié met laer weerstande) harder gebruik sal word as die ander, as gevolg van die interne weerstande, en wat tot vroeër afskrywing van daardie battery sal lei.

Die mees bruikbare manier om die veroudering te voorkom of te verminder is om die selle deur 'n balanseerfase aan die einde van die herlaaiproses te neem. Die batterypak is so goed soos sy swakste sel, en wanneer een sel 'n gevaarsonere bereik (hoë temperatuur, lae spanning) sal die hele sisteem afgesit word - dieselfde met die herlaai van die batterypak by sy boonste spanningsvlak en temperatuur. As ongebalanseerde selle verder gebruik word sonder om gebalanseer te word, sal die selle al hoe verder ongebalanseerd raak en die bruikbare kapasiteit sal afneem, omdat die batterye al hoe vinniger volgens Ohm se wet ontlaai. Hierdie projek maak gebruik van dinamiese ontlaai-beheer om die selle gebalanseerd te hou terwyl hulle ontlaai. Die sisteem maak gebruik van verkoeling en intelligente programmering om die interne weerstand te varieer, wat verander volgens die veroudering en gebruik van die selle. Die sisteem sal die stroom meet van die las en die weerstand dan aanpas volgens die kapasiteit van elke individuele sel om sodoende die batterye gebalanseerd te hou.

Die verwagte resultaat is 'n gebalanseerde batterypak aan die einde van die ontlaaiproses wat 'n langer gebruikstyd sal gee - per ontlaai en in totaal, groter kapasiteit (oftewel meer akkuraat volgens die verkoper), asook stadiger veroudering van die batterypak as geheel.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie; Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Formulering van kosmeseutiese produkte met die gebruik van aminosuur-gebaseerde surfaktante vir verbeterde produkwerking

C (Carli) van der Merwe, A Wessels, EH Wiese, FJ Smit

Gesondheidswetenskappe, Noordwes-Universiteit, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Carli van der Merwe **E-pos:** carlivdmerwe@gmail.com

Formulation of cosmeceutical products using amino-acid-based surfactants for enhanced product performance: This study explores the use and benefits of amino-acid-based surfactants in formulation of a sustainable sunscreen, "Helioglo". These surfactants enhance UV protection, stability, and biodegradability, addressing ecological concerns surrounding traditional sunscreens. Helioglo presents a vegan, cruelty-free alternative, offering broad-spectrum protection and promoting environmental and ethical skincare practices for a more sustainable future.

In moderne tye het velversorging en -beskerming teen die son se ultravioletstrale (UV-strale) noodsaaklike aspekte van mense se daaglikse roetine geword. Sonskade is 'n universiële bedreiging wat nie vermy kan word nie. Dus is die beskerming teen UV-strale noodsaaklik om voortydse veroudering, hiperpigmentasie, sonbrand en velkanker te beveg.

Tradisionele sonskerms, hoewel noodsaaklik vir beskerming, het hul eie uitdagings. Sommige van die UV-filters wat tans gebruik word kan mariene-ekosisteme, veral koraalriwwe, beskadig. Verder kan hierdie middels radikaalgeïnduseerde afbraak ondergaan wat tot 'n verlaging in die UV-beskermingseffektiwiteit, laer formuleringstabiliteit, allergeenproduksie en moontlike karsinogeniese effekte kan lei. Met die toenemende groei in Suid-Afrika se sonskermindustry, wat voorspel is om teen 2027 'n omset van VSA \$40.4 miljoen te bereik (Research and Markets, 2023), is die soektog na 'n alternatiewe noodsaaklik.

Surfaktante speel 'n onvervangbare rol in die effektiwiteit van sonskerm. Surfaktante word gebruik om oppervlakspanning te verminder, wat die mengbaarheid van verskillende fases verhoog. Surfaktante word in vele aspekte van die alledaagse lewe gevind; kos, medikasie, kosmetiese produkte en vele meer (Somasundaran et al., 2007).

In hierdie studie is 'n unieke aminosuursurfaktant wat as 'n aktiewe bestanddeel in Helioglo, 'n sonskermformulering, voorkom, gebruik. Hierdie surfaktant dien nie net as die UV-afsorberende aktiewe middel nie, maar tree ook as 'n emulsifiseerder, stabiliseerder, versagen- en vogbehoudende middel op. Die aminosuursurfaktant is ontwikkel deur van 'n multistapsintese-roete gebruik te maak. Guerbet-tipe aldehyede word as die hidrofobiese stertgroep van die surfaktant gebruik en word deur aldolkondensasie en hidrogenering van linieëre aldehyede gesintetiseer. Anders as gewone vertakte alkielkettings, word Guerbet-tipe strukture as meer bioafbreekbare en minder toksiese verbindings gesien (Rosen & Kunjappu, 2012). Amino-esters word as die hidrofiliese kopgroep van die surfaktant gebruik en word deur 'n reduktiewe amineringsreaksie aan die Guerbet-tipe aldehyede gebind. Vervolgens word die amino-ester verseep om die gekose aminosuursurfaktant te isoleer. Die aminosuurgedeelte beskik oor lae toksisiteit, hoë bioafbreekbaarheid en kan maklik gefunksionaliseer word. Daar is in die studie bewys dat die surfaktant UV-strale effektief kan absorbeer, wat Helioglo 'n breëspektrumbeskermer maak.

'n Toename in die aanvraag vir sonskermprodukte wat effektief en omgewingsvriendelik is kan deur hierdie produk aangespreek word. Helioglo tree as 'n etiese en volhoubare alternatief op aangesien dit oor 'n bioafbreekbare, wreedheidvrye en veganistiese samestelling beskik. Hierdie navorsing dui op die toekoms van kosmeseutika, waar innoverende wetenskap en omgewingsbewuste praktyke hand aan hand gaan om 'n beter, volhoubare wêreld te skep.

Bibliografie

Research and Markets, 2023, South Africa Suncare Market Summary, Competitive Analysis and Forecast to 2027. Available from: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5765050/south-africa-suncare-market-summary-competitive> Accessed 10 January 2026.

Rosen, M.J., Kunjappu, J.T., 2012, Characteristic features of surfactants. In: Rosen, M.J., Kunjappu (Eds.), *Surfactants and interfacial phenomena*, 4th ed., Wiley, pp. 1-38. <https://doi.org/10.1002/9781118228920.ch1>.

Somasundaran, P., Chakraborty, S., Deo, P., Deo, N., Somasundaran, T., 2006, Contribution of Surfactants to Personal Care Products. In: Rhein, L.D., Scholssman, M., O'Lenick, A., Somasundaran, P. (Eds.), *Surfactants in Personal Care Products and Decorative Cosmetics*, 3rd. ed., CRC, pp. 121-136. <https://doi.org/10.1201/9781420016123>.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Hulpbronbenuttingspatrone van groot soogdierherbivore in klein reservate

R (Runè) van der Merwe¹, D Codron¹, H Olff²

¹Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

²Groningen Instituut vir Evolusionêre Lewenswetenskappe, Universiteit van Groningen, Nederland

Korresponderende outeur: Runè van der Merwe **E-pos:** runeVDM3@gmail.com

Dietary utilisation patterns of large mammalian herbivores in small reserves: All species compete for limited resources, and their ability to share it is crucial for coexistence. Wildlife is increasingly confined to smaller habitats, possibly threatening species survival. This study employs stable isotope and eDNA analysis as well as direct observations to understand how large herbivores in small reserves use and share resources.

Alle spesies kompeteer om beperkte hulpbronne. Hulle vermoë om hierdie hulpbronne te deel, is vir hul samebestaan noodsaaklik; anders kan uitsterwing onvermydelik wees. Tans word wilddbevolkings tot toenemend kleiner habitats ingeperk, wat nie net 'n afname in hulpbrondiversiteit veroorsaak nie, maar ook die algehele beskikbaarheid daarvan aansienlik verminder. Hierdie vermindering in hulpbronne, maak die deel daarvan moeiliker, wat 'n kritieke vraag stel, naamlik 'Wanneer sal dit die stabiele voortbestaan van wild bedreig?' Hierdie studie ondersoek hoe groot soogdierherbivore (bokke en sebras) hulpbronne binne klein reservate in die sentrale dele van Suid-Afrika deel en gebruik. Hulpbronbenuttingspatrone sal gerekonstrueer word deur gebruik te maak van stabiele koolstof- en stikstof-isotoopanalise en omgewings-DNS-analise (eDNS-analise) van fekale materiaal asook direkte waarnemings. Stabiele isotoopanalise verskaf 'n breë klassifikasie van herbivore in algemene voedingskategorieë, naamlik grasvreters, blaarvreters en gemengde voerders (wat beide gras en blare benut). Daarteenoor bied eDNS-analise 'n hoër resolusie uitkyk deur die spesifieke plantspesies wat verbruik is, te identifiseer. Deur verskeie metodologieë te integreer, waarvan sommige nie voorheen saam bestudeer is nie, beoog ons om omvattende data oor die diversiteit en variasie in spesies se hulpbrongebruik in te samel. Wêreldwyd, is daar as gevolg van randeffekte 'n tendens dat spesiesverlies oneweredig meer is as die verlies van habitats. In Suid-Afrika word hierdie situasie vererger deur nie net die vernietiging van habitats nie, maar ook die gedwonge isolasie van wild in klein en gefragmenteerde gebiede. Dit geld veral in die grasveld bioom, die tuiste van baie van ons kenmerkende vlaktewild, waarvan sommige inheems en selfs endemies aan hierdie streek is. Sulke fragmentasie kan onder meer die lewensvatbaarheid van die bevolking en genetiese diversiteit negatief beïnvloed. Tog, mag hierdie klein reservate egter die "laaste uitweg" vir baie van hierdie spesies verteenwoordig, aangesien kleiner reservate toenemend die "norm" word as gevolg van voortdurende habitatfragmentasie en -verlies. Die uitdaging is dat namate die aantal en diversiteit van wildspesies in 'n gegewe gebied – veral in kleiner, gefragmenteerde habitats – verander, die hulpbronbenuttingsgewoontes van elke spesie waarskynlik ook sal verskuif. Hierdie verskuiwings het kaskade-effekte op ekostelselintegriteit, wat veel verder strek as om bloot die aantal individue van elke spesie in ag te neem. Daarom is daar 'n dringende behoefte aan 'n aansienlike poging om die dinamika binne hierdie gefragmenteerde habitats te verstaan, en ons voorspellingsvermoëns te verbeter om sodoende belangrike habitats beter te bestuur en te bewaar.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie; Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Om 'n beeld van die resonante effek rondom Sgr A* te skep

C (Corlé) van der Walt^{1,2}, J Brink¹

¹Departement Wiskunde en Toegepaste Wiskunde, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

²Departement Wiskundige Wetenskappe, Akademia, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Corlé van der Walt **E-pos:** Corle.vdw@gmail.com

Towards creating an image of the resonant effect around Sgr A*: This research is about black hole imagery. The goal is to examine how variations in the observer's viewing angle affect the resulting images. By using analytical techniques, the null geodesics are traced. These light rays provide valuable insights into the dynamics of Sgr A* resonant structures.

Hierdie navorsing handel oor beelde van gravitasiekolke. In 2019 het die Event Horizon Teleskoop (EHT) die eerste gesintetiseerde beelde van 'n gravitasiekolk (M87*) gepubliseer. In 2022 het hulle beelde en eienskappe van Sgr A*, die gravitasiekolk in die Melkweg, gepubliseer (Akiyama et al., 2022). Soortgelyke eienskappe van Sgr A* is deur Brink et al. (2022) gevind deur te kyk na die resonante effekte rondom die gravitasiekolk.

Die numeriese benadering van die EHT steun op intensiewe rekenaarverwerkingsalgoritmes en -simulasies om die beelde te skep. Dus is dit moeilik om hierdie resultate te herproduseer. Die EHT-span, alhoewel baanbrekers, het beperkte foutgrense verskaf, wat tot vroeë hul akkuraatheid gelei het, veral met betrekking tot die spin-as-oriëntasie van Sgr A*. Die resultate toon 'n onverwagte inklinasiehoek van 30 grade ten opsigte van die spin-as-oriëntasie (Akiyama et al., 2022).

Tydens observasies, soos die van die EHT, word aanvaar dat die aarde stasionêr ten opsigte van die gravitasiekolke is. Alhoewel ons in vergelyking met die galaktiese skaal stil staan, roteer die aarde steeds. Dit vervorm dus die waarneembare beeld, soortgelyk aan die Doppler-effek.

Die doel van die projek is om beelde van die resonante orbitale strukture rondom gravitasiekolke binne die Schwarzschild-ruimtetyd te skep. Hierdie benadering verskil van die tydrowende EHT-simulasies en bied 'n analitiese alternatief wat afhanklik is van die orbitale struktuur. Die resultate sal vergelyk word met die waarnemingsbewerings van die EHT.

As gevolg van die swaartekrag van die gravitasiekolk word die paaie van die ligstrale gebuig. Om hierdie rede is dit moontlik dat baie ligstrale dieselfde begin- en eindpunte het. Ligstrale wat eers rondom die gravitasiekolk ossilleer voor dit ontsnap vorm die fotonsfeer. Om die ligstrale te definieer word die Schwarzschild-ruimtetyd sover moontlik analities opgelos. Verder word Carlson se integrale gebruik om die ligbron en waarnemer te verbind. Vir hierdie studie word daar aanvaar dat die ligbronne deel van die resonantstruktuur vorm. Dus gee die resulterende beelde 'n goeie weerspieëling van die dinamika in die resonantstruktuur. 'n Effektiewe kode is dus vir hierdie proses ontwikkel.

In die toekoms sal die navorsing uitgebrei word na die Kerr-ruimtetyd, waar die spin-as-oriëntasie gevarieer kan word, om die invloed daarvan op die beeld te kan sien. Dit kan moontlik die EHT-resultaat verifieer. Indien suksesvol belooft hierdie navorsing om die tyd en hulpbronne wat nodig is om beelde van gravitasiekolke te sintetiseer, aansienlik te verminder. Dit word verseker deur die modellering korrek te doen vir enige klein afwykings van Kerr-ruimtetyd. Die navorsing gee 'n nuwe perspektief wat tot verdere insig in gravitasiekolkgedrag kan lei.

Bibliografie

- Akiyama, K., Anata, R., Akiyama, K., et al., 2022, First sagittarius a* event horizon telescope results. V. testing astrophysical models of the galactic center black hole, *The Astrophysical Journal Letters* 930(2), L16. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac6672>.
Brink, J., Geyer, M., Hinderer, T., 2015, Astrophysics of resonant orbits in the Kerr metric, *Physical Review D* 91(8), 083001. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.083001>.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Wiskundige modellering van die drukval in 'n biofilter

RJ (Rocco) van Velden, S Fidler

Departement Wiskundige Wetenskappe, Universiteit Stellenbosch, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Rocco van Velden **E-pos:** roccojvv@gmail.com

Mathematical modelling of the pressure drop in a biofilter: Flow through porous media, such as biofilters, attracts significant research due to its industrial applications in removing harmful gases like hydrogen sulfide. Scientists focus on predicting pressure drop to optimize biofilter production. This study develops an analytical model accounting for surface roughness and biofilm development, improving pressure drop predictions in biofilters over time.

Vloei deur poreuse media ontvang groot aandag in die veld van vloeimodellering weens die vele industriële toepassings daarvan. Een van die prominente toepassings is biofilters, wat mikroörganismes gebruik om skadelike stowwe uit lug of water te verwyder deur dit deur poreuse media te filtreer. Hierdie studie fokus op korrelagtige poreuse media, waar gasse soos waterstofsulfied (H_2S) deur 'n biofilter gepomp kan word om dit meer omgewingsvriendelik te maak. 'n Sleutelgebied van belangstelling vir wetenskaplikes is die voorspelling van drukval en gasvloei deur biofilters, aangesien akkurate voorspelling produksie kan optimaliseer en kostes kan verminder.

Die modellering van vloei deur biofilters (of poreuse media) bly egter wiskundig uitdagend weens die talle veranderlikes en die ingewikkelde fisika wat betrokke is. Dit lei dikwels tot die gebruik van empiriese tegnieke waar drukvalkurwes aangepas word om by eksperimentele data te pas. Dit het egter die nadeel dat nuwe eksperimente en analyses vir elke bykomende ondersoek gedoen moet word.

Die reghoekige verteenwoordigende eenheidselmodel ("rectangular representative unit cell"-model of te wel RUC-model), wat in die 1980's by die Universiteit van Stellenbosch ontwikkel is, is 'n bekende model wat reghoekige geometrie gebruik om sferiese of onreëlmatige partikels in korrelagtige poreuse media voor te stel. Talle studies oor die jare is met en rondom die RUC-model gedoen en biofilters is geen uitsondering nie. Die RUC-model is onlangs gebruik in die voorspelling van die drukval in 'n biofilter, waar biofilmontwikkeling in ag geneem is.

Biofilmontwikkeling is 'n biologiese proses waarin mikroörganismes op 'n oppervlak saampak en 'n dun, slymerige laag vorm wat as 'n biofilm bekend staan. Hierdie biofilm bied aan die mikroörganismes 'n beskermde leefomgewing waarin hulle onder moeilike omstandighede kan groei en oorleef. Die giftige H_2S -gas word as sulks deur hierdie biofilm vasgevang of filtreer en wat op sy beurt die mikroörganismes in staat stel om die gas af te breek. Verder neem die RUC-model ook die partikeldeursnee, die aanvanklike porositeit, biofilm-aangepaste porositeit, partikelsferisiteit, koördinasiegetal en grofheidskoeffisiënt in ag. Hierdie konsepte word in diepte in die studie bespreek. Die model onbreek egter in die akkurate voorstelling van die oppervlakgrofheid.

Oppervlakgrofheid verwys na mikroskopiese onreëlmatighede op die oppervlaktes van partikels binne 'n poreuse medium. Daar is bevind dat oppervlakgrofheid weerstand verhoog wat tot die toename in die drukval lei. Hierdie studie beklemtoon die belangrikheid van oppervlakgrofheid in die drukvalmodellering in biofilters en poog om 'n benaderde model te ontwikkel wat die fisiese toestande in poreuse media beter in ag neem. Goeie resultate is verkry en bevindinge dui op 'n verbeterde model. Dit mag lei tot verfyning van en die algehele verbetering in biofilter-produksie.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Grootte-afhanklikheidsstudie van watergeadsorbeerde ysteroksiednanodeeltjies en hul toksisiteit: 'n Modellerings- en eksperimentele studie

D (Danell) van Wyk¹, S Cronjé¹, M Gulumian², V Wepener², RA Harris¹

¹Departement Fisika, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

²Water Navorsingsgroep, Eenheid vir Omgewingswetenskap en -Bestuur, Noordwes-Universiteit, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Danell van Wyk **E-pos:** 2018461885@ufs4life.ac.za

Size-dependent study of water adsorbed iron oxide nanoparticles: A modelling and experimental study: Iron Oxide Nanoparticles (IONs) are considered biocompatible due to their small size. IONs are modelled to be used as a drug delivery system to treat various diseases. Different properties such as surface area, size, shape etc. of the IONs can be controlled to optimize the system and reduce the toxicity.

Nanodeeltjies (NDs) het uiteenlopende toepassings, soos byvoorbeeld vir die gebruik in geneesmiddelaflewering, skoonheidsmiddels, medisyne en elektronika. Ysteroksied magnetiese NDs, kan spesifiek ook gebruik word as magnetiese resonante beeldvorming kontrasmiddels (MRI-kontrasmiddels), angiogeniese terapie en asook chemoterapie (Ealia & Saravanakumar, 2017). Die klein grootte van die NDs stel hulle in staat om aktief intravaskulêr of intraholte vir geneesmiddelaflewering te beweeg. Ten spyte van hul voordele, is die toksisiteit van ysteroksied NDs grootliks onbekend, veral vir ultra-klein ysteroksied NDs. Verskeie studies het aangedui dat die potensiële toksisiteit, insluitend sitotoksisiteit en genotoksisiteit, wat deur ysteroksied NDs veroorsaak word, grootliks toegeskryf kan word aan die generering van reaktiewe suurstofspesies (Liu et al., 2013). Dit is daarom noodsaaklik om hul toksisiteit te ondersoek, veral as daar in ag geneem word dat verskillende tipes NDs grootte-afhanklikheids toksisiteit vertoon. In onlangse studies is waargeneem dat ultra-klein NDs (met ander woorde ~5 nm) nie 'n baie duidelike induksie van reaktiewe suurstofspesies toon nie. Dit blyk dus dat die generering van reaktiewe suurstofspesies deur die grootte van die NDs beïnvloed word. Die toksisiteit van ultra-klein Fe₃O₄ NDs is vermoedelik verwant aan ferroptose, 'n vorm van geprogrammeerde seldood wat gekenmerk word deur die oormatige ophoping van yster en die opbou van lipiedperoksiede (Wu et al., 2012). Verder, onder sekere spesifieke toestande, kan hierdie ysteroksied NDs yster-ione (Fe²⁺ of Fe³⁺) vrystel in die omgewing waarmee dit interaksie het. Hierdie ione kan met water reageer om hidroksiedione (OH⁻) en protone (H⁺) te vorm, wat die pH direk beïnvloed. Ons veronderstel dus dat daar 'n korrelasie kan wees tussen die pH van 'n oplossing wat ysteroksied NDs bevat, en die gevolglike toksisiteit. Dit is nodig om 'n ondersoek in te stel en 'n gedetailleerde verduideliking van die toksisiteit van ysteroksied NDs en potensiële risiko's vir menslike gesondheid te verskaf. Die toksisiteit van NDs word toegeskryf aan hul spesifieke fisiese en chemiese eienskappe, insluitend hul hoë oppervlak-tot-volume verhouding, chemiese samestelling, grootte, dosis, retensie in die liggaam, vorm, orgaanspesifieke toksisiteit, afbreek en eliminasië uit die liggaam (Wu et al., 2022). In hierdie studie is Fe₃O₄ NDs verkry en ontleed om hul kristalliniteit deur X-straaldiffraksie (XRD) te bepaal. Verder is hul vorm en grootte verkry deur transmissie-elektronmikroskopie (TEM) om vas te stel wat die pH is van hierdie Fe₃O₄ NP's wat in water opgelos is. Hierdie resultate is gesimuleer om 'n model te vorm sodat daar bepaal kan word watter effek die konsentrasie protone (H⁺) en hidroksied-ione (OH⁻) op die pH van die model kan hê. Die model is bepaal deur presies te ondersoek watter groottes van die NDs sal werk om aan die hidroksied-ione te bind deur te kyk na die bindingsenergie van die NDs in die omgewing van OH⁻.

Bibliografie

- Ealia, S.A.M., Saravanakumar, M.P., 2017, A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 263, 032019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032019>.
- Liu, G., Gao, J., Ai, H., Chen, X., 2013, Applications and Potential Toxicity of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles, *Small* 9(9-10), 1533-1545. <https://doi.org/10.1002/sml.201201531>.
- Wu, H., Yin, J.J., Wamer, W.G., Zeng, M., Lo, Y.M., 2012, Reactive oxygen species-related activities of nano-iron metal and nano-iron oxides, *Journal of Food and Drug Analysis* 20(1), 312-317. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.01.007>.
- Wu, L., Wen, W., Wang, X., et al., 2022, Ultrasmall iron oxide nanoparticles cause significant toxicity by specifically inducing acute oxidative stress to multiple organs, *Particle and Fibre Toxicology* 19(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s12989-022-00465-y>.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Ringkaperjolle

JG (Gerhard) Venter, JM Maritz

Departement Ingenieurswetenskappe, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: Gerhard Venter **E-pos:** VenterJGV@gmail.com

Ring rodeo: The signals and noise propagating along the connections between nodes in complex networks such as the South African power grid can be modelled with a set of coupled oscillators. The properties of the underlying graph can predict whether a network of oscillators can achieve a state of synchronicity or not.

Netwerke kom feitlik oral voor. Dink maar aan sosiale netwerke, selfoonnetwerke, die Suid-Afrikaanse pad- en spoornetwerk of die Suid-Afrikaanse kragnetwerk. Minder voor-die-hand-liggende voorbeelde sluit in chemiese molekules en die senustelsel in mens en dier. Elk van hierdie netwerke kan wiskundig beskryf en gemodelleer word as 'n kombinatoriese grafiek, wat uit nodusse en verbindings tussen sommige van die nodusse bestaan. In die kragnetwerk en senustelsel (om twee voorbeelde te noem) is daar 'n konstante beweging van seine – daar is kommunikasie tussen nodusse deur middel van die verbindings. Die wisselstroom in die Suid-Afrikaanse kragnetwerk ossilleer teen ongeveer 50Hz en hierdie sein plant voort langs verbindingsdrade, terwyl 'n senu-impuls van een senu-sel na 'n volgende beweeg. Hierdie netwerke kan as komplekse stelsels beskryf word. Met komplekse stelsels ontstaan die vraag of die nodusse in 'n betrokke netwerk in staat is om te sinkroniseer of nie. In 'n komplekse netwerk word elke nodus as 'n ossillator beskou wat 'n sein deur middel van die verbindings na die omliggende nodusse stuur. Gegewe 'n sekere aanvangstoestand sal die nodusse in sekere netwerke 'n toestand van sinkronisasie bereik, terwyl so 'n toestand nooit in sekere ander netwerke bereik sal word nie. Sekere netwerke kan egter nie kant kies nie en wissel tussen 'n toestand van sinkronisasie en 'n toestand van chaos. 'n Konkrete voorbeeld van sinkronisasie is 'n groep vuurvliegies, waar elkeen se liggie aanvanklik onafhanklik van al die ander begin flikker, maar die groep naderhand as 'n eenheid flikker. Netwerke wat nie altyd sinkroniseer nie hou die gevaar in dat swewinge in die sein kan ontstaan, wat infrastruktuur kan beskadig. Dit sal dus nuttig wees om te kan bepaal of 'n netwerk 'n toestand van sinkronisasie sal bereik of nie. Aangesien 'n netwerk wiskundig beskryf kan word volgens die onderliggende kombinatoriese grafiek, hoop ons om die eienskappe van grafieke te kan gebruik om die gedrag van komplekse netwerke te voorspel. Dit is in die literatuur bekend dat ringnetwerke wissel tussen 'n toestand van sinkronisasie en 'n toestand van chaos, wat dus as 'n goeie beginpunt vir die ondersoek dien. Die doel is om teoretiese voorspellings te maak (volgens die eienskappe van grafieke) en dit met die resultate van gesofistikeerde rekenaarsimulasies te vergelyk.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie; Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Ontwikkeling van 'n nuwe kwantum chemiemodel vir die programmatiese analise van elektroniese struktuur

O (Otto-Louis) Venter, JH de Lange

Departement Chemie, Universiteit van Pretoria, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Otto-Louis Venter **E-pos:** otto-louis.venter@tuks.co.za

Development of a novel quantum chemical model for the programmatic analysis of electronic structure: A new FALDI-derived approach, coined as FALDI-MO, was used to examine the electronic structure of four simple B-N adducts. The utility of this approach was demonstrated in the decomposition of the molecular orbitals of these structures, alongside the identification of similar modes of electron (de)localisation.

Molekulêre orbitaalteorie (MOT) is een van die veelsydigste modelle vir die analise en voorspelling van die elektroniese eienskappe van molekules. Dit is wel interessant dat MOT minder gebruik vind in die analise van groter en asimmetriese sisteme as gevolg van die kompleksiteit van sulke sisteme. Hierdie navorsing handel oor die ontwikkeling van 'n nuwe model (FALDI-MO) om die elektroniese orbitaalstrukture van komplekse sisteme op 'n vereenvoudigde en selektiewe manier te analiseer. Die model is afgelei van en gebou op ons eie gelokaliseerde, gedelokaliseerde, interatomiese (FALDI) elektrondigheidskema, aangevul met verskeie nuwe Python-kodes vir addisionele berekeninge en programmatiese visualisering.

Die aanvanklike ontwikkeling van FALDI-MO het gebruik gemaak van N-heteroasikliese karbene (NAKs), maar dit is onlangs uitgebrei om diatomiese molekules, eenvoudige addukte (soos BF_3NH_3) en selfs groter koördinasie komplekse in te sluit. Ons wys dat hierdie model gemaklik verskillende elektroniese eienskappe kan identifiseer, naamlik unieke modusse van fragmentele, gelokaliseerde en gedelokaliseerde elektrondigheidsverspreidings. Verder sal ons aantoon hoe soortgelyke verspreidings outomaties geïdentifiseer kan word, wat dien as 'n stap tot die dekomposisie van die lys van molekulêre orbitale wat verkry word uit meeste moderne kwantumchemieprogramme.

Die ontwikkeling van orbitaalinteraksie-diagramme dien as 'n mens-interpreteerbare uitset van FALDI-MO. Die kombinasie van die orbitaalinteraksie-diagramme met bogenoemde stelle van soortgelyke verspreidings maak deure oop vir die instelbaarheid van teiken elektroniese eienskappe. Die dieper verstaan van elektroniese strukture, verskaf deur FALDI-MO, kan rasionale ontwerpprosesse ondersteun, of selfs leiding met die gebruik van masjienleermodelle bied.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Die toksisiteit van kubusvormige anatase titaandioksied nanodeeltjies gebaseer op die pH van oplossings: 'n Gekombineerde studie met rekenaarmodellering, simulatie en eksperimentele werk

SG (Shanaaz) Witbooi¹, S Cronjé¹, M Gulumian², V Wepener², RA Harris¹

¹Departement Fisika, Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

²Water Navorsingsgroep, Eenheid vir Omgewingswetenskap en -Bestuur, Noordwes-Universiteit, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: Shanaaz Witbooi **E-pos:** shanaaz2811@gmail.com

The toxicity of cubic anatase titanium dioxide nanoparticles based on the solution pH: A combined study of computer modelling, simulation and experimental work: The toxicity of TiO₂ NPs were investigated, qualitatively and *in-silico*. This was done by considering the effect that simulated cuboidal TiO₂ NPs have on the production and/or release of free radicals when they are placed in acidic, basic and neutral substances. The qualitative simulation results were then verified with experimentally obtained data.

Een van die belangrikste nanodeeltjies (NDs) is titaandioksied (TiO₂), want dit kom in oorvloed in die natuur voor en het baie verskillende toepassings (Bayda et al., 2019). Dié toepassings lei tot verskeie blootstellingsmetodes en daarom het studies oor die toksisiteit van TiO₂ NDs met betrekking tot sy verskillende eienskappe belangrik geword. Een klassifikasie van toksisiteit van NDs is gebaseer op die produksie van reaktiewe suurstofspesies (RSS), want dit kan skade aan selle en weefsels in die liggaam veroorsaak (Matteis et al., 2016).

Onbedekte, kommersiële beskikbare TiO₂ NDs is eksperimenteel ontleed met behulp van X-straaldiffraksie (XRD) en transmissie-elektronmikroskopie (TEM) om die TiO₂-kristalliniteit en vorm- en grootteverspreidings, onderskeidelik te bevestig. Die eksperimenteel bepaalde verspreiding is dan rekenaarmatig gesimuleer met behulp van 'n Monte-Carlo, gesimuleerde uitgloeiskema. Verskillende konsentrasies van protone (H⁺) en hidroksiele (OH⁻) in 'n wateroplossing is ook gesimuleer, wat verskillende pH-waardes van 4–10 verteenwoordig. Dit is geadsorbeer op die kubusvormige anataseverspreiding om die verandering in pH as gevolg van die teenwoordigheid van hierdie NDs te bepaal. Die bindingsenergieë vir elke sisteem is deur middel van molekulêre dinamika met behulp van 'n universele kragveld bepaal. Hierdie modelle is geverifieer deur vergelyking met die kommersiële deeltjies se pH gebaseer op pH-toetsstrokies.

Die resultate toon dat geen verandering plaasgevind het vir die pH-waardes van 4, 5, 6 en 7 nie, wat aandui dat die H⁺ wat by die sisteem gevoeg is, in die sisteem gebly het na ND-blootstelling. Vir 'n pH van 8 was 'n 60% verandering waargeneem, wat aangedui het dat 60% van die OH⁻ wat by die sisteem gevoeg is, aan die NDs gebind het wat die oorblywende oplossing meer suur gemaak het. 'n Onstabiele bindingsenergie vir 'n pH-waarde van 8 is egter waargeneem.

Deur verder te kyk na wat gebeur tussen pH-waardes 7 en 8 is bepaal dat stabiele bindings by 'n pH van 7.2 met 'n 100%-verandering gevorm word. Dit het aangedui dat al die OH⁻ wat by die sisteem gevoeg was, aan die NDs gebind het. Die pH van die oorblywende oplossing was dus beïnvloed, want dit het al die OH⁻ verloor en was dus meer neutraal. Hierdie resultaat is deur die fisiese pH-toets bevestig.

Met rekenaarsimulasies is dit dus getoon dat die pH van 'n wateroplossing direk deur die teenwoordigheid van onbedekte, kubusvormige TiO₂ NDs beïnvloed word. Verder is bepaal dat bindingsenergie as 'n beskrywer gebruik kan word, want dit is hier gebruik om vas te stel eerstens of OH⁻ of H⁺ aan die NDs sal bind en tweedens hoe stabiel hierdie bindings sal wees. Hierdie navorsing het geslaag in die doel om berekeningsmodellering en simulaties met fisiese eksperimentering te kombineer.

Bibliografie

Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., Rizzolio, F., 2019, The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine, *Molecules* 25(1), 112. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>.

Matteis, V.D., Cascione, M., Brunetti, V., Toma, C.C., Rin, R., 2016, Toxicity assessment of anatase and rutile titanium dioxide nanoparticles: The role of degradation in different pH conditions and light exposure, *Toxicology in Vitro* 37, 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.09.010>.

Nota: 'n Seleksie van referaatopsommings: Studentesimposium in die Natuurwetenskappe, 30-31 Oktober 2024, Universiteit van die Vrystaat. Reëlingskomitee: Prof Rudi Pretorius (Departement Geografie, Universiteit van Suid-Afrika); Dr Hertzog Bisset (Suid-Afrikaanse Kernenergie-korporasie); Dr Ernie Langner (Departement Chemie, Universiteit van die Vrystaat); Dr Wynand Nel (Departement Rekenaarwetenskap en Informatika, Universiteit van die Vrystaat) en Prof Liesl van As (Departement Dierkunde en Entomologie, Universiteit van die Vrystaat).

Inligting vir Outeurs en Lesers

Oorsig, doelwitte en gehoor

Die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie (SATNT)* is 'n oop toegang, portuurbeoordeelde tydskrif wat manuskripte in Afrikaans aanlyn en aan die einde van elke jaar as gedrukte kopie publiseer. Die *SATNT* het ook 'n Engelse titel, *The South African Journal of Science and Technology* en outeurs mag ook manuskripte in Engels aanbied. Die Engelse manuskripte sal slegs aanlyn gepubliseer word. Engelse manuskripte sal in Afrikaans vertaal word deur Afrikaanssprekende outeurs. Hulp sal verleen word aan outeurs wat nie Afrikaans magtig is nie.

Authors who do not understand Afrikaans should visit the English portal of the SATNT website at <https://www.akademie.co.za/projekte/vaktydskrifte>.

Die tydskrif publiseer navorsing in die wye veld van die natuurwetenskappe. Die doel van die tydskrif is om die uitruil van wetenskaplik-gefundeerde inligting te versprei en te fasiliteer. 'n Tweede doel is die uitbou van Afrikaanse wetenskaplike vaktaal en om navorsers die geleentheid te gee om in Afrikaans te publiseer.

Alle artikels, wat deur die *SATNT* gepubliseer word, moet aan 'n spesifieke formaat, soos in die instruksies vir skrywers uiteengesit, voldoen.

Eweknie-evalueringsproses

Alle manuskripte wat aan die *SATNT* voorgelê word, ge-evalueer deur ten minste twee keurders uit die betrokke veld.

Publikasie gereeldheid en verspreiding

Alle manuskripte wat in die *SATNT* gepubliseer is, is aanlyn beskikbaar by <https://www.akademie.co.za/projekte/vaktydskrifte>. Artikels word voortdurend, sodra dit vir publikasie gereed is, op hierdie webtuiste gepubliseer. Sodoende poog die *SATNT* om die publikasieproses, vanaf indiening van die manuskrip tot die beskikbaarstelling van die artikel, te bespoedig. Die aanlyn weergawe van die tydskrif is in die vorm van 'n oop-toeganklike publikasie. Die gedrukte kopieë word aan die intekenaars gestuur. Kontak ons asseblief by finansies@akademie.co.za om in te teken.

Gids vir voorbereiding en voorlegging van manuskrip

Alle manuskripte wat aanlyn by <https://www.akademie.co.za/projekte/vaktydskrifte> ingedien word. Besoek <https://www.akademie.co.za/projekte/vaktydskrifte> en klik op 'New Submission'. Indien u alreeds as gebruiker geregistreer is, kan u by die tydskrif se webtuiste inteken om met die voorleggingsproses voort te gaan. Indien u egter nog nie as gebruiker geregistreer het nie, moet u asseblief eers registreer om voort te kan gaan.

Voltooi al die vereiste veldde. Dit is belangrik om die 'Author' blokkie te merk om u in staat te stel om manuskripte op te laai. (U kan ook as 'n eweknie-evalueerder geregistreer.) Teken met u gebruikersnaam en wagwoord in en volg die stappe om u manuskrip op te laai.

Die tydskrif beskik oor 'n volledige stel riglyne vir outeurs wat noukeurig gevolg moet word voordat 'n manuskrip vir evaluasie voorgelê kan word. Hou asseblief in gedagte dat die leserspubliek wyer as die betrokke dissipline strek. Oorsigartikels (gewoonlik nie langer as 6000 woorde nie) is baie welkom. Outeurs word aangeraai om eers die Hoofredakteur te kontak voordat 'n oorsigartikel voorberei word. Die oorsigartikel moet verslag doen oor belangrike en insiggewende verwikkelinge in 'n afdeling van die wetenskap en aanbevelings maak vir verdere navorsing om die geïdentifiseerde gapings aan te spreek.

Verwysing

Die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* (afgekort as *SATNT*) word gemerk en gewaarmerk as *SATNT*. Amptelik word na die tydskrif as die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* verwys.

Kopiereg

Die outeur(s) behou kopiereg op gepubliseerde artikels. Hierdie publikasie is ingevolge die *Creative Commons Attribution*-lisensie gelisensieer. Alle pogings is aangewend om die belange van die kopiereghouer te beskerm. Indien kopiereg onopsetlik oortree is, bied die uitgewer verskoning aan. Daar word verder onderneem om, sonder enige versuim, 'n regstelling te publiseer indien hierdie uitgawe herdruk sou word.

Verspreiding en Indeksering

Die volledige teks van elke artikel word onmiddellik en permanent ná publikasie in die *SATNT* in die argiewe van die volgende groot bibliografiese databasisse gestoor:

- Thomson Reuters Web of Science Other Coverage, BIOSIS Previews
- EBSCO Host
- GALE, CENGAGE Learning
- Google Scholar
- ProQuest
- Norwegian Register for Scientific Journals, Series and Publishers, Level 1
- Portico
- AOSIS Library
- SA ePublications, Sabinet
- South African Government Libraries

Akkreditering

Die *SATNT* is gedurende 2022 vanaf die Departement van Hoër Onderwys en Opleiding (DHOO) se lys van vaktydskrifte verwyder as gevolg van administratiewe inligting wat nie deur die *Directory of Open Access Journals (DOAJ)* op ons webblad gevind kon word nie. Die tydskrif is daarom in die proses om 'n splinternuwe webtuiste te ontwikkel wat teen die middel van 2026 beskikbaar sal wees. Sodra hierdie webblad afgehandel is sal die *SATNT* aansoek doen vir herakkreditasie by beide die *DOAJ* en die DHOO. Ten spyte hiervan word navorsingsresultate wat in die *SATNT* gepubliseer word nog steeds op verskeie ander professionele platforms versprei.



'n Publikasie van: Die Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns

Geborg deur: Hiemstra Trust

<http://www.akademie.co.za>

Erkenning aan evalueerders

Die redaksionele span van die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* erken hiermee die waardevolle, belangrike rol wat eweknie-evalueerders tydens die algehele publikasiesproses vervul – nie alleen in die vorming van individuele manuskripte nie, maar ook in die vestiging van die kredietwaardigheid en aansien van ons joernaal. Ons is daartoe verbind om alle oorspronklike, innoverende bydraes, wat vir publikasie aanvaar word, tydig te publiseer. Daarom is die identifisering en keuse van kundige evalueerders, met belangstelling in die onderwerpe wat deur elke manuskrip gedek word, 'n onontbeerlike element om 'n tydige, produktiewe eweknie-evalueringsproses te verseker.

Ons wil graag van hierdie geleentheid gebruik maak om die volgende evalueerders vir hulle bydrae tot die vorming van hierdie uitgawe van die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* te bedank:

Moreen Coetzee
Dirk CU Conradie
Pierre Davis
Cecile Duvenhage
Heidi Fourie
MJ Grobler
André Hauptfleisch
Marthinus Heystek
Jeremy Hollmann
Leon Hugo
Jannie Hugo
Pieter Kruger
Marena Manley

Johan Markram
Corné Meintjes
Anmar Pretorius
Henk Pretorius
Chris Roth
Martinus Scheepers
Sarah Skorpens
Cornie Van Sittert
Anton van Vollenhoven
Christo Venter
Andrew Way
Charl Wolhuter

Ons waardeer u tyd en bydrae tot die suksesvolle evaluasie van die artikels.

In 'n poging om die keuse van geskikte eweknie-evalueerders vir die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* te vergemaklik, versoek ons u om 'n oomblik af te staan om u elektroniese portfolio by <http://www.satnt.ac.za> op datum te bring. Dit sal ons in staat stel om u belangstellingsveld en kundigheid beter te takseer sodat die voorgelêde manuskripte aan die geskikste eweknie-evalueerders toegeken kan word. Indien u belangstel om 'n evalueerder te word, word u versoek om die tydskrif se webwerf te besoek om as evalueerder te registreer. Om toegang tot u besonderhede op die webwerf te verkry, moet die volgende stappe gevolg word:

1. Teken vir die aanlynjoernaal in by:
<https://www.akademie.co.za/projekte/vaktydskrifte>

2. Kies in u 'user home' [<http://www.satnt.ac.za/index.php/satnt/user>] 'edit my profile' onder die opskrif 'my account' en tik alle relevante besonderhede, bio-verklaring en evalueringsbelangstellings in.

Dit is goeie evalueerderspraktyk om u persoonlike besonderhede gereeld op datum te bring om te verseker dat ons gedurende u termyn as evalueerder vir die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* met u in aanraking kan kom. Moet asseblief nie huiwer om ons te kontak vir verdere navrae nie.

Uitgewer:
Medpharm Publikasies
info@medpharm.co.za
Tel: +27 12 664 7460



Doel van die SA Akademie

Die Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns – oorspronklik *De Zuid-Afrikaanse Akademie voor Taal, Letteren en Kunst* – is in 1909 gestig. Destyds was die doel om na die ontwikkeling van die Nederlandse (insluitende die Afrikaanse) taal, letterkunde, kuns, geskiedenis en oudheidkunde in Suid-Afrika om te sien en om leiding in hierdie sfere te gee. Vandag is die Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns 'n multidissiplinêre organisasie.

Missie en doelstellings van die SA Akademie

Die missie en algemene doelstellings van die Akademie is die bevordering van die wetenskap, die tegnologie en die literatuur in Afrikaans en die kunste, asook die bevordering van die gebruik en die gehalte van Afrikaans, primêr binne Suid-Afrika. Voorts behels dit ook die lewering van diens aan die samelewing. Hierdie multidissiplinêre organisasie wat die belange van alle Suid-Afrikaners wil dien, streef na uitnemendheid, billikheid, hoë wetenskaplike, morele en demokratiese waardes.

Aktiwiteite van die SA Akademie

Binne die raamwerk van sy missie en doelstellings ondersoek die Akademie deurlopend aktuele sake van openbare belang, neem standpunt in, en tree adviserend, fasiliterend en meningsvormend in sake van nasionale belang op.

Meer inligting is beskikbaar by www.akademie.co.za

Oop toegang by www.akademie.co.za/projekte/vaktydskrifte