

Bedreig antropogeniese omgewingsveranderinge grondbiodiversiteit?

Authors:

Adriaan J. Reinecke¹ and
Sophia A. Reinecke²

Affiliations:

Departement of Plant-en
Dierkunde, Universiteit van
Stellenbosch, Suid-Afrika

Corresponding authors:

Adriaan J. Reinecke
¹ ajr@sun.ac.za
Sophia A. Reinecke
² sar@sun.ac.za

Dates:

Received: 11 May 2018
Accepted: 20 August 2018
Published:

How to cite this article:

Adriaan J. Reinecke and
Sophia A. Reinecke,
Bedreig antropogeniese
omgewingsveranderinge
grondbiodiversiteit?,
*Suid-Afrikaanse Tydskrif
vir Natuurwetenskap en
Tegnologie* 37(1)

Copyright:

© 2018. Authors.
Licensee: *Die Suid-
Afrikaanse Akademie vir
Wetenskap en Kuns*. This
work is licensed under
the Creative Commons
Attribution License.

Grond is 'n diensverskaffende bate wat onder toenemende druk verkeer maar is ook die tuiste van 'n menigte grondlewende spesies wat bykans alle terrestriële dierfilums insluit. Die uitwerking van verandering as gevolg van menslike aktiwiteite op die groot inheemse biodiversiteit in die grond is grootliks onbekend in die meeste dele van die wêreld ten spyte van die feit dat grondorganismes 'n belangrike rol speel in fisiese, chemiese en biologiese prosesse. 'n Literatuursoektog is onderneem wat toon dat baie reeds geskryf is oor die uitwerking van globale omgewingsveranderinge op natuurlike en bestuurde terrestriële ekosistels, maar minder as 3% van die gepubliseerde vakliteratuur in ekologiese joernale handel oor grondlewende organismes en prosesse. Min hiervan fokus op die drywers van transformasie soos die stygende CO₂ vlakke, verwarming, besoedeling, grondgebruik en veranderde reënvalpatrone met betrekking tot die grond se voedingswebbe wat die basis vorm van die mens se voedselproduksie.

In hierdie oorsig lig ons uit en ondersoek die belangrikste drywers van omgewingsverandering wat 'n invloed uitoefen op grondekosistels en 'n bedreiging mag inhou vir grondbiodiversiteit en prosesse. Die beskikbare getuienis van veranderinge, hulle oorsake en moontlike implikasies word nagegaan in 'n poging om leemtes en navorsingsbehoefte te identifiseer.

Getuienis word meer dat die toename in onder andere grondgebruik, verstedeliking, die fisiese en chemiese impak van mynbou en ander industriële aktiwiteite, die grondbewerking van giftige afval en indringing van uitheemse spesies ook die grondomgewing en sy bewoners nadelig raak. Daar is egter baie ruimte vir navorsing omdat kennis van die omvang en aard sowel as die langtermyn gevolge nog nodig is. Baie getuienis is gebaseer op assosiasie eerder as om oorsaaklikheid tussen die veranderinge en die gevolge te bevestig.

'n Beter begrip van die grondbiodiversiteit se rol is nodig om die omgewingsrisikos wat die veranderinge inhou betroubaar te kan beoordeel sodat doelwitte van volhoubaarheid en bewaring van biodiversiteit kan realiseer.

Is soil biodiversity threatened by anthropogenic environmental changes? Soil is a service providing asset under growing pressure but it is also home to an array of soil-dwelling species encompassing virtually all terrestrial invertebrate phyla. The impact human-induced change is having on the rich endemic soil biodiversity in many parts of the world is hardly known in spite of the fact that they play an important role in soils where they can influence chemical, physical and biological processes. Our literature search showed that although much has been written on the influence of global environmental changes on natural and managed terrestrial ecosystems, less than 3% of articles published in ecological journals dealt with belowground organisms or processes. Very few of these address the drivers of transformation such as rising CO₂ levels, warming, land use, pollution and changing precipitation in relation to the very soil food webs underpinning human food production.

In this review we highlight some of the main drivers of environmental change that are evidently impacting on soil ecosystems and posing a threat to soil biodiversity and processes. We examined the available evidence of such changes, their causes and possible impacts. We conclude that the evidence is mounting that growth of land use, increase in build-up areas, physical and chemical impact of mining and other industrial activities. Landfarming of toxic wastes, invasion of exotic species and shrub encroachment are also transforming the soil environment with consequences for soil biodiversity. The extent severity of this impact and its long term implications are not always very clear because much of the evidence is based on association rather than causation. A better understanding of the diversity and its role is needed before the environmental risks can be assessed reliably and goals of sustainability and conservation of soil biodiversity can be realised.

Keywords: soil biodiversity; environmental changes; effects

Inleiding

Natuurlike grond huisves 'n ryk biodiversiteit van grondorganismes en in sommige gebiede is daar selfs 'n ryke verskeidenheid van endemiese soorte teenwoordig (Hendrix & Bohlen 2002; Janion-Scheepers et al 2016). Alhoewel baie spesies grondorganismes vir bykans twee eeue taksonomies beskryf is, is ons kennis van hulle ekologiese rolle, hulle bestaansvereistes en ekofisiologie nog baie skraps. Ons weet min van hulle verdraagsaamheid vir verandering in omgewingsfaktore. Kennis hiervan sal in die toekoms toenemend belangriker word soos wat omgewingstoestande verander as gevolg van klimaats- en ander veranderinge. Grond is 'n diensverskaffer wat onder groeiende druk verkeer (vdM Louw et al 2014). Dit bied 'n tuiste vir veral grondlewende, ongewerwede (invertebraat) spesies wat feitlik alle filums van die terrestriële invertebrate insluit. Die meso- en makrofauna sluit 'n verskeidenheid van bewoners van sowel die ondergrondse- as die boonste strooisellaag in, soos insekte, myte, honderdpote, duisendpote, isopode, fluweelwurms, slakke, erdwurms, rondewurms en verskeie ander. Tesame met mikro-organismes (Botha 2011) speel hierdie diere 'n belangrike rol in grondekostelsels (Lavelle et al 1997; Lavelle et al 2006; Wall en Virginia 2000;) waar hulle vir grondvrugbaarheid en grondvorming onontbeerlik is. Nogtans kry groter diere en die ewe aanskoulike, bogrondse arthropode (geleedpotiges) gewoonlik die meeste aandag terwyl die (in Charles Darwin se woorde) eenvoudige, ondergrondse diere en mikro-organismes minder wetenskaplike aandag geniet. Dit ten spyte van hulle verskeidenheid en belangrikheid in grondprosesse. Veral makro-invertebrate het 'n groot impak op grondfunksies soos byvoorbeeld belugting, dreinerings en humifikasie (Lavelle et al 2006) en beïnvloed chemiese, fisiese en biologiese prosesse. Daarbenewens is hulle waarskynlik ook die beste indikatore van grondkwaliteit.

Hoewel die bewaring van biodiversiteit tans baie aandag geniet, word invertebrate, wat sowat 95 % van die biodiversiteit verteenwoordig, gewoonlik uitgesluit (Hamer & Slotow 2002) en veral die ondergrondse bewoners. Dit word dikwels aanvaar dat planttipes en plantdiversiteitspatrone ook die onderliggende diversiteit van die invertebrata voldoende weerspieël (Hamer en Slotow 2002) maar die werklike getuienis daarvoor is min. In groot dele van die wêreld ontbreek gegewens oor springsterte, myte, rondewurms, erdwurms en vele ander en is die nodige kundigheid ook skraps sodat die grondlewende invertebrata verwaarloos is.

Meer en meer getuienis is besig om na vore te kom oor moontlike onomkeerbare veranderinge in die struktuur en funksie van terrestriële ekostelsels as gevolg van beide menslike aktiwiteite en natuurlike veranderinge. Dit is veral opmerklik in die planteryk (O'Connor et al 2014) waar biologiese indringing goed opgeteken is en bruikbare voorspellingsmodelle ontwikkel is (Higgins en Richardson 1998) maar wat nie die ondergrondse diere se rol insluit nie.

Alle terrestriële ekostelsels bestaan uit sowel bogrondse as ondergrondse komponente wat met mekaar in wisselwerking is om prosesse en eienskappe op gemeenskaps- en ekostelselvlak te beïnvloed. Hierdie noue skakeling gaan ook gepaard met 'n groot mate van spesifisiteit tussen plante en grondorganismes (Wardle et al 2004). 'n Benadering wat beide bogrondse en ondergrondse aspekte in ag neem, is dus nodig om 'n beter begrip te verkry van die regulerende en funksionele rol van biodiversiteit in ekostelsels.

Verskeie veranderinge wat die mens teweeg bring, affekteer die bogrondse komponente direk en op 'n duidelik sigbare wyse maar tot watter mate, indien wel, word die ondergrondse biota en hulle funksies bedreig en getransformeer? Wat is die onmiddellike en langdurige impak van menslike aktiwiteite soos byvoorbeeld die inbring van vreemde spesies, mynaktiwiteite, landbewerkinge en chemiese besoedeling op lewe in die grond? Die onmiddellike gevolge is oënskynlik vanselfsprekend, maar bestaan daar goeie wetenskaplike getuienis wat die werklike impak kousaal met bepaalde oorsake kan verbind? Wat weet ons van die langtermyn, evolusionêre impak van hierdie veranderinge op grondorganismes?

In hierdie oorsig fokus ons op die rol van die belangrikste drywers van verandering wat op die terrestriële ekostelsels impakteer, met spesifieke aandag aan die beskikbare kennis oor effekte op die grondlewende biota in suidelike Afrika. 'n Literatuursoektog is onderneem om vas te stel of die beskikbare gronddierkundige inligting die vraag aanspreek of daar betekenisvolle en betroubare getuienis bestaan van groot omgewingsveranderinge, hulle oorsake en resulterende gevolge vir grondbiodiversiteit. Die oogmerk was ook om navorsingsbehoefte te identifiseer en uit te wys watter, indien enige, omgewingsveranderinge meer noulettende aandag van gronddierkundiges verdien.

Die hoof drywers van verandering wat grondbiota kan bedreig

Grondgebruik en habitattransformasie

Die wyse waarop grond gebruik en bestuur word, kan 'n groot impak uitoefen op die grondfauna (Baker 1998). Landbou-aktiwiteit het 'n groot impak op grond deur middel van chemiese en organiese toevoegings. Ook meganiese grondbewerking of die afwesigheid daarvan en grondkompaktering (Beylich et al 2010), winderosie, en versouting (Rengasamy 2006) speel 'n rol. Van Capelle et al (2012) het aangetoon dat die impak van meganiese bewerking vir sekere funksionele gronddiergroepe kan verskil en afhang van lokale grondeienskappe wat in ag geneem moet word by die keuse van die bewerkingsmetode. Intensiewe grondgebruik verminder die diversiteit en volopheid van verskeie grondbiota (De Vries et al 2013) en beïnvloed gevolglik grondprosesse en ekostelseldienste waarby die organismes betrokke is. Laasgenoemde outeurs het oor vier Europese lande met kontrasterende klimaats- en grondkondisies met behulp van kwantitatiewe gegewens

aangetoon hoe verskillende gebruikstelsels verskil in die voedselwebsamestelling in die grond veroorsaak wat hulle funksionering en ekostelseldienste raak. Hulle bevindings oor die bydrae van grondorganismes in die verskillende geografiese gebiede bevestig dat grondbiota ingesluit moet word in C en N sikleringmodelle en beklemtoon die noodsaaklikheid dat die biodiversiteit van grond wêreldwyd gekarteer en bewaar moet word indien volhoubaarheid die oogmerk is.

Die belangrike rol van bestuurspraktyke en grondgebruik is beklemtoon deur die onlangse gevolgtrekkings van Mugerwa (2015) dat verlies aan termiet predatore en antropogeniese invloede die belangrikste drywers is van die destruktiewe gedrag van ondergrondse termiete wat die funksionering en volhoubaarheid van sekere savanna ekostelsels in Afrika bedreig. Die outeur skryf dit toe aan onvanpaste bestuurspraktyke (oorbeweiding, oormatige jag, afkap van bome) deur die mens sodat die voedingsgroepe samestelling van die termietgemeenskap gewysig word tot voordeel van die grasversamelende en polifage termiete wat op die volop voedselitems voed.

Weinig ongerepte gebiede is oor waar grond nog nie op een of ander wyse geraak is deur grondbewerking of ander grondgebruik nie. In baie dele van die wêreld het die landbou en bosbou oor honderde jare deur gewasverbouing en die vestiging van weiding 'n grootskaalse transformasie te weeg gebring wat in terme van die samestelling van die flora en fauna en grondtoestande totaal ander kenmerke het (Biggs en Scholes 2002). Aansienlike verskil in die rykheid, volopheid en diversiteit van invertebrate in die algemeen is reeds sigbaar tussen onbelemmerde bewaringsgebiede en gebiede waar die veranderinge reeds plaasgevind het (Gebeyehu en Samways 2002; Witt en Samways 2004). Hoewel die meeste studies met oppervlaklewende en detristusbewonende arthropode gedoen is, en nie met ondergrondse organismes nie, het Dlamini en Haynes (2004) tot die gevolgtrekking gekom dat grondgebruik 'n groot impak het op die grootte, samestelling en diversiteit van erdwurmgemeenskappe.

Daniels en Van Wyk (2011) het die krities-bedreigde fluweelwurmspesie *Opisthopatus roseus*, endemies in die Ngele misgordelwoud in Suid-Afrika bestudeer waar die spesie se habitat ernstig beïnvloed is deur menslike aktiwiteite soos die afkap van inheemse bome, padkonstruksie, kommersiële houtplantasies en die inbring van vreemde plantspesies. Dit het habitat fragmentasie tot gevolg gehad en moontlike verkleining van die verspreidingsomvang van die spesie.

Sommige van die langsdurende ekologiese eksperimente (Van Wilgen et al. 2003) het belangrike insigte gebring oor die rol van bestuursbenaderings m.b.t. grondgebruik in bewaringsgebiede om grootskaalse transformasies te weeg te bring. Seymour en Dean (1999) het invertebrate op 'n intensief beweide kommunale plaas met 'n matig beweide plaas vergelyk en aangetoon dat organismes in groter getalle voorgekom het op die intensief beweide lokaliteite

terwyl spesierikheid hoër was op die matig beweide gebiede. Oor grondlewende invertebrate soos erdwurms en rondewurms met sagte liggame (sonder eksoskelette) is egter nie gerapporteer nie.

In die lig van die belangrikheid van die bogrond-ondergrond skakel tussen die grondfauna en die plantegroei kan op redelike gronde vermoed word dat drastiese effekte van grondgebruik op die plantegroei ook op die grondfauna sal impakteer. Tydens 'n assessering van die gevoeligheid of kwesbaarheid van planttipes in Suid-Afrika het Jonas et al (2006) die druk van verskeie grondgebruik soos onder andere bebossing, mynpotensiaal en bevolkingsgroei in ag geneem en beslis dat 19 tipes plantegroei uit honderde krities bedreig word. Ekostelselfunksionering is ontstig deur habitattransformasie. Hoe dit met die diversiteit van die betrokke grondfauna en hulle aktiwiteite in verband staan is bespreek nie en verteenwoordig 'n duidelike gaping in ons kennis oor die uitwerking van hierdie tipe veranderinge.

'n Moontlike toekomstige werkswyse is deur Cluzeau et al (2012) in 109 lokaliteite in Frankryk gedemonstreer wat getoon het dat die meeste van die grondlewende groepe (uitgesonderd die Collembola) se getalle en spesierikheid laer was onder gewasverbouing as in die weivelde. Hierdie studie het die eerste, omvattende verwysingsbasis vir grondbiologiese gegewens in Frankryk verskaf wat sowel die mikroflora as die fauna insluit. Dit het die potensiaal om in die toekoms gebruik te word vir die kalibrasie van navorsingsresultate en om basislynwaardes te ontwikkel vir die assessering van die status van grondbiodiversiteit onder verskillende bestuurspraktyke. Die vergelyking van gegewens oor grondfauna met die gekarteerde plantegroeitipes kan waardevolle insigte bied om die uitwerking van transformasie in grondgebruik op grondbiodiversiteit te verstaan.

Grondgebruikspraktyke kan ook 'n positiewe uitwerking hê op grondbiodiversiteit soos deur Sileshi en Mafongoya (2007) in Zambië aangetoon is waar beide die kwantiteit en kwaliteit van organiese toevoegings belangrik was vir die instandhouding van 'n diverse makrofauna in mielielande. Ook besproeiing, deklaagbewerking en organiese boerderypraktyke in gebiede wat voorheen droog was, kan gunstige vogtoestande skep vir grondlewende spesies. Reinecke et al (2008) het met die aas lamina toetse bevind dat die aktiwiteit van grondorganismes in wingerde verskillend beïnvloed is deur verskillende bestuurpraktyke. Organiese praktyke het op die korttermyn tot hoër voedingsaktiwiteit van organismes en dus groter getalle gelei in vergelyking met konvensionele praktyke. Die kwantifisering van sulke resultate oor die langer termyn is egter nodig. Met die oog op volhoubare grondbewerking in 'n veranderende wêreld mag die konsep van grondekologiese manipulasie (Bender et al 2016) dus belofte inhou, maar in verskeie gebiede kan dit nouliks suksesvol geïmplementeer word sonder 'n basiese kennis van die diversiteit en rol van grondorganismes in grondprosesse.

In gebiede wat fisies versteur is deur myn- en landbouaktiwiteite kan grondorganismes ook 'n belangrike rol speel in die restourasieproses volgens Jouquet et al (2014) maar dit het tot dusver beperkte aandag geniet as restoureerders (Gerlach et al 2013) en afbrekers van landbewerkte afval (Reinecke et al 2015; 2016a; 2016b). Verpligte detritivore soos erdwurms, duisendpote en isopode is wel in sommige lande vir restourasie gebruik en ook as indikatore van omgewingsveranderinge (Gerlach et al 2013; Snyder en Hendrix 2008).

Vuur as drywer van verandering

Groot dele van die wêreld se terrestriële ekosistels brand gereeld en dit het oor miljoene jare gebeur (Bond en Keeley 2005). Die vroeëre studies van Abbott (1984) en Ahlgren (1974) oor die korttermyn-effekte van bosbrande op die grondfauna is nie later uitgebrei om ook grasvelde in te sluit nie, waar natuurlike en voorgeskrewe brande 'n algemene verskynsel is. Die mate waartoe brande globale plantgroeipatrone bepaal deur te voorkom dat ekosistels hulle potensiële hoogtepunt, biomassa en dominante funksionele tipes bereik onder heersende klimaatstoestande, is deur Bond et al (2005) aangetoon.

Dit word algemeen aanvaar dat vuur 'n betekenisvolle evolusionêre krag uitoefen en 'n sleutelrol speel in ekologiese prosesse. Dit het 'n groot invloed op insekte (Parr et al 2004; Swengel 2001). Collett et al (1993) het aangetoon dat voorgeskrewe, lae-intensiteit brand die aktiwiteit van Collembola in die bodem vir 'n jaar lank kan verlaag terwyl erdwurmbevolkings se getalle ook aansienlik gedaal het maar binne drie jaar na 'n brand weer herstel het. Inligting oor die langtermyn effekte van vuur op die grondlewende invertebrata se diversiteit ontbreek meestal ten spyte van verskeie vroeëre studies oor die uitwerking van vuur (Parr en Chown 2003; Uys en Hamer 2007) as 'n bestuursmiddel op ander invertebrata. Abbott (1984) het bevind dat hoewel sommige taksons binne drie jaar hulle bevolkingsdigtheid herwin na 'n brand met 'n vuur van gematigde intensiteit in die Jarrah woud in Australië terwyl die volopheid en aktiwiteite van drie ander taksons steeds laag gebly het.

Dit is belangrik om daarop te let dat die bevindinge van die meeste studies slegs op direkte waarnemings sonder kontroles gebaseer is terwyl slegs enkele op eksperimentele veldwerk met grondlewende invertebrata gedoen is. Die impak van veldbrande op biodiversiteit en produktiwiteit is oor 'n geruime tyd in suidelike Afrika bestudeer (Bond en Keeley 2005; Van Wilgen et al 1990; Van Wilgen 2009). Vuur verander die strukturele diversiteit van bome terwyl miere se samestelling beïnvloed word as 'n gebied gebrand het en nie deur die spesifieke kenmerke van die brandmetode nie (Parr en Chown 2003; Parr et al. 2004). Sileshi en Mafongoya (2006) se veldnavorsing in Zambië toon dat diversiteit en volopheid van verskeie hoofgroepe van grondlewende invertebrata laer is in gebrande woudele as in dié wat nie gebrand het nie. Hulle het bevind dat vuur wel die struktuur van grondlewende invertebrata-gemeenskappe kan verander

deur direkte mortaliteit of deur die uitwerking daarvan op beskikbaarheid van voedselbronne. Ietwat verskillende bevindinge is deur Uys en Hamer (2007) gemaak nadat hulle die impak van verskillende brandmetodes (frekwensie van brande en verskillende seisoene) en die brandgeskiedenis op invertebrata se spesieriktheid en volopheid ondersoek het. Die spesieriktheid was deurgaans die hoogste in blokke wat in die herfs gebrand het, en hoër vir tweejaarlikse brande of twee jaar sedert die laaste brand. Dit was die geval by epigeiese, gevlerkte en vlerklose invertebrata, maar nie by grondlewende invertebrata nie, wat weinig reaksie op die vuur getoon het. Dit is duidelik dat meer langtermyn veldstudies nodig is, veral in grasvelde en savannas, om die uitwerking op bevolkings en versamelings van erdwurms, myte, kollembola, isopode en verskeie ander invertebrata-groepe te verstaan. Die vraag oor die herstelvermoë, veral oor die lang termyn, van grondfauna in gevalle waar die plantegroei verander het as gevolg van vuur, is dus nog nie na behore beantwoord nie. Sodanige inligting sal kan bydra om toekomstige brandbestuurstrategieë te ontwikkel wat die bewaring van die grondfauna en die rol wat hulle speel in grondvrugbaarheid en grondvorming in ag sal neem (Lavelle et al 2006; Wall en Virginia 2000). 'n Gebrek aan kundigheid oor die taksonomie van baie van die diergroepe is wel 'n probleem maar daar is, veral in suidelike Afrika in die lig van die frekwensie van natuurlike en bestuurde veldbrande, geen gebrek aan geleentede vir navorsing hieroor nie.

Verandering as gevolg van chemikalieë wat in grond beland

Chemiese stowwe vir gewasbeskerming en plaag- en vektorbeheer

Baie aandag is veral sedert die sestigerjare van die vorige eeu bestee om die impak van veral mensgemaakte chemiese stowwe in die grond te verstaan, maar steeds is die laaste woord nog nie gespreek nie. Is dit 'n belangrike drywer van verandering wat besig is om die grondomgewing onomkeerbaar te verander? Hoewel goeie vooruitgang in baie lande gemaak is om strenger beheer uit te oefen oor hoeveel van watter stowwe in die omgewing vrygelaat word deur landbou en industriële aktiwiteite, verskaf ekotoksikologiese navorsing steeds rede tot kommer oor veral nuwe mensgemaakte chemikalieë en farmaseutiese produkte soos antibiotika, maar ook plastiek en nanopartikels (Schoultz-Wilson et al 2011; Wang et al 2013).

Verskillende soorte chemikalieë wat gerig is op plantvoeding en beskerming van oeste teen plaeg- en onkruidgewasse beland in die grond. Selfs besproeiing van gewasse kan lei tot versouting van grond met skadelike gevolge vir die grondfauna (Owojori et al 2009).

Plaagbeheer sowel as beheer oor vektore van verskeie parasitiese siektes soos malaria en bilharzia maak van groot hoeveelhede chemikalieë gebruik terwyl mynaktiwiteite en die vervaardigingsbedryf afval genereer wat mengsels van chemiese stowwe bevat en dikwels in die omgewing beland.

Onder die organiese stowwe wat in die omgewing beland, is die gewraakte persisterende organiese besoedelstowwe (sogenaamde POP's) steeds kommerwekkend (Fiedler 2008) omdat die opbou daarvan in die verskillende omgewingskompartemente soos biota, vetweefsel, water, sedimente en grondtipes baie kan varieer. Universele kriteria oor toelaatbaarheid en toksisiteit kan dus moeilik neergelê word.

Grondekotoksikologiese navorsing, in teenstelling met die akwatiese vakgebied, het relatief min aandag geniet sedert die verskyning van Rachel Carson se welbekende boek *Silent Spring* wat die wêreld se aandag op die probleem van omgewingsbesoedeling gevestig het. 'n Literatuursoektog het gewys dat geen grondekotoksikologiese studies vir doeleindes van voldoening aan regulatoriese vereistes in verskeie lande in Afrika gedoen is nie en dat die lande skynbaar volledig staatmaak op bevindinge in Europa en die VSA waar omgewingstoestande grootliks verskillend is (Eijsackers et al 2017).

Suid-Afrika was en is waarskynlik steeds die grootste verbruiker van plaagmiddels in sub-Sahara lande in Afrika (Dalvie et al 2003) met meer as 500 geregistreerde aktiewe bestanddele. Plaagmiddels beland meestal ook in die grond en water as gevolg van windgedrewe sproeidrywing en ook deur waterafloop (Dabrowski et al 2002; Reinecke en Reinecke 2007) en bykans die helfte daarvan is organofosfate wat ontwerp is om biologies aktief te wees en gevolglik die potensiaal het om negatiewe effekte te hê op nie-teikenorganismes. Hoewel hulle veronderstel is om 'n relatief kort halfleeftyd te hê, sal die afbreek daarvan egter afhang van werklike omgewingstoestande wat baie kan varieer. Ten spyte daarvan dat omgewingsriglyne selde oorskry word by die gebruik daarvan, mag dit nie die geval wees vir grond in spesifieke gebiede waar malariabeheer plaasvind nie (Van Dyk et al 2010). Die stel van algemene riglyne of limiete mag van beperkte waarde wees (Reinecke en Reinecke 2010) weens die kompleksiteit en heterogeniteit van die grondomgewing wat boonop ook aan ander veranderinge (soos klimaat) onderworpe is. Die veranderlikheid van omgewingstoestande soos chemiese, fisiese, mikrobiologiese en teksturele faktore kan die mobiliteit van chemikalieë wat in die grondmatriks geadsorbeer is, verander, en gevolglik die biobesikbaarheid en opname daarvan deur organismes beïnvloed. Ragnarsdottir (2000) meen dat organofosfate vir lang tye in die omgewing kan bly jare nadat dit gebruik is. Reinecke en Reinecke (2007) het ses maande na die laaste bespuiting steeds organofosfate in wingerdgrond gevind en gevind dat die plaagmiddels deur die wind van landerye na naburige natuurlike gebiede kan versprei waar die voordelige makrofauna in die grond nadelig ge-aftekeer kan word. Die navorsers het betekenisvol laer bevolkingsdigthede van erdwurms in vrugteboorde gevind waar organofosfate gespuit is in teenstelling met aangrensende onbewerkte grond.

Ook swamdoders (fungisiede) kan 'n negatiewe uitwerking hê op nuttige gronddiere. Koperbevattende stowwe is besonder giftig. Maboeta et al (2002, 2003) het die uitwerking van die swamdoder koperoksichloried, wat wyd gebruik word, op natuurlike bevolkings van 'n uitheemse erdwurm (*Aporrectodea caliginosa*) en 'n inheemse spesie (*Microcheatus* sp) ondersoek en wurmdigheid, biomassa en 'n biomerker gebruik om veranderinge oor tyd te monitor teenoor koperkonsentrasies in die wurms en in die grond. Beide spesies is nadelig geraak maar die inheemse spesie was meer sensitief en het vroeër skade getoon as die uitheemse spesie. Meer as 'n jaar nadat die bespuiting gestaak is, was die bevolkingsgetalle steeds betekenisvol laer as die aangrensende kontrole. Die belangrike vraag wat nog beantwoord moet word, is wat die langtermyn, gereelde bespuiting met die middel op die oorlewing van die bevolkings sal hê.

Chemiese stowwe en grondbewerking van afval

Afgesien van landbouchemikalieë beland baie organiese en anorganiese verbindings in die grond en grondwater via stortingssterreine (Daso et al 2013) en as gevolg van die grondbewerking van slijk uit olieraffinaderye (Reinecke et al 2016a). Die spesifieke chemiese bedreigings wat dit vir grondorganismes en grondprosesse inhou is moeilik te onderskei omdat die afval normaalweg uit mengsels van verskeie stowwe in variërende verhoudings bestaan, afhangende van die bron. Die risiko is moeilik bepaalbaar omdat die hoeveelhede en moontlike wisselwerking tussen chemikalieë nie bekend is nie, al is die toksisiteit van individuele stowwe wel bekend.

Land- of grondbewerking van slijk word as 'n laetegnologiese, maar koste-effektiewe metode beskou om soliede afval in grond te hanteer en te remedieer. Hoewel dit nog dikwels gebruik word, word die volhoubaarheid daarvan bevestig (Reinecke et al. 2016a) omdat dit groot grondgebied vereis en tydrowend is en boonop die risiko inhou van grond- en grondwaterbesoedeling (Hu en Zeng 2013). Die totale oppervlak wat vir grondbewerking van afval gebruik word, is nie bekend nie maar is waarskynlik heelwat minder as dit wat vir myn- en huishoudelike afval gebruik word. Weens die gevaarlike aard van die spesifieke chemikalieë is hulle teenwoordigheid in die omgewing steeds kommerwekkend.

Die besoedelstowwe in olieslik wat aan grondbewerking onderwerp word, is giftig vir mikroorganismes en verskeie ander grondlewende invertebrate soos myte, erdwurms, springsterre en potwurms wat as nuttig bestempel kan word en in "gesonde" gronde voorkom (Wahl et al. 2012). Die konsentrasies van elemente soos Al, Mn, Pb, S en Zn is hoër in grond waar bewerking met slijk oor verskeie jare plaasgevind het as wat dit in die slijk self voorkom. Dit dui daarop dat akkumulering of opbouing oor tyd in die grond plaasgevind het en 'n bedreiging vir grondorganismes kan inhou (Reinecke et al. 2016a; 2016b). Die werklike risiko wat die praktyk van grondbewerking van slijk inhou vir

die grondekostelsel is onseker solank as die omvang van die praktyk nie deeglik ondersoek word en wetenskaplike assesseringsmetodes en moniteringstelsels in plek gestel word nie. Hoewel sommige van die aanbevelings van Cortet et al (1999) oor die rol van grondorganismes as indikatore van besoedeling al opgevolg is, kan met redelike sekerheid aanvaar word dat chemiese besoedelstowwe 'n blywende teenwoordigheid in grond het en as drywer van verandering sal optree. Dit kan oor die langer termyn ernstige implikasies vir grondorganismes en hulle funksionele rolle inhou.

Mynbou en industriële aktiwiteite as agense van verandering

Mynbou speel 'n belangrike rol in die ekonomie van verskeie lande soos Australië, Suid-Afrika, Rusland, Zambië, Zimbabwe en vele ander waar beide fisiese en chemiese impak op ekosistels duidelik is (Rösner en Van Schalkwyk 2000).

Die besoedeling van grond met metale en sure as gevolg van myn- en industriële aktiwiteite kom toenemend onder die publieke se aandag. Navorsing deur Ikenaka et al (2010) het gewys dat swaarmetaalbesoedeling in Zambië steeds toeneem. Die goudmynbedryf in Suid-Afrika het oor dekades enorme hoeveelhede besoedelde uitskot in sliksdamme en groterwordende mynhope gedeponeer. Gebrekkige bestuur van sommige sliksdamme het reeds tot lekkasies gelei wat die kwaliteit van grond- sowel as oppervlaktwater benadeel (Roesner en Van Schalkwyk 2000). Die impak hiervan op grondlewende organismes is nog nie indringend bestudeer nie maar Van Coller-Myburgh et al (2014) het met ensiematiese ontledings en erdwurmresponse die nadelige uitwerking van afval van 'n chroommyn op die aktiwiteit van grondmikrobe en erdwurms bepaal. Maboeta en Fouche (2014) het met behulp van bioassesserings die impak van koper ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) in grond by 'n koperproduksieaanleg op erdwurms bepaal. Die myn van Cu, Pb en Zn veroorsaak volgens Dudka en Adriano (1997) groot skade aan die omgewing en produseer baie afval en uitskot sodat grondbesoedeling met spoormetale 'n ernstige probleem is.

Pogings om mynhope te rehabiliteer het tot dusver gemengde sukses opgelewer en verskeie mynhope in Suid-Afrika is in verskillende stadiums van beplanting. Dit bied 'n ideale geleentheid om verskillende tydsintervalle van plantvestiging te bestudeer en suksesie in sowel plante as die vordering van hervestiging van die grondfauna gelyktydig te bestudeer. Dit kan oor 'n kort periode inligting verskaf oor opeenvolgende veranderinge wat andersins dekades sou duur om waar te neem.

Gegewe die groot omvang van mynaktiwiteite in verskeie lande en die toekomstige planne om steenkoolontginning na ongerepte natuurgebiede uit te brei asook hidro-uliëse breking vir olie te onderneem, is dit uit 'n grondbiologiese en bewaringsoogpunt noodsaaklik dat risiko-

assesseringsmetodes en prosedures ook met die biodiversiteit van grond rekening moet hou.

Biologiese indringing as drywer van verandering

Meeste studies oor die uitwerking van indringerplante fokus op werweldiere en ander bogrondse organismes maar indringerplante kan ook grondlewende invertebrate beïnvloed. Inheemse plante bind grond, behou vog en voorkom erosie maar uitheemse plante kan hierdie funksies versteur en selfs die grondchemie verskillend beïnvloed. Pryke en Samways. (2009) het die response van invertebrate in uitheemse denneplantasies ondersoek en met natuurlike plantegroei, herstellende inheemse woude en 'n botaniese tuin vergelyk en hulle data dui daarop dat verwydering van uitheemse denne in 'n stedelike opset gewens is. Hulle meen ook dat botaniese tuine met inheemse plante voordelig kan wees vir die bewaring van invertebrate. Laasgenoemde bevinding sal vermoedelik ook kan geld vir die grondlewende invertebrate maar moet nog proefondervindelik vasgestel word.

Die wye omvang van indringing deur houtagtige gewasse in die savannas van Afrika verander koolstof- en stikstofreserwes oor die langer termyn met moontlike streks of wyer biogeochemiese gevolge (Hudak et al 2003). Dit sal ook grondtoestande beïnvloed wat weer tot veranderinge in die spesiesamestelling van grondorganismes kan lei, veral as die toestande meer geskik is vir uitheemse spesies. Volgens Wolfe en Klironomos (2005) kan die immigrasie van plantspesies in nuwe habitate die funksies van voedselwebbe in die grond verander deur (i) die kwantiteit, kwaliteit en tydsberkening van strooiselinsette en rhizo-neerlegging te verander; (ii) veroorsaking van die vrystelling van nuwe antimikrobiële verbindings, (iii) verandering van nutriëntverhoudings deur die inbring van ander maniere van nutriëntverkryging, of (iv) verandering van grondstruktuur en fisiese eienskappe.

Dit is ook reeds bekend dat uitheemse plante die verspreiding en sukses van verskeie voordelige sowel as plantpatogeniese swamme kan wysig deur die vrystelling van toksiene in die grond. Hulle kan ook die patrone van ontbinding verander weens die gewysigde kwaliteit van die strooisel of detritus (Van der Putten et al. 2009).

Die inbring van uitheemse, grondlewende organismes het oor die verloop van tyd in baie lande plaasgevind soos byvoorbeeld die VSA (Hendrix en Bohlen 2002; Hendrix et al 2008), Australië (Baker et al 2006) en Suid-Afrika (Haynes et al 2003; Ljungström 1972; Plisko 2001, Plisko 2010; Reinecke 1983; Reinecke en Visser 1980), ook miere (Prins 1978; Skaife 1955; Witt en Gilliom 2004), termiete (Mitchell 2002), isopode (houtluise) (Dangerfield en Telford 1994; 1995) en kollebole (springsterte) (Janion-Scheepers et al 2015). Die patroon is baie dieselfde vir verskeie ander lande waarheen mense gegaan het of handel dryf. Die vraag wat hierdie uitheemse spesies aan die inheemse biodiversiteit in suidelike Afrika doen en of hulle as egte indringers beskou

moet word, is nog nie ten volle beantwoord vir alle spesies nie. Die indringerbiologie van die meeste grondlewende invertebrate is nog nie indringend bestudeer nie (Ehrenfeld en Scott 2001), veral omdat daar op terrestriese invertebrate gefokus is wat ekonomies belangrike plaagorganismes is en hulle die vermoë het om, weens hulle mobiliteit en voortplantingvermoë, baie vinnig oor groot gebiede te versprei (Simberloff 1989).

Menslike migrasie en handel oor baie eeue is waarskynlik die belangrikste meganisme vir die inbring van vreemde spesies in nuwe gebiede, ook wat erdwurms betref (Gates 1967; Hendrix en Bohlen 2002; Reinecke 1983). Die inbring van uitheemse spesies is soms toevallig, byvoorbeeld saam met potplante of kan doelbewus ingebring word soos wat reeds met baie indringerplante en -diere in Suid-Afrika gebeur het. Uitheemse erdwurmspesies is ingebring om as visaa's vir hengelaars of as komposteerdere vir organiese afvalverwerking te dien. Of die uitheemse spesies as egte indringers beskou moet word wat ander spesies verdring, uitkompeteer of ander nadelige effekte op die omgewing het, sal afhang van hulle inherente vermoëns om onder plaaslike toestande te oorleef en voort te plant. Ook hulle wisselwerking met ander spesies sal 'n rol speel.

Indringing deur meer kriptiese en minder beweeglike grondorganismes blyk kwantitatief en kwalitatief te verskil van baie ander invertebraatspesies (Hendrix en Bohlen 2002) weens hulle beperkte mobiliteit, maar hulle teenwoordigheid in ander omgewings bevestig die rol wat die mens speel om hulle na verafgeleë gebiede te vervoer. Sommige erdwurmspesies het die vermoë om in te dring en as hulle eers gevestig is, kan hulle ander spesies sowel as grondeienskappe affekteer (Dalby et al. 1998, Hale et al. 2006). Die erdwurms *Pontoscolex corethrus* en *Aporrectodea trapezoides* en sommige *Amyntas* spesies is uitheemse wurms wat redelik wydverspreid in versteurde grond in Suid-Afrika voorkom en moontlik 'n indringerrol speel.

Gates (1967) meld 'n geval waar die uitheemse erdwurm *Lumbricus terrestris* in die VSA grondhorisonne redelik diep uitgewis het. Betekenisvolle effekte is ook op grondprofile, op die dinamika van nutriënt- en organiese materiaal, op ander grondorganismes en op plantgemeenskappe (Graham en Wood 1991) in die VSA en Nieu-Seeland (Stockdill 1982) gerapporteer. Verskeie erdwurmspesies van die families Lumbricidae en Megascolecidae floreer in Suid-Afrikaanse tuine en landbougrond waar gunstige toestande bestaan of deur besproeiing geskep is.

Hoe dit gebeur dat uitheemse spesies 'n dominante rol in die grond van sommige ekosisteme kan verkry, word lank reeds gedebatteer (Stebbins 1962). In Suid-Afrika wil dit voorkom asof uitheemse erdwurmspesies meestal in ekosisteme gevind word wat voorheen sonder erdwurms was (Ljungström 1972; Reinecke en Ljungström 1969) of in versteurde gebiede (Reinecke en Visser 1980) waar die inheemse spesies deur landbou aktiwiteite en bosbou

benadeel is. Geen direkte getuies van kompeterende uitskakeling van inheemse erdwurms deur uitheemse spesies is nog beskikbaar nie (Hendrix en Bohlen 2002) maar dit mag wees weens 'n gebrek aan gegewens. In sowel Suid-Afrika (Reinecke en Visser 1980) en Indië (Narayanan et al 2016) is daar aanduidings dat die uitheemse spesies meer robuust is in gevalle waar landbou aktiwiteite meganiese en/of chemiese versteuring tot gevolg het. Die belangrikste meganisme wat die uitskakeling van inheemse erdwurmbevolkings betref, mag dus eerder habitatverandering as direkte kompetisie wees. Die relatiewe rolle van die twee faktore vereis verdere ondersoek. Die besproeiing van gewasse bevoordeel skynbaar ook die vestiging van uitheemse spesies wat meer dikwels in die tipe landerye gevind word.

Die moontlikheid bestaan dat die verskynsel van biotiese weerstand (Williamson en Fitter 1996) in die geval van erdwurmindringing kan verklaar waarom sommige inheemse spesies in staat is om hulself te handhaaf ten spyte van die teenwoordigheid van uitheemse spesies. Dit moet egter deur vergelykende fisiologiese eksperimente ondersoek word met die in agneming van die rol wat klimaatsveranderinge gaan speel om die toleransieomvang van spesies uit te daag en hulle verspreidingsgebiede te beïnvloed.

Horn et al (2007) het 'n kwalitatiewe opname gemaak van die erdwurms van die strooisellaag in 11 inheemse woude in Suid-Afrika en 5 inheemse en 12 uitheemse spesies gevind. Die bevinding is kommerwekkend genoeg om verdere ondersoek te regverdig al het hulle geen getuies gevind van enige assosiasie tussen die spesierykheid van in- en uitheemse spesies nie. Hulle waarsku teen 'n aanname dat daar geen impak van uitheemse spesies op die ekosisteme se produktiwiteit is nie. Langtermyn kwantitatiewe veldstudies is nodig om hierop lig te werp. Sommige uitheemse erdwurmspesies, soos *Pontoscolex corethrus*, vertoon 'n wye omvang van omgewingsplastisiteit in hulle natuurlike habitat en hulle sal meer suksesvol as indringers kan wees as spesies met meer beperkende omgewingsvereistes (Williamson en Fitter 1996). *P. corethrus* se opvallende aanwesigheid in verskeie ongerepte oostelike dele van suidelike Afrika (Plisko 2001) bevestig sy aanpasbaarheid. Die gedagte dat sommige Europese Lumbricidae van die noordelike halfrond en Asiatiese Megascolecidae swak koloniseerders in tropiese en subtropiese klimaatstreke is (Hendrix en Bohlen 2002), is moontlik ook op gebiede in Suid-Afrika van toepassing waar verskeie van die spesies ingebring is, maar hulle voorkoms en verspreiding is skynbaar relatief laag in natuurgebiede terwyl hulle floreer in versteurde grond.

Van die wurms wat ingevoer is vir vermikompostering soos *Eisenia fetida*, *E. andrei*, (uit Europe) *Perionyx excavatus* (uit Asië) en *Eudrilus eugeniae* (uit Wes-Afrika), kom die eersgenoemde twee soms in geïsoleerde, organies-verrykte tuinhabitats voor waar toestande baie gunstig is in terme van voginhoud, organiese voedselbeskikbaarheid en matige

temperatuur. Geen rekords is tot dusver aangeteken van hierdie spesies in natuurlike grondgebiede in Suid-Afrika nie. Reinecke et al (1992) het die temperatuurvereistes van die spesies bestudeer en meen dat daar slegs enkele suidelike en oostelike kusgebiede van Suid-Afrika is waar die twee tropiese spesies (*P. excavatus* en *E. eugeniae*) in staat behoort te wees om die lae temperature in die natuur te oorleef, mits ook aan hulle ander lewensvereistes voldoen word. Hulle potensiaal om indringers te wees, inheemse spesies uit te kompeteer en grondprosesse te versteur behoort baie laag te wees in die meeste ander dele van die land waar minimum temperature ver benede die spesies se onderste perk van temperatuurtoleransie val. Dieselfde kan egter nie van alle ingevoerde, epigeise spesies uit Asië gesê word nie vir die eenvoudige rede dat hulle habitatsvereistes en toleransieperke onbekend is. 'n Deeglike ondersoek na die impak van uitheemse grondlewende spesies op die inheemse biodiversiteit bied dus steeds 'n groot uitdaging.

Verstedeliking as drywer van verandering in die grond

Die aarde se oppervlak word toenemend beset as gevolg van groterwordende stede wat 'n reuse nuwe habitattipe skep en van die oorspronklike habitat bly slegs klein, geïsoleerde eilande en stroke oor wat nie aaneenlopend is nie (Radeloff et al. 2005, Grimm et al. 2008). Verstedeliking gaan ook gepaard met baie sekondêre aktiwiteite wat die beskikbare grond kan belas. Watter invloed het dit op ekologies-belangrike grondlewende organismes?

Soos wat landskappe meer heterogeen word en habitats al meer gefragmenteer word as gevolg van meer en breër paaie, geplaveide gebiede en gebouekomplekse, word organismes met beperkte mobiliteit en verspreidingsvermoë ingeperk. Organismes soos myte, erdwurms, springsterre en isopode verloor hulle bevolkings se onderlinge skakeling of brugverbindinge tussen geskeide elemente van die landskap in teenstelling met byvoorbeeld vlieënde organismes wat op hulle mobiliteit kan staatmaak om tussen elemente te beweeg. Indien hulle nie in staat is om hierdie hindernisse te oorkom nie word die instandhouding van geïsoleerde bevolkings, wat reeds 'n vlekverspreiding het, met verloop van tyd grootskaalse intelingsdepressie ondergaan. Die vermoë van bevolkings om te herstel na verstourings soos droogte, versouting, vuur, vloede, besoedeling en klimaatskommeling word geraak en die ekostelsel se funksies kom in gedrang. Die skep van parke en groen gebiede bied wel die oplossing van 'n beskermde gebied vir die meer mobiele invertebraatspesies maar is nie van dieselfde waarde vir die grondlewende organismes nie, wie se vermoë om te versprei baie meer beperk is.

Toekomstige stedelike ontwikkelingsprojekte behoort met die bewaring van die grondbiodiversiteit rekening te hou sodat die daarstelling van aaneenlopende "groen" gange of verbindinge tussen sulke areas deel vorm van die ontwerp.

Klimaatsverandering as drywer van verandering vir gronddiere

Klimaatsverandering (Intergovernmental Panel on Climate Change 2014) beïnvloed reeds lewensstelsels en die vooruitsigte vir sommige wêrelddele is nie rooskleurig nie. Die verwagte verdere impak op grondlewende invertebrate is onseker. Baie gegewens is wel beskikbaar oor die uitwerking van normale seisoenale verandering op grondorganismes maar die voorspellings is dat die tyd en omvang van reënval episodes mettertyd gaan verander en vir langer droogteperiodes en groter reënval gaan sorg. Die gemeenskapsamestelling en funksies van grondorganismes is gevoelig vir veranderinge in reënval. Volgens Evans & Wallenstein (2014) is dit 'n vraag of hulle hulle strategieë sal kan verander om hulle aangepastheid (Eng. fitness) te maksimeer onder gewysigde toestande, soos wat mikrobiële gemeenskappe dit doen. Toekomstige genoomnavorsing sal moet aantoon of geneties-gebaseerde aanpassing eerder as blote akklimasie plaasgevind het as gevolg van die seleksiedruk.

Dit is moeilik om alle biologiese waarneembare tendense kousaal met klimaatsveranderinge te verbind omdat ander nie-klimaatsveranderinge lokale, korttermyn biologiese veranderinge oorheers (Parmesan & Yohe 2003), maar die getuieis word algaande meer dat biologiese tendense korreleer met die voorspellings oor klimaatsveranderinge. Die mate waartoe die fauna reageer op klimaatsveranderinge is nie goed gedokumenteer nie en word nie roetinematig in bewaringsbeplanning van streke ingesluit nie (Erasmus et al 2002). Dit is ook waar vir grondlewende organismes. Erasmus et al (2002) het die verwagte veranderinge in die voorkoms/verspreidingsomvang van 'n verteenwoordigende groep van 179 dierspesies gemodelleer teenoor klimaatsverandering wat met die verdubbeling van CO₂ konsentrasies en 'n verwagte gemiddelde temperatuurstyging van 2°C. gepaard gaan. Die model het, behalwe werweldiere, ook 19 skoenlapperspesies en 57 "ander" spesies (insluitende termiete, mierlees en kewers) ingesluit. Hulle vooruitskattings suggereer dat die bewaringsgebied van die Nasionale Krugerwildtuin in Suid-Afrika tot 66% van die spesies wat in die ontleding ingesluit is, kan verloor. Dit dui op die erns waarmee klimaatsverandering bejeën moet word as dit beteken dat spesies se toleransie omvange oorskry word en hulle moet aanpas of uitwyk en hulle verspreidingsgebied wysig. Daar is duidelik 'n konflik tussen bewaring enersyds en die wyses waarop die omgewing benut word andersyds (en sou bydra tot klimaatsverandering). Die konflik kan toeneem soos wat die uitwerking van klimaatsverandering sou toeneem en meer sigbaar word.

Die posisie van die ware grondlewende invertebrate met sagte liggame en die uitwerking van 'n komplekse stel van transformerende omgewingsfaktore het nog weinig aandag geniet in die konteks van stygende atmosferiese CO₂ konsentrasies en temperature. Sticht et al (2006) is

van oordeel dat verwag kan word dat dit 'n groot impak sal hê op koolstof se omset in landbou-ekostelsels deur die toename in die fotosintese koerse van plante wat weer tot 'n toename in biomassa sal lei asook wyer C/N verhoudings in plante. Hierdie outeurs se resultate toon betekenisvolle effekte van CO₂ verryking op die digtheid en spesieriktheid van kollembale. Die verwagting van Kriticos et al (2003) is dat stygende CO₂ konsentrasievlakke met gepaargaande verwarming en veranderde reënvalpatrone die frekwensie van plantindringing sal laat toeneem. Soos reeds aangetoon sal dit ook 'n uitwerking op die grondlewende organismes hê. Weens die verskeidenheid van klimaatstreke vanaf gematigd tot aried en semi-woestyn tot tropies, moet veralgemenings oor die uitwerking van 'n enkele drywer van verandering met groot versigtigheid en genoegsame getuienis gemaak word. Hoe die verwagte veranderinge die grondekostelsel sal raak, bly 'n groot uitdaging vir grondbioloë. Navorsing oor die rol van antropogeniese aktiwiteite kan deur middel van ambisieuse moniteringsprogramme gedoen word maar sal 'n goed gekoördineerde en interdisiplinêre benadering vereis wat alle vorms van lewe in ag moet neem vanaf die molekulêre tot die gemeenskapsvlak, sowel bo as onder die grond.

Aardverwarming kan enersyds die aktiwiteit van mikrobiële grondgemeenskappe verhoog en andersyds die samestelling van plantgemeenskappe verander. Dit kan gevolglik die grondgemeenskappe wysig omdat dit hulle energievoorsiening affekteer. Kardol et al (2010) het dit eksperimenteel gedemonstreer deur veldeksperimente met plante en rondewurms (nematode) uit te voer. Hulle het tot die gevolgtrekking gekom dat akkurate bepalinge van die impak van klimaatsveranderinge op organismes en funksionering van die grondekostelsel die insluiting van gelyklopende veranderinge in die plantgemeenskap se samestelling en funksionering sal vereis, wat vermoedelik die direkte impak van atmosferiese en klimaatsverandering op funksionering van die grondekostelsel kan wysig. Gevolglik moet hierdie indirekte effekte in ag geneem word wanneer voorspel word hoe globale veranderinge die funksionering van ekostelsel kan verander. Vanselfsprekend sal dit 'n benadering vereis wat alle fisiese, chemiese en biologiese faktore in ag moet neem en dus kundigheid oor 'n wye spektrum sal vereis.

Dit kan verwag word dat omvangryke veranderinge wat die plantegroei kan verander, indirekte en selfs direkte effekte op die ondergrondse funksies sal hê. Pritchard (2011) meen dat die uitwerking van indirekte effekte van aardverwarming selfs groter kan wees op individuele grondbewonende spesies omdat dit sommige plantspesies meer as ander kan bevoordeel. Indien plantgemeenskappe drasties verander, sal die hoeveelheid en kwaliteit van organiese materiaal wat vanaf plante in die grond beland ook verander. Ook Wardle et al (2004) meen dat hierdie veranderinge in die samestelling van plantgemeenskappe belangriker kan wees vir grondorganismes as die direkte effekte van aardverwarming

Indien die uitwerking van klimaatsverandering op die grondfauna wel so negatief sou wees soos wat vir ander spesies voorspel word (Erasmus et al 2002), sal die verlies van hierdie belangrike komponent van 'n gebied se biodiversiteit ernstiger gevolge inhou as wat algemeen besef word omdat dit in verskeie opsigte 'n fundamentele dienslewingsrol speel.

Samevatting en gevolgtrekkings

Die omgewingsliteratuur in die breë toon dat die mens se impak op die natuurlike omgewing en sy ekostelsels ernstige afmetings aanneem. Verskeie drywers van verandering is ge-identifiseer wat besig is om ook die terrestriële omgewing se ekostelsels te wysig en die verwagting is dat dit ook 'n groot impak sal hê op die grondfauna. Hoewel betroubare gegewens oor die werklike impak vir sommige veranderinge skraap is, kan die verwagte omvang van die impak onder andere afgelei word uit die toename in verstedeliking, biologiese indringing, landbou, mynbou en industriële aktiwiteite. Die meer spesifieke impak en implikasies vir die verskillende ekostelseldienste wat met grond verband hou, sal meer volledig uitgepluis moet word, veral met betrekking tot die wisselwerking tussen bogrondse en ondergrondse komponente van terrestriële ekostelsels. Dit kan op redelike gronde aanvaar word dat die transformasie wat in sommige gevalle reeds plaasgevind het, sodanig is dat die ideaal om hulle te rehabiliteer en terug te bring na die hipotetiese sogenaamde "oorspronklike toestand" in die meeste gevalle slegs 'n onvervulde droom sal bly. Die rede daarvoor is dat die veranderinge, aangevuur deur menslike aktiwiteite, onverpoosd voortgaan en oor die lang duur in elk geval tot onomkeerbare veranderinge behoort te lei omdat die biota daarop reageer en selfs aanpassing kan ondergaan weens die seleksiedruk wat uitgeoefen word.

Die bewaring en volhoubare benutting van grondfauna is afhanklik van kennis van hulle diversiteit en ekologiese rolle sowel as kennis van die bedreigings wat ervaar word en hoe hulle daarop reageer. Hieronder en sonder toegespitste, langtermynprotokolle wat daarop gebaseer is, sal die keuse van taksons as indikatore van antropogeniese impak op die biologiese omgewing van beperkte waarde wees (McGeogh 1998).

Sommige navorsers is van oordeel dat voedselwebbe in die grond redelik weerstandig teen omgewingsveranderinge behoort te wees weens hulle veerkragtigheid en die verskynsel van oortolligheid (weens die teenwoordigheid van so baie funksionele groepe) (Briones et al. 2009; Laakso en Setälä, 1999). Dit mag egter meer ingewikkeld wees as wat vermoed word. Daar mag wel kompensasie deur ander groepe grondorganismes wees (Hunt & Wall, 2002; Briones et al 2009) om die funksies van ge-afekteerdes oor te neem, afhangende van faktore soos toleransie omvange van spesies en die trofiese vlakke wat beset word. Die getuienis vir hierdie aanname uit die beskikbare literatuur

is egter beperk en verskaf beide positiewe (Sticht et al 2006) en negatiewe getuienis, afhange van die kombinasies van omgewingsfaktore en die taksons wat betrokke is. Omgewingsfaktore tree meestal in kombinasie met ander op sodat eenduidige oorsake van waargenome tendense selde afgelei kan word.

Uit hierdie oorsig van die beskikbare gegewens het dit ook geblyk dat meeste van die bevindings oor die verhoudings tussen effekte en hulle vermeende oorsake op direkte waarnemings gebaseer is. Dit mag soms korrelasies verskaf, wat nuttig is, maar verteenwoordig slegs assosiasies sonder dat oorsaaklikheid aangetoon is. Sonder gekontroleerde eksperimentele resultate, wat natuurlik nie altyd moontlik is nie weens ruimtelike en temporale beperkinge, kan kousaliteit tussen die waargenome effekte en omgewingsveranderinge nie betroubaar bevestig word nie. Versigtige interpretasie en 'n multi-disiplinêre benadering (Brevik et al 2015) is noodsaaklik sodat alarmistiese uitsprake oor risiko's nie gemaak word nie. Hierdie studie het bevestig dat die uitwerking van antropogeniese veranderinge op die biodiversiteit van grond meer aandag verdien, nie slegs in terme van die korttermyn ekologiese implikasies nie maar ook in 'n langtermyn, evolusionêre konteks.

Erkenning

Die finansiële ondersteuning van die Universiteit van Stellenbosch en die Nasionale Navorsingstigting (NRF) word met dank erken. Menings en gevolgtrekking hierin is uitsluitlik deur die outeurs. Hierdie publikasie word opgedra aan die nagedagtes van prof. PAJ Ryke wat in die vyftigerjare van die vorige eeu die leiding geneem het op Potchefstroom om grondreukundige en akarologiese navorsing in Suid-Afrika te stimuleer.

Outeurs se aandeel

Die literatuurstudie is deur beide outeurs onderneem en geïnterpreteer en die eerste outeur (AJR) het die manuskrip geskryf wat deur die tweede outeur (SAR) gekontroleer en versorg is.

Literatuurverwysings

- Abbott, I., 1984. Changes in the abundance and activity of certain soil and litter fauna in the Jarrah forest of Western Australia after a moderate intensity fire. *Soil Research* 22 (4), 463-469.
- Ahlgren, I.F., 1974. The effect of fire on soil organisms. *Fire and Ecosystems*, 2459, 47.
- Baker, G.H., 1998. Recognising and responding to the influences of agriculture and other land-use practices on soil fauna in Australia. *Applied Soil Ecology* 9 (1), 303-310.
- Baker, G.H., Brown, G., Butt, K., Curry, J.P., Scullion, J., 2006. Introduced earthworms in agricultural and reclaimed land: their ecology and influences on soil properties, plant production and other soil biota., in: *Biological Invasions Belowground: Earthworms as Invasive Species* (pp. 101-116). Springer Netherlands.
- Bender, S.F., Wagg, C., van der Heijden, M.G., 2016. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution* 31 (6), 440-452.
- Beylich, A., Oberholzer, H.R., Schrader, S., Höper, H., Wilke, B.M., 2010. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. *Soil and Tillage Research* 109 (2), 133-143.
- Biggs, R., Scholes, R.J., 2002. Land-cover changes in South Africa 1911-1993: research in action. *South African Journal of Science* 98 (9-10), 420-424.
- Bond, W.J., Keeley, J.E. 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20(7), 387-394.
- Bond, W.J., Woodward, F.I., Midgley, G.F., 2005. The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist* 165 (2), 525-538.
- Botha, A., 2010. The importance and ecology of yeasts in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 1-8.
- Brevik, E.C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J.N., Six, J., Van Oost, K., 2015. The interdisciplinary nature of soil. *Soil* 1(1), 117.
- Briones, M.J.I., Ostle, N.J., McNamara, N.P., Poskitt, J., 2009. Functional shifts of grassland soil communities in response to soil warming. *Soil Biology and Biochemistry* 41 (2), 315-322.
- Cluzeau, D., Guernion, M., Chaussod, R., Martin-Laurent, F., Villenave, C., Cortet, J., Ruiz-Camacho, N., Perrin, C., Maitelle, T., Philippot, L., Bellido, A., 2012. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *European Journal of Soil Biology* 49, 63-72.
- Collett, N.G., Neumann, F.G., Tolhurst, K.G., 1993. Effects of two short rotation prescribed fires in spring on surface-active arthropods and earthworms in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria. *Australian Forestry* 56 (1), 49-60.
- Cortet, J., Gomot-De Vaulery, A., Poinot-Balaguer, N., Gomot, L., Texier, C., Cluzeau, D., 1999. The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *European Journal of Soil Biology* 35 (3), 115-134.
- Dabrowski, J.M., Peall, S.K.C., Reinecke, A.J., Liess, M., Schulz, R., 2002. Runoff-related pesticide input into the Lourens River, South Africa: basic data for exposure assessment and risk mitigation at the catchment scale. *Water, Air, & Soil Pollution* 135 (1), 265-283.
- Dalby, P.R., Baker, G.H., Smith, S.E., 1998. Competition and cocoon consumption by the earthworm *Aporrectodea longa*. *Applied Soil Ecology* 10 (1), 127-136.
- Dalvie, M.A., Cairncross, E., Solomon, A., London, L., 2003. Contamination of rural surface and ground water by endosulfan in farming areas of the Western Cape, South Africa. *Environmental Health* 2 (1), 1.
- Dangerfield, J.M., Telford, S.R., 1995. Tactics of reproduction and reproductive allocation in four species of woodlice from southern Africa. *Journal of Tropical Ecology* 11, 641-649.
- Dangerfield, J.M., Telford, S.R. 1994. Population size structure and sex ratios in some woodlice (Crustacea: Oniscidae) from southern Africa. *Journal of Tropical Ecology* 10, 261-271.
- Daniels, S. R., Van Wyk, J. H. 2011. Genetic variation in the Critically Endangered velvet worm *Opisthopatus roseus* (Onychophora: Peripatopsidae). *African Zoology* 46(2), 419-424.
- Daso, A.P., Fatoki, O.S., Odendaal, J.P., Olujimi, O.O., 2013. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and 2, 2', 4, 4', 5, 5'-hexabromobiphenyl (BB-153) in landfill leachate in Cape Town, South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment* 185 (1), 431-439.
- Dlamini, T. C., Haynes, R. J. (2004). Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Applied Soil Ecology* 27 (1), 77-88.
- De Vries, F.T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M.A., Bjørnlund, L., Jørgensen, H.B., Brady, M.V., Christensen, S., de Ruiter, P.C., d'Hertefeldt, T., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (35), 14296-14301.
- Dudka, S., Adriano, D.C., 1997. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. *Journal of Environmental Quality* 26(3), 590-602.
- Erasmus, B. F., Van Jaarsveld, A. S., Chown, S. L., Kshatriya, M., Wessels, K. J. 2002. Vulnerability of South African animal taxa to climate change. *Global Change Biology* 8 (7), 679-693.
- Ehrenfeld, J. G., Scott, N., 2001. Invasive Species and the Soil: Effects on organisms and Ecosystem Processes. *Ecological Applications* 11, 1259-1260.
- Eijsackers, H., Reinecke, A., Reinecke, S., Maboeta, M., 2017. Threatened southern African soils: A need for appropriate ecotoxicological risk assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 63, 128-135.
- Evans, S.E., Wallenstein, M.D., 2014. Climate change alters ecological strategies of soil bacteria. *Ecology Letters* 17 (2), 155-164.
- Fiedler, H., 2008. Stockholm convention on POPs: obligations and implementation. *The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment*. 3-12.
- Gates, G.E., 1967. On the earthworm fauna of the Great American Desert and adjacent areas. *The Great Basin Naturalist*, 27(3), 142-176.
- Gebeyehu, S., Samways, M.J., 2002. Grasshopper assemblage response to a restored national park (Mountain Zebra National Park, South Africa). *Biodiversity and Conservation* 11 (2), 283-304.

- Gerlach, J., Samways, M., Pryke, J., 2013. Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation* 17, 831-850.
- Graham, R.C., Wood, H.B., 1991. Morphologic development and clay redistribution in lysimeter soils under chaparral and pine. *Soil Science Society of America Journal* 55 (6), 1638-1646.
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., Briggs, J.M., 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319 (5864), 756-760.
- Hale, C.M., Frelich, L.E., Reich, P.B., 2006. Changes in hardwood forest understory plant communities in response to European earthworm invasions. *Ecology* 87 (7), 1637-1649.
- Hamer, M. L., Slotow, R. H., 2002. Conservation application of existing data for South African millipedes (Diplopoda). *African Entomology* 10 (1), 29.
- Haynes, R. J., Dominy, C. S., Graham, M. H., 2003. Effect of agricultural land use on soil organic matter status and the composition of earthworm communities in KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95 (2), 453-464.
- Hendrix, P. F., Bohlen, P. J., 2002. Exotic Earthworm Invasions in North America: Ecological and Policy Implications. *Bioscience* 52 (9), 801-811.
- Hendrix, P. F., Callahan Jr, M. A., Drake, J. M., Huang, C. Y., James, S. W., Snyder, B. A., Zhang, W. 2008. Pandora's box contained bait: the global problem of introduced earthworms. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 593-613.
- Higgins, S.J., Richardson, D.M., 1998. Pine invasions in the southern hemisphere: modelling interactions between organism, environment and disturbance *Plant Ecology* 135, 79-93.
- Horn, J. L., Plisko, J.D., Hamer, M. L., Griffiths, C. L., 2007. The leaf-litter earthworm fauna (Annelida: Oligochaeta) of forests in Limpopo Province, South Africa: diversity, communities and conservation. *African Zoology* 42 (2), 172-179.
- Hu, G., Li, J., Zeng, G., 2013. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: a review. *Journal of Hazardous Materials* 61, 470-490.
- Hudak, A. T., Wessman, C. A., Seastedt, T. R. 2003. Woody overstorey effects on soil carbon and nitrogen pools in South African savanna. *Australian Ecology* 28 (2), 173-181.
- Hunt, H.W., Wall, D.H., 2002. Modelling the effects of loss of soil biodiversity on ecosystem function. *Global Change Biology* 8 (1), 33-50.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. *Climate Change 2014—Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press.
- Ikenaka, Y., Nakayama, S.M., Muzandu, K., Choongo, K., Teraoka, H., Mizuno, N., Ishizuka, M., 2010. Heavy metal contamination of soil and sediment in Zambia. *African Journal of Environmental Science and Technology* 4 (11), 729-739.
- Janion-Scheepers, C., Deharveng, L., Bedos, A., Chown, S.L., 2015. Updated list of Collembola species currently recorded from South Africa. *Zoo Keys* 503, 55.
- Janion-Scheepers, C., Measey, J., Braschler, B., Chown, S.L., Coetzee, L., Colville, J.F., Dames, J., Davies, A.B., Davies, S.J., Davis, A.L., Dippenaar-Schoeman, A.S., 2016. Soil biota in a megadiverse country: Current knowledge and future research directions in South Africa. *Pedobiologia* 59 (3), 129-174.
- Jonas, Z., Rouget, M., Reyers, B., Mohamed, B., Rutherford, M.C., Mucina, L., Powrie, L.W., 2006. Vulnerability assessment of vegetation types, in Mucina, L. Rutherford, M.C. (eds.) *The vegetation of South Africa, Lesotho and Swaziland*. Strelitzia 19. South African National Biodiversity Institute, Pretoria, pp. 738-747.
- Jouquet, P., Blanchart, E., Capowicz, Y., 2014. Utilization of earthworms and termites for the restoration of ecosystem functioning. *Applied Soil Ecology* 73, 34-40.
- Kardol, P., Cregger, M. A., Company, C. E., Classen, A. T. 2010. Soil ecosystem functioning under climate change: plant species and community effects. *Ecology* 91 (3), 767-781.
- Kriticos, D.J., Sutherst, R.W., Brown, J.R., Adkins, S.W., Maywald, G.F., 2003. Climate change and the potential distribution of an invasive alien plant: *Acacia nilotica* ssp. *indica* in Australia. *Journal of Applied Ecology* 40 (1), 111-124.
- Laakso, J., Setälä, H., 1999. Sensitivity of primary production to changes in the architecture of belowground food webs. *Oikos* 1, 57-64.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P. O. W. H., Dhillon, S. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Science* 33, 159-193.
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P. Rossi, J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, 3-15.
- Ljungström, P.O., 1972. Introduced earthworms of South Africa. On their taxonomy, distribution, history of introduction and on the extermination of endemic earthworms. *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Systematik* 99, 1-81.
- Maboeta, M., Fouché, T., 2014. Utilizing an earthworm bioassay (*Eisenia andrei*) to assess a South African soil screening value with regards to effects from a copper manufacturing industry. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 93 (3), 322-326.
- Maboeta, M. S., Reinecke, S. A., Reinecke, A. J. 2002. The Relation Between Lysosomal Biomarker and Population Responses in a Field Population of *Microchaetus* sp.(Oligochaeta) Exposed to the Fungicide Copper Oxochloride. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 52 (3), 280-287.
- Maboeta, M. S., Reinecke, S. A., Reinecke, A. J. 2003. Linking lysosomal biomarker and population responses in a field population of *Aporrectodea caliginosa* (Oligochaeta) exposed to the fungicide copper oxochloride. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 56 (3), 411-418.
- McGeogh, M.A., 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews* 73, 181-201.
- Mitchell, J.D., 2002. Termites as pests of crops, forestry, rangeland and structures in southern Africa and their control. *Sociobiology* 40(1), 47-69.
- Mugerwa, S., 2015. Infestation of African savanna ecosystems by subterranean termites. *Ecological complexity*, 21, 70-77.
- Narayanan, S.P., Sathurithra, S., Christopher, G., Thomas, A., Julka, J., 2016. Current distribution of the invasive earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) after a century of its first report from Kerala state, India. *Opuscula Zoologica Instituti Zoosystematici et Oecologici Universitatis Budapestensis* 47(1).
- O'Connor, T. G., Puttick, J. R., Hoffman, M. T., 2014. Bush encroachment in southern Africa: changes and causes. *African Journal of Range & Forage Science* 31 (2), 67-88.
- Owojori, O.J., Reinecke, A.J., Voua-Otomo, P., Reinecke, S.A., 2009. Comparative study of the effects of salinity on life-cycle parameters of four soil dwelling species (*Folsomia candida*, *Enchytraeus doerjesi*, *Eisenia fetida* and *Aporrectodea caliginosa*). *Pedobiologia* 52, 351-360.
- Parmesan, C., Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37-42.
- Parr C.L., Chown, S.L., 2003. Burning issues for conservation: A critique of faunal fire research in Southern Africa. *Austral Ecology* 28, 384-395.
- Parr, C. L., Robertson, H. G., Biggs, H. C., Chown, S. L., 2004. Response of African savanna ants to long-term fire regimes. *Journal of Applied Ecology* 41 (4), 630-642.
- Plisko, J. D., 2001. Notes on the occurrence of the introduced earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) in South Africa (Oligochaeta: Glossoscolecidae). *African Invertebrates* 42, 323-334.
- Plisko, J. D., 2010. Megadrile earthworm taxa introduced to South African soils (Oligochaeta: Acanthodrilidae, Eudrilidae, Glossoscolecidae, Lumbricidae, Megascolecidae, Ocnerodrilidae). *African Invertebrates*, 51 (2), 289-312.
- Prins, A. J., 1978. Hymenoptera. In *Biogeography and Ecology of Southern Africa*. Springer Netherlands.
- Pritchard, S.G., 2011. Soil organisms and global climate change. *Plant Pathology* 60 (1), 82-99.
- Pryke, J. S., Samways, M. J., 2009. Recovery of invertebrate diversity in a rehabilitated city landscape mosaic in the heart of a biodiversity hotspot. *Landscape and Urban Planning* 93 (1), 54-62.
- Radeloff, V. C., Hammer, R.B., Stewart, S.I., Fried, J.S., Holcomb, S.S., McKeefry, J.F., 2005. The wildland-urban interface in the United States. *Ecological Applications* 15, 799-805.
- Ragnarsdottir, K.V., 2000. Environmental fate and toxicology of organophosphate pesticides. *Journal of the Geological Society* 157 (4), 859-876.
- Reinecke, A.J., 1983. The ecology of earthworms in southern Africa. In Satchel, . E. (Ed.) *Earthworm Ecology*. pp. 195-207. Springer The Netherlands.
- Reinecke, A. J., Albertus, R. M. C., Reinecke, S. A., Larink, O., Griffiths, C. L., 2008. The effects of organic and conventional management practices on feeding activity of soil organisms in vineyards. *African Zoology* 43 (1), 66-74.
- Reinecke, A.J., Reinecke, S.A., 2010. Biodiversiteit in landbougronde, volhoubare plantproduksie en beheer van plantpatogene / Biodiversity in agricultural soils, sustainable plant production and control of plant pathogens. *South African Journal for Science and Technology* 2, 77-96 / (Die Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap & Tegnologie 2, 77-96.
- Reinecke, A. J., Visser, F. A., 1980. The influence of agricultural land use practices on the population density of *Allolobophora trapezoides* and *Eisenia rosea* (Oligochaeta) in Southern Africa. *Soil Biology as Related to Land Use Practices*, EPA, and Washington, DC, 310-324.
- Reinecke, A.J., Ljungström, P.O., 1969. An ecological study of the earthworms from banks of the Mooi river in Potchefstroom, South Africa. *Pedobiologia* 9, 106-111.
- Reinecke, A.J., Viljoen, S.A., Saayman, R.J., 1992. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in southern Africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biology and Biochemistry* 24 (12), 1295-1307.

- Reinecke, S. A., Reinecke, A. J., 2007. The impact of organophosphate pesticides in orchards on earthworms in the Western Cape, South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 66(2), 244-251.
- Reinecke, A.J., Reinecke, S.A., van Wyk, M., 2016a. The suitability of potworms (Enchytraeidae) and plants to test the toxicity of oil refinery sludge. *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 35 (1), 1-11.
- Reinecke, A.J., Wyk, M., Reinecke, S.A., 2016b. The influence of soil characteristics on the toxicity of oil refinery waste for the springtail *Folsomia candida* (Collembola). *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 96 (6), 804-809.
- Reinecke, A.J., van Wyk, M., Reinecke, S.A., 2016c. Toxicity to earthworms and chemical composition of oil refinery sludge destined for landfarming. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* 25 (8), 868-881.
- Reinecke, A.J. and Visser, F.A., 1980. The influence of agricultural land use practices on the population density of *Allolobophora trapezoides* and *Eisenia rosea* (Oligochaeta) in Southern Africa. *Soil Biology as Related to Land Use Practices*. EPA Washington, DC, pp.310-324.
- Rengasamy, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany* 57(5), 1017-1023.
- Rösner, T., Van Schalkwyk, A., 2000. The environmental impact of gold mine tailings footprints in the Johannesburg region, South Africa. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 59 (2), 137-148.
- Shoultz-Wilson, W.A., Reinsch, B.C., Tsyusko, O.V., Bertsch, P.M., Lowry, G.V., Urnine, J.M., 2011. Role of particle size and soil type in toxicity of silver nanoparticles to earthworms. *Soil Science Society of America Journal* 75 (2), 365-377.
- Seymour, C.L., Dean, J.R.W., 1999. Effects of heavy grazing on invertebrate assemblages in the Succulent Karoo, South Africa. *Journal of Arid Environments* 43, 267-286.
- Sileshi, G., Mafongoya, P.L., 2006. The Short-term Impact of Forest Fire on Soil Invertebrates in the Miombo. *Biodiversity & Conservation* 15, 3153-3160.
- Sileshi, G., Mafongoya, P.L., 2007. Quantity and quality of organic inputs from coppicing leguminous trees influence abundance of soil macrofauna in maize crops in eastern Zambia. *Biology and Fertility of Soils* 43 (3), 333-340.
- Simberloff, D., 1989. Which insect introductions succeed and which fail. *Biological Invasions: a Global Perspective*. 37, 61-75.
- Skaife, S. H., 1955. The Argentine Ant: *Iridomyrmex humilis* Mayr. *Transactions of the Royal Society of South Africa* 34 (3), 355-377.
- Snyder, B.A., Hendrix, P.F., 2008. Current and Potential Roles of Soil Macroinvertebrates (Earthworms, Millipedes, and Isopods) in ecological restoration. *Restoration Ecology* 16, 629-634.
- Stebbins, J.H., 1962. Endemic-exotic earthworm competition in the American Midwest. *Nature*, 196 (4857), 905-906.
- Sticht, C., Schrader, S., Giesemann, A., Weigel, H.J., 2006. Effects of elevated atmospheric CO₂ and N fertilization on abundance, diversity and C-isotopic signature of collembolan communities in arable soil. *Applied Soil Ecology* 34 (2), 219-229.
- Stockdill, S.M.J., 1982. Effects of introduced earthworms on the productivity of New Zealand pastures. *Pedobiologia*, 24 (1), 29-35.
- Swengel, A.B., 2001. A literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat. *Biodiversity & Conservation* 10 (7), 1141-1169.
- Uys, C., Hamer, M., 2007. The effect of long-term fire treatments on invertebrates: results from experimental plots at Cathedral Peak, South Africa. *African Journal of Range & Forage Science* 24, 1-7.
- Van Capelle, C., Schrader, S., Brunotte, J., 2012. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology* 50, 165-181.
- Van Coller-Myburgh, C., van Rensburg, L., Maboeta, M., 2014. Utilizing earthworm and microbial assays to assess the ecotoxicity of chromium mine wastes. *Applied Soil Ecology* 83, 258-265.
- Van der Putten, W.H., Bardgett, R.D., De Ruiter, P.C., Hol, W.H.G., Meyer, K.M., Bezemer, T.M., Bradford, M.A., Christensen, S., Eppinga, M.B., Fukami, T., Hemerik, L., 2009. Empirical and theoretical challenges in aboveground-belowground ecology. *Oecologia* 161(1), 1-14.
- Van Dyk, J.C., Bouwman, H., Barnhoorn, I.E.J., Bornman, M.S., 2010. DDT contamination from indoor residual spraying for malaria control. *Science of the Total Environment* 408 (13), 2745-2752.
- Van Wilgen, B. W., 2009. The evolution of fire and invasive alien plant management practices in fynbos. *South African Journal of Science*, 105 (9-10), 335-342.
- Van Wilgen, B. W., Everson, C. S., Trollope, W. S. W., 1990. Fire management in southern Africa: some examples of current objectives, practices, and problems. In *Fire in the tropical biota*. Springer Berlin Heidelberg
- Van Wilgen, B.W., Trollope, W.S., Biggs, H.C., Potgieter, A.L., Brockett, B.H., 2003. Fire as a driver of ecosystem variability. *The Kruger Experience: Ecology and Management of Savanna Heterogeneity*. Island Press. Washington, DC, pp.149-170.
- VdM Louw, S., Wilson, J.R., Veldtman, R., Addison, M., 2014. The unknown underworld: understanding soil health in South Africa: news & views. *South African Journal of Science* 110 (5-6), 1-4.
- Wahl, J. J., Theron, P. D., Maboeta, M. S., 2012. Soil mesofauna as bioindicators to assess environmental disturbance at a platinum mine in South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 86, 250-260.
- Wall, D. H., Virginia, R. A., 2000. The world beneath our feet: soil biodiversity and ecosystem functioning. In *Nature and human society: the quest for a sustainable world*. Proceedings of the 1997 Forum on Biodiversity. pp. 225-241.
- Wang, J., Luo, Y., Teng, Y., Ma, W., Christie, P., Li, Z., 2013. Soil contamination by phthalate esters in Chinese intensive vegetable production systems with different modes of use of plastic film. *Environmental Pollution* 180, 265-273.
- Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N., Setälä, H., Van Der Putten, W. H., Wall, D. H., 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304 (5677), 1629-1633.
- Williamson, M., Fitter, A., 1996. The varying success of invaders. *Ecology*, 77(6), 1661-1666.
- Witt, A. B. R., Giliomee, J. H., 2004. The impact of an invasive ant, *Linepithema humile* (Mayr), on the dispersal of *Phylla pubescens* Aiton seeds in South Africa. *African Entomology* 12 (2), 179.
- Witt, A.B.R., Samways, M.J., 2004. Influence of agricultural land transformation and pest management practices on the arthropod diversity of a biodiversity hotspot, the Cape Floristic Region, South Africa. *African Entomology* 12 (1), 89-95.
- Wolfe, B.E., Klironomos, J.N., 2005. Breaking new ground: soil communities and exotic plant invasion. *AIBS Bulletin* 55(6), 477-487.