

Volhoubare landgebruik en grondkwaliteit: organiese materiaal as indikator

C.C. du Preez

Departement Grond-, Gewas- en Klimaatwetenskappe, Universiteit van die Vrystaat, Posbus 339, Bloemfontein 9300, Suid-Afrika dpreezcc.sci@mail.uovs.ac.za

UITTREKSEL

In hierdie oorsig word die jongste benadering tot volhoubare landgebruik en die rol wat grondkwaliteit daarin speel kortliks bespreek. Die vereistes waaraan indikators moet voldoen om die kwaliteit van grond en die volhoubaarheid van landgebruik sinvol te evalueer word ook toegelig. Daarna word die prosesse van fisiese, chemiese en biologiese gronddegradasie gegee. 'n Kort bespreking volg hierna oor die omvang van fisiese en chemiese gronddegradasie in Suid-Afrika waarvoor daar betroubare inligting is. Biologiese gronddegradasie word meer volledig behandel. Die rol van grondorganiese materiaal in biogeochemiese siklusse kry eers aandag. Daarna word die invloed van verskillende landgebruikstelsels in die sentrale gebiede van Suid-Afrika op die organiese materiaalinhoud en gevolglik die stikstof-, fosfor- en swawelreserwes van gronde aan die hand van enkele voorbeelde bespreek. Die slotsom is dat organiese materiaal 'n baie belangrike indikator van grondkwaliteit en dus ook van volhoubare landgebruik is.

ABSTRACT

Sustainable land use and soil quality: organic matter as an indicator

In this review the most recent approach to sustainable land use and the role that soil quality plays therein are described briefly. The requirements to which indicators must conform for the meaningful evaluation of the quality of soil and sustainability of land use are also elucidated. Thereafter the processes of physical, chemical and biological soil degradation are given. A concise discussion follows on the extent of physical and chemical soil degradation in South Africa, of which there is reliable information. Biological soil degradation is treated in more detail. Attention is given firstly to the role of soil organic matter in biogeochemical cycles. Thereafter the influence of different land use systems in the central parts of South Africa on the organic matter content and consequently the nitrogen, phosphorus and sulphur reserves of soils is discussed by using examples. The conclusion is that organic matter is an important indicator of soil quality and thus also of sustainable land use.

1. INLEIDING

Volhoubare landbou is 'n konsep wat nagestreef word en slegs bereik kan word wanneer landgebruik, wat 'n integrale deel daarvan is, volhoubaar bestuur word. 'n Voorvereiste vir volhoubare landgebruik is dat grondkwaliteit in stand gehou of verbeter word. Daarom dat belanghebbendes weer deeglik oor die begrippe grondkwaliteit en volhoubare landgebruik besin, nadat daar in die tagtigerjare begin is om die konsep van volhoubare landbou weer ernstig te beklemtoon. Hierdie debat is gestimuleer deur die toename in die wêreld se bevolking wat lei tot 'n agteruitgang in die omgewing.

Sedert die mens se ontstaan het die bevolkingstal gegroei tot 3 biljoen in 1960. Die raming is dat dit gaan verdubbel tot die jaar 2000. Daarna sal die wêreld se bevolking jaarliks met ongeveer 90 tot 100 miljoen vermeerder.⁹ In Suid-Afrika gaan die bevolking na verwagting vanaf 1960 tot 2000 bykans drievoudig vanaf 16 tot 45 miljoen toeneem. 'n Jaarlikse toename van 0.8 tot 0.9 miljoen word daarna voorsien,² maar verworwe immunitetsgebreksindroom kan tot 'n laer aanwas lei.

In die volgende 50 jaar sal daar na raming net soveel voedsel as in die afgelope 8000 jaar geproduseer moet word om in die steeds groeiende wêreldbevolking se behoeftes te voorsien.³⁷ Die vraag na vesel sal waarskynlik dienooreenkomstig toeneem. Produksie van voedsel en vesel in die wêreld kan verhoog word deur die landoppervlakte onder gewasverbouing uit te brei en/of gewasverbouing op die reeds bewerkte landoppervlakte te intensifiseer.

Slegs ongeveer 25% van die 13 biljoen ha land op die verskillende kontinente kan vir gewasverbouing aangewend word weens verskeie beperkings. In 1987 is meer as die helfte van hierdie 3.25 biljoen ha land al vir gewasverbouing gebruik.⁹

Die situasie in Suid-Afrika is nog slegter want slegs 13% van die 122 miljoen ha land is geskik vir gewasverbouing. In 1991 is ongeveer tweederdes van hierdie 16 miljoen ha land al vir gewasverbouing benut.²

Dit beteken dat die uitbreiding van die landoppervlakte onder gewasverbouing met intensifisering gepaard sal moet gaan om in die mens se toekomstige behoeftes van voedsel en vesel te voorsien. Groot welslae met die intensifisering van gewasverbouing is in veral die ontwikkelde lande, maar ook in sommige ontwikkelende lande sedert die tweede wêreldoorlog met biologiese, chemiese en meganiese innoverings behaal, sodat daar selfs na die groen revolusie verwys word.

Dit is juis hierdie toename in produksie deur intensifisering wat vroeë oor die volhoubaarheid van landbou laat ontstaan het, weens die impak wat dit op die omgewing kan hê.²⁹ Daar is aanduidings dat die mens se aktiwiteite, waarvan landbou een is, die ekologiese limiete van die omgewing nader of selfs oorskry omdat die aarde stadig maar seker warmer word, osoonlaag op sekere plekke baie dun raak, landdegradasie aan die toeneem is en biodiversiteit aan die afneem is.²³

Die oogmerk met hierdie artikel is om enkele gedagtes te deel oor die jongste konsepte rakende volhoubare landgebruik en grondkwaliteit asook waarom organiese materiaal so belangrik geag word as 'n indikator daarvan.

2. VOLHOUBARE LANDGEBRUIK

2.1 Vereistes

Dit is teen hierdie agtergrond, naamlik dat meer voedsel en vesel per eenheid landoppervlakte in die toekoms geproduseer sal moet word, dat 'n internasionale werkgroep oor volhoubare landgebruik gedurende 1991 in die lewe geroep is.³⁷ Volgens

hierdie werkgroep, wat deur verskeie internasionale navorsings-agentskappe ondersteun word, is die vereistes waarvolgens landgebruik bestuur moet word om volhoubaar te wees, die volgende:

- Die biologiese produktiwiteit moet gehandhaaf word en – indien moontlik – verhoog word,
- die vlak van risiko moet verlaag word om groter sekuriteit te verseker,
- die kwaliteit van die natuurlike hulpbronne moet in stand gehou word,
- dit moet ekonomies lewensvatbaar wees,
- dit moet sosiaal aanvaarbaar wees.

Deesdae word hierdie vyf vereistes ewe belangrik geag by die bestuur van landgebruik wanneer dit vir volhoubaarheid geëvalueer word.⁴⁷ Slegs wanneer daar bevredigend aan al vyf vereistes voldoen word, kan land oor die lang termyn volhoubaar gebruik word. Dit is duidelik dat hierdie benadering tot landgebruik die mens se besorgdheid oor die agteruitgang van die omgewing en die sosio-ekonomiese realiteite van toekomstige produksie van voedsel en vesel probeer versoen.

2.2 Indikatoren

Die evaluering van landgebruik vir volhoubaarheid berus op die keuse van geskikte indikatoren wat gemonitor kan word.⁴¹ Sulke indikatoren moet die toestand van die land, wat 'n komplekse sisteem is, tydens enige stadium in die gebruik daarvan weerspieël. Die internasionale werkgroep oor volhoubare landgebruik het daarom 'n baie buigsame model, wat maklik vir plaaslike omstandighede aangepas kan word, ontwikkel.³⁷ Hiervolgens geskied die seleksie van indikatoren in vyf fases, sodat alle fasette van volhoubare landgebruik oorweeg word.

- Fase 1: Die doel van die landgebruikstelsel wat gevolg word, moet duidelik uitgespel word.
- Fase 2: Al die bestuurspraktyke wat gevolg word ten einde hierdie doel te bereik moet vasgestel en beskryf word.
- Fase 3: Alle fisiese, chemiese, biologiese, sosiale en ekonomiese faktore wat potensiaal het om die volhoubaarheid van die stelsel te beïnvloed, moet geïdentifiseer word.
- Fase 4: Diagnostiese kriteria moet vasgestel word vir die faktore wat in fase 3 geïdentifiseer is. Dit wil sê die impak wat hierdie faktore op volhoubare landgebruik het moet gekwantifiseer word.
- Fase 5: Geskikte indikatoren kan uit die diagnostiese kriteria, wat in fase 4 vasgestel is, geselekteer word waarmee die volhoubaarheid van die spesifieke landgebruikstelsel gemonitor kan word.

'n Multidissiplinêre span kan deur hierdie prosedure te volg vir elke denkbare stelsel van landgebruik 'n unieke stel indikatoren selekteer waarmee die volhoubaarheid gemeet kan word.⁴¹ Die vereistes waaraan so 'n stel indikatoren moet voldoen, is dat dit

- die ekonomiese, sosiale en omgewingsveranderinge reflekteer wat nodig is om die volhoubaarheid van 'n spesifieke stelsel van landgebruik te verseker,
- 'n bestendige, maar redelik voorspelbare reaksie ten opsigte van sulke veranderinge oor die lang termyn weerspieël,
- 'n betroubare maatstaf van die oorsaak van die verandering is,
- sover as moontlik kwantifiseerbaar is,
- verkieslik reeds drumpelwaardes het wat sal aantoon wanneer die landgebruikstelsel onvolhoubaar raak.³⁷

2.3 Evaluering

Die evaluering van 'n landgebruikstelsel word gedoen deur die prestasie van die geselekteerde indikatoren voortdurend op te weeg teen die vereistes waarvolgens landgebruik bestuur moet word om volhoubaar te wees.³⁷ Indien van die indikatoren toon dat die stelsel nie volhoubaar is nie, moet die nodige aanpassings daaraan gedoen word.

3. GRONDKWALITEIT

3.1 Grond en die rol daarvan in ekosisteme

Die feit dat die kwaliteit van natuurlike hulpbronne in stand gehou moet word om volhoubare landgebruik te verseker, het meegebring dat daar deesdae indringend oor grondkwaliteit besin word.²⁹ Daar is selfs 'n taakgroep vir die doel deur die Amerikaanse Grondkundevereniging in die lewe geroep.¹² Dit is nodig om eers grond en die rol daarvan in ekosisteme kortliks te bespreek, ten einde die jongste konsep oor grondkwaliteit in perspektief te stel.

Grond is 'n dinamiese, lewende, natuurlike liggaam aan die oppervlak van die aarde waar daar 'n interaksie tussen die atmosfeer, biosfeer, geosfeer en hidrosfeer is. Dit vorm baie stadig, ongeveer 10 mm bopas elke 100 tot 400 jaar deur die wisselwerking van klimaat, topografie, plantegroei en moedermateriaal. Die komponente van grond sluit anorganiese materiaal, organiese materiaal, water, gasse en organismes in. Daar is 'n voortdurende uitruiling van molekules en ione tussen die soliede, vloeistof- en gasfases van 'n grond wat deur verskeie biologiese, chemiese en fisiese prosesse beheer word.¹⁴

In elke ekosisteem op land verrig 'n grond die volgende rolle:

- Dit is die medium waarin plante groei vir die produksie van voedsel en vesel. Water en noodsaaklike voedingstowwe word deur die grond gestoor en aan plante voorsien.
- Dit bepaal grootliks die lot van water in die hidrologiese sisteem vanweë die poreuse aard daarvan. Grond is ook in staat om besoedelde water wat deur dit beweeg te suiwer.
- Dit het die vermoë om organiese afval in humus te verander wat voordelig is. In die proses word koolstofdioxide in die atmosfeer vrygestel vir fotosintese. Voedingstowwe soos stikstof, fosfor en swavel word in die proses ook in 'n vorm vrygestel vir verdere gebruik deur plant, dier en mens.
- Dit is 'n habitat vir verskeie lewende organismes wat klein soogdiere, reptiele, erdwurms, insekte, alge, fungi, bakterieë en so meer insluit. Na raming is daar in 'n teelepels vrugbare grond meer mikro-organismes as mense op aarde.
- Dit speel 'n belangrike rol as ingenieursmedium deurdat stene daarvan vervaardig word en paaie, huise ensovoorts daarop gebou word.¹⁰

3.2 Jongste konsep oor grondkwaliteit

Deesdae word aanvaar dat grondkwaliteit, net soos lug- en waterkwaliteit, 'n beduidende invloed op die funksionering van enige ekosisteem op land het.¹² Wêreldwyd is daar in die sewentigerjare op lugkwaliteit en in die tagtigerjare op waterkwaliteit gefokus. Tans het die fokus na grondkwaliteit verskuif.

Die huidige belangstelling in grondkwaliteit is nie nuut nie. Verskeie Romeinse filosowe soos Cato, Columella, Varro en Vergilius het byvoorbeeld in hulle geskrifte daarna verwys. 'n Vrugbare grond is veral hoog deur hulle aangeslaan ten einde volgehoue produksie te verseker. Hierdie benadering tot grondkwaliteit is deur die eeue aangepas soos die mens se begrip van grond verbeter het.^{15, 45}

Verskeie definisies oor grondkwaliteit het weer sedert 1987 die lig gesien.^{12, 14} Gemeenskaplik aan al hierdie definisies is

dat die kwaliteit van grond die vermoë daarvan is om binne die grense van 'n ekosisteem voortdurend effektief te funksioneer, sodat die biologiese produktiwiteit volgehou word, die omgewing se kwaliteit behoue bly en die gesondheid van plante, diere en mense bevorder word. Hierdie holistiese benadering tot grondkwaliteit word deesdae wyd aanvaar.

3.3 Basiese indikaturs van grondkwaliteit

Soos reeds verduidelik, is volhoubare landgebruik slegs moontlik wanneer die kwaliteit van 'n natuurlike hulpbron soos grond in stand gehou of verbeter word. Daarom moet die kwaliteit van grond in 'n spesifieke landgebruikstelsel voortdurend gemonitor word. 'n Stel basiese indikaturs, wat kwantifiseerbaar is, is vir hierdie doel nodig. Die identifisering van sulke indikaturs word bemoeilik enersyds weens die verskillende funksies wat grond in 'n ekosisteem verrig en andersyds deur die verskeie fisiese, chemiese en biologiese faktore wat die biogeochemiese prosesse in grond beheer. Om bruikbaar te wees vir beleidmakers, wetenskaplikes, voorligters en boere moet so 'n stel basiese indikaturs aan die volgende vereistes voldoen:

- ekosisteemprosesse verteenwoordig wat hulle tot modellering leen,
- biologiese, chemiese en fisiese grondeienskappe en -prosesse integreer,
- toeganklik wees vir baie gebruikers en onder veldtoestande meetbaar wees,
- sensitief wees vir 'n verandering in bestuur en klimaat
- waar moontlik deel wees van reeds bestaande databasisse.^{12, 13}

Enkele navorsers het met so 'n stel basiese indikaturs vorendag gekom wat bykans aan al hierdie vereistes voldoen.^{4, 12, 13, 26} Die indikaturs is hoofsaaklik gekies omdat hulle na verwagting al die verskillende prosesse van gronddegradasie sal reflekteer. Dit word beklemtoon dat hierdie indikaturs die minimum is waarmee die kwaliteit van grond in 'n landgebruikstelsel aanvanklik bepaal en dan gemonitor kan word. Na gelang van omstandighede mag aanvullende indikaturs vir die doel nodig wees.

Die implementering van so 'n basiese stel indikaturs sal gepaard moet gaan met die vasstelling van drumpelwaardes, verkieslik vir 'n landgebruikstelsel, om enigsins suksesvol te wees.⁴ In die Suid-Afrikaanse konteks beteken dit dat daar drumpelwaardes vir sulke indikaturs per ekotoop gegenerer moet word. 'n Ekotoop word beskou as 'n gebied waar die drie omgewingsfaktore (klimaat, helling en grond) wat 'n invloed op opbrengs het, vir praktiese doeleindes homogeen is.³⁰ 'n Homogene opbrengspotensiaal is dus oor die hele oppervlakte van 'n ekotoop te wagte en eenvormige produksiepraktyke word oor so 'n gebied toegepas.⁴³ Dit beteken dat 'n basiese stel van indikaturs met drumpelwaardes vir elke ekotoop nodig is om die grondkwaliteit daarvan te monitor.

3.4 Boere se persepsie van grondkwaliteit

'n Opname by meer as 100 kommersiële boere van Wisconsin in die Verenigde State van Amerika het getoon dat die instandhouding van 'n grond se kwaliteit vir hulle 'n baie hoë prioriteit is ten einde volgehoue produksie te verseker.³² Dit blyk dat hierdie boere hulle vereenselwig het met die jongste konsep van grondkwaliteit wat hierbo voorgelê is. Die boere was veral bekommerd dat daar nie genoeg navorsing oor grondkwaliteit gedoen word nie, veral oor die biologiese aspek daarvan.²⁴

Volgens hierdie boere word grond se kwaliteit gereflekteer in plante, diere en water. Daarom integreer hulle die biologiese,

chemiese, fisiese en morfologiese eienskappe van gronde, plante, diere en water om 'n oordeel oor 'n grond se kwaliteit te vel. In die proses word daar 40% op grond, 30% op plante, 6% op diere en 4% op water gesteun wanneer slegs die 50 belangrikste indikaturs, wat deur die boere geïdentifiseer is, in ag geneem word.³²

Daar is 'n groot ooreenstemming tussen die 20 belangrikste indikaturs waarmee die boere grondkwaliteit beoordeel het en die basiese stel indikaturs wat navorsers vir die doel voorgestel het.^{12, 13, 32} Volgens die boere is organiese materiaal die belangrikste indikator, gevolg deur die voorkoms van die gewas. Dit is interessant om daarop te let dat opbrengs eers tiende op die boere se lys verskyn.

4. GRONDDEGRADASIE

4.1 Prosesse van gronddegradasie

Die kwaliteit van grond, dit wil sê die vermoë daarvan om onbepaald effektief te funksioneer word deur verskeie degradasieprosesse verlaag. Hierdie prosesse kan natuurlik en/of antropogeneties van aard wees. Daar word geraam dat 17% van die wêreld se grond onomkeerbaar gedegradeer het weens die mens se aktiwiteite die afgelope 50 jaar. Dit varieer van so laag as 5% in Noord-Amerika tot so hoog as 25% in Sentraal-Amerika.⁴⁰

Hierdie degradasie van grond kan fisies, chemies of biologies van aard wees.²⁵ Fisiese degradasie behels die verval van grondstruktuur, grondverdichting, lateritisasie en gronderosie. Chemiese degradasie sluit die verlagings van grondvrugbaarheid, grondversuring en -versouting asook grondbesoedeling met toksiese stowwe in. Biologiese degradasie is die afname in organiese materiaal en die vermindering van mikro- en makrofauna in grond.

Dit is belangrik om te meld dat hierdie degradasieprosesse nie onafhanklik van mekaar geskied nie. Versouting van grond, veral met natriumsoute, lei tot struktuurverval met die gevolg dat die oppervlak geneig is om te verseël en watererosie dan makliker plaasvind. Versuring van grond lei gelyktydig tot die vaslegging van fosfor in 'n ontoeganklike vorm, en die vrystelling van aluminium in 'n toeganklike vorm vir opname deur plante. Fosfor is essensieel en aluminium is toksies vir plante. Bykans al die degradasieprosesse word deur 'n afname in organiese materiaal beïnvloed soos later duidelik sal blyk.

4.2 Omvang van fisiese en chemiese gronddegradasie in Suid-Afrika

Na raming het ongeveer 25% van Suid-Afrika se grond al ernstig gedegradeer weens een of meer van die gemelde prosesse. Die omvang van die degradasieprosesse waarvoor daar redelik betroubare inligting is, word kortliks gegee.

Verdigting: Ongeveer 2 van die 11 miljoen ha grond wat vir gewasverbouing aangewend word, is vatbaar vir verdigting.¹⁶ Hierdie gronde waarop meestal koring en mielies verbou word, het 'n hoë fynsand- en lae klei-inhoud. Oesopbrengste op sulke verdigte grond is 15 tot 30% laer, omdat water en voedingstowwe ondoeltreffend benut word weens swak wortelontwikkeling.⁵ Die enigste wyse waarop grondverdichting opgehef en bekamp kan word, is deur die toepassing van 'n stelsel waarvolgens die grond meganies diep losgemaak word, waarna al die verkeer beheer word.

Lateritisasie: Die mobilisering van yster en mangaan gedurende nat toestande gee daartoe aanleiding dat harde, ondeurdringbare lae van lateriet in minder as 1% van Suid-Afrika se grond vorm. Daar is weinig wat die mens aan hierdie proses, wat die effektiewe diepte van 'n grond verminder, kan doen.

Erosie: Dit is onrusbarend dat daar in Suid-Afrika meer grond deur erosie verlore gaan as wat gevorm word. Die raming is dat grond teen gemiddeld 0.3 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ vorm.¹⁶ Grondverlies vanaf weiveld word geraam op gemiddeld 1.7 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ en vanaf bewerkte grond op gemiddeld 3 ton ha⁻¹ jaar⁻¹.³⁴ In die oostelike dele met 'n hoër reënval is dit veral watererosie en in die westelike dele is dit veral winderosie wat vir die grondverlies verantwoordelik is. Watererosie lei tot waterbesoedeling en winderosie tot lugbesoedeling, dit wil sê 'n verlaging in die kwaliteit van die omgewing.

Hierdie gemiddelde waardes van grondverlies in Suid-Afrika kan egter baie varieer na gelang van omstandighede. Grondverlies vanaf weiveld op dieselfde grontipe het vanaf 0.4 tot 2.6 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ toegeneem soos die veldtoestand vanaf goed tot swak verander het.³⁹ By mielieverbouing kan die grondverlies tot 6 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ en by pynappelverbouing tot 123 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ beloop indien daar nie voldoende voorsorg getref word nie.³ Verskeie maatreëls kan getref word om water- en winderosie op weiveld en bewerkte grond tot aanvaarbare vlakke te beperk waarvan 'n goeie bedekking met plante die belangrikste is.

Vrugbaarheid: 'n Balansstaat, vanaf 1960 tot 1980 toon dat daar oor hierdie periode jaarliks 60 000 ton stikstof en 470 000 ton kalium minder aan bewerkte gronde toegedien is as wat daarvan verwyder is.⁷ In die geval van fosfor is oor dieselfde periode jaarliks 90 000 ton meer aan die bewerkte gronde toegedien as wat verwyder is.

Hierdie tendens duur waarskynlik nog voort, want die verkope van hierdie drie plantvoedingstowwe het in 1980 'n piek bereik met 520 000 ton stikstof, 240 000 ton fosfor en 130 000 ton kalium in die jaar. Daarna het die verkope daarvan gedaal en oor die laaste 10 jaar, vanaf 1987 tot 1996, gestabiliseer op 'n gemiddeld van 367 000 ton stikstof, 110 000 ton fosfor en 106 000 ton kalium per jaar.^{35, 36} Die totale oppervlakte onder gewasverbouing het sedert 1980 bykans onveranderd gebly.

Die hoeveelheid stikstof wat oor die afgelope 36 jaar toegedien is, het toegeneem in verhouding tot die hoeveelheid fosfor en kalium wat toegedien is.^{7, 35} Desnieteenstaande blyk dit dat die Suid-Afrikaanse boere oor die gemelde periode baie op die stikstof- en kaliumreserwes van die bewerkte gronde staatgemaak het. Geïsoleerde ondersoeke op grondontledingsdata by laboratoriums regoor die land bevestig hierdie afleiding.³³

Soortgelyke inligting oor die ander drie makroplantvoedingstowwe, naamlik kalsium, magnesium en swawel is beperk. Die aanduidings is dat daar meer van hierdie drie voedingstowwe vanaf bewerkte gronde verwyder word as wat daaraan toegedien word. In die geval van die mikroplantvoedingstowwe is dit slegs sink wat op 'n gereelde basis aan bewerkte gronde toegedien word.³³

Versuring: Ongeveer 13% van Suid-Afrika se grond, dit wil sê 16 miljoen ha is natuurlik versuur. Hiervan is 11 miljoen ha matig versuur waarvan die pH(KCl) tussen 4.5 en 5.5 varieer. Die ander 5 miljoen ha is ernstig versuur met 'n pH(KCl) laer as 4.5. Hierdie gronde word hoofsaaklik in die oostelike en suidelike dele van Suid-Afrika aangetref waar die reënval hoër is.⁶

Die omvang van antropogenetiese versuring van grond in Suid-Afrika is moeiliker om te kwantifiseer. Daar word egter beraam dat van die 11 miljoen ha grond onder gewasverbouing ongeveer 4 miljoen ha se bogrond en ongeveer 2 miljoen ha se ondergrond ernstig versuur het weens die mens se aktiwiteite. Dit lei tot laer oesopbrengste en dus 'n verlies aan inkomste.⁶

Versouting: In Suid-Afrika is versouting veral 'n probleem op die 1.2 miljoen ha grond wat besproei word. Die raming is dat 10% van hierdie besproeide gronde, dit wil sê 120 000 ha onderhewig is aan versouting.¹⁶

Besoedeling: In Suid-Afrika is die besoedeling van grond met toksiese stowwe baie gelokaliseer en slegs klein oppervlakte is tot dusver beïnvloed. Een van die weinige gevalle waar 'n redelik groot oppervlakte oor jare beïnvloed is, is waar sitrusboorde in die verlede met koperbevattende swamdoders teen swartvlek bespuit is. Dit het daartoe gelei dat die koperinhoud in die bogrond vanaf gemiddeld 14 mg kg⁻¹ in onbehandelde sitrusboorde tot gemiddeld 459 mg kg⁻¹ in behandelde sitrusboorde toegeneem het. Die koper akkumuleer in die wortels met die gevolg dat die sitrusbome se groei vertraag word.¹⁷

5. BIOLOGIESE GRONDDEGRADASIE

5.1 Rol van organiese materiaal in biogeochemiese siklusse

Organiese materiaal is daardie fraksie van die grond wat eers geleef het, dit wil sê alle plant-, diere- en mikrobereste in verskillende stadia van ontbinding tot stabiele humus. Dit bevat ongeveer 58% koolstof en daarom word daar meestal verwys na die organiese koolstofinhoud van gronde wat varieer van so laag as 0.06% tot so hoog as 57%. Daar is 'n totaal van 1 500 miljard ton organiese koolstof in die wêreld se gronde teenwoordig teenoor slegs 550 miljard ton in alle plantegroei op aarde. Die atmosfeer bevat ongeveer 750 miljard ton koolstof.¹⁰

Hieruit kan afgelei word dat grondorganiese materiaal 'n belangrike komponent van die koolstofsiklus is. Plante absorbeer koolstofdiksied vanuit die atmosfeer en deur die proses van fotosintese word sonligenergie in organiese verbindings vasgelê. Sekere van die organiese verbindings word as 'n energiebron deur die plante self gebruik tydens respirasie. Sodoende word daar weer koolstofdiksied in die atmosfeer vrygestel. Die oorblywende organiese verbindings word in die plante gestoor en beland uiteindelik as reste in die grond met afsterwe. In die geval waar plante deur diere benut word, word ongeveer die helfte van die vasgelegde koolstof daarin as koolstofdiksied uitgeasem. Die res van die koolstof beland uiteindelik as dierereste in die grond. Hierdie plant- en dierereste word deur die mikrobies in die grond gemetaboliseer tot stabiele organiese verbindings en in die proses word daar nog koolstofdiksied in die atmosfeer vrygestel. Dit kan egter verskeie eeue duur voordat die koolstof in hierdie stabiele organiese verbindings as koolstofdiksied in die atmosfeer vrygestel word.³¹

In natuurlike ekosisteme wat in ewewig is, is die toevoeging van koolstof tot die grond deur plant-, diere- en mikrobereste in balans met die vrystelling van koolstof vanaf organiese materiaal. Die implementering van landgebruikstelsels vir gewasverbouing deur die mens lei tans tot 'n netto koolstofverlies van 2 miljard ton jaar⁻¹ as koolstofdiksied uit die wêreld se gronde na die atmosfeer. Die gevolg hiervan tesame met die huidige vrystelling van 5 miljard ton koolstof jaar⁻¹ vanaf fossielbrandstowwe is dat die atmosfeer se koolstofdiksiedinhoud oor die afgelope 100 jaar vanaf 290 tot 350 dpm toegeneem het. Hierdie verhoging van koolstofdiksied in die atmosfeer dra onder andere daartoe by dat die aarde na bewering stadig warmer word omdat dit langgolfuitstraling aan bande lê.^{10, 31}

By 'n landgebruikstelsel soos rysverbouing waar die grond vir lang periodes met water versadig is, word metaan eerder as koolstofdiksied vrygestel. Na raming is die bydrae hiervan tot die totale vrystelling van metaan in die atmosfeer tans ongeveer 20%. Dit lewer dus 'n wesentlike bydrae daartoe dat metaan vinniger as die ander kweekhuisgasse toeneem. Metaan absorbeer langgolfuitstraling tot 30 keer meer effektief as koolstofdiksied.¹⁰

Grondorganiese materiaal speel ook 'n belangrike rol by drie ander biogeochemiese siklusse, naamlik die stikstof-, fosfor-

en swawelsiklus. In die grond vind hierdie drie siklusse en die koolstofsiklus nie onafhanklik van mekaar plaas nie, omdat stikstof, fosfor en swavel ook integrale bestanddele van organiese materiaal is. Ongeveer 98% van die stikstof-, 50% van die fosfor- en 95% van die swavelreserwes in grond kom in die organiese materiaal voor. In die proses waar koolstof as koolstofdoksied vanaf organiese materiaal in die atmosfeer vrygestel word, word van die organiese stikstof-, fosfor- en swavelbindings daarin gemineraliseer. Die anorganiese stikstof-, fosfor- en swavelbindings wat so uit die organiese materiaal in grond vrygestel word, kan deur plante opgeneem word en sodoende in die voedselketting beland.⁴²

Al drie hierdie elemente (stikstof, fosfor en swavel) is noodsaaklik vir die gesonde groei en ontwikkeling van plante, diere en mense. Stikstof is 'n bestanddeel van alle aminosure, terwyl swavel 'n bestanddeel van enkele aminosure is waaruit plante proteïene sintetiseer vir gebruik deur diere en mense. Fosfor speel onder andere 'n belangrike rol by die storting van energie in plante, diere en mense. Dit wil sê as die reserwes van hierdie drie voedingstowwe in grond daal, manifesteer tekorte nie net in plante nie, maar ook soms in diere en mense indien daar nie aanvulling uit ander bronne is nie.¹¹

Die vrystelling van anorganiese stikstof-, fosfor- en swavelbindings uit grondorganiese materiaal kan onder sekere omstandighede die omgewing besoedel. Indien sulke stikstof- en fosforbindings vanaf grond in waterbronne beland lei dit tot eutrofikasie, dit wil sê die groei van alge word gestimuleer tot nadeel van die waterlewe. Die vrygestelde stikstof en swavel kan tydens reduserende toestande in die grond na gasse omgesit word wat in die atmosfeer beland en sodoende bydra tot suurreën. Daar kan selfs op dié wyse distikstofoksied, wat 'n kweekhuisgas is, in die atmosfeer vrygestel word. Die loging van nitraatstikstof na ondergrondse water hou 'n gesondheidsgevaar vir mens en dier in. Inname van drinkwater met 'n hoë nitraatinhoud kan daartoe lei dat babas jonger as drie maande en jong herkouerdiere 'n tekort aan suurstof ontwikkel en selfs doodgaan.¹⁰

5.2 Landgebruik en grondorganiese materiaal in Suid-Afrika

Die onversteurde gronde in Suid-Afrika word gekenmerk deur 'n baie lae organiese materiaalinhoud. Ongeveer 58% van die gronde het 'n organiese koolstofinhoud laer as 0.5%, terwyl slegs 4% van die gronde 'n organiese koolstofinhoud hoër as 2% het. Die organiese koolstofinhoud van die ander 38% gronde in Suid-Afrika se organiese koolstofinhoud varieer tussen 0.5 en 2%.³³

Die effek van verskillende landgebruikstelsels in die sentrale gebiede van Suid-Afrika op die organiese materiaalinhoud en gevolglik die stikstof-, fosfor- en swavelreserwes van gronde sal aan die hand van enkele voorbeelde toegelig word.

Weiveldbenutting vir veeboerdery: Die wyse waarop weiveld deur veeboere benut word, het 'n groot effek op die toestand daarvan. Weidingkundiges raam dat ongeveer 66% van Suid-Afrika se 72 miljoen ha weiveld in 'n matige tot ernstige fase van agteruitgang verkeer.³⁸ 'n Daling in die organiese materiaalinhoud van gronde is onder sulke omstandighede te wagte, omdat minder plantreste terug in die grond beland weens die afname in die produksie van biomassa.

Een van die weinige ondersoeke in Suid-Afrika oor hierdie aspek het getoon dat die organiese koolstofinhoud met 25% en die totale stikstofinhoud met 16% in die boonste 200 mm van 'n Bloemdal-sandleemgrond oor 'n periode van 15 jaar gedaal het, nadat die veldtoestand daarop vanaf goed na sleg verander het.¹⁹ Dit beteken dat daar oor die 15 jaar ongeveer 4200 kg

koolstof ha⁻¹ en 300 kg stikstof ha⁻¹ meer vanuit die grond met die swak veld as vanuit die grond met die goeie veld verlore gegaan het.

Gewasverbouing onder besproeiing: 'n Ondersoek by drie besproeiingskemas, naamlik Ramah, Rietrivier en Vaalharts het getoon dat die organiese materiaalinhoud by 43% van die lokaliteite gestyg en by 33% van die lokaliteite gedaal het weens gewasverbouing. By die ander 24% lokaliteite het gewasverbouing geen effek op die organiese materiaalinhoud gehad nie. Die netto resultaat hiervan was dat die gemiddelde organiese koolstofinhoud sowel as die gemiddelde totale stikstofinhoud van al die onversteurde gronde bykans dieselfde was as dié van die bewerkte gronde. Nie die bewerking- of besproeiingsgeskiedenis soos deur die boere verskaf, óf die eienskappe van die gronde kon enige lig werp op hierdie kontrasterende bevindings nie. Dit regverdig beslis verdere navorsing.²⁰

Gewasverbouing onder droëland: In die somerreëngedebiede wes van die Drakensberge waar gewasse kommersieel onder droëland verbou word, het die organiese materiaalinhoud van gronde na 30 jaar van bewerking met 50% gedaal. Die patroon waarvolgens organiese koolstof, stikstof en swavel uit die gronde verlore gaan, is soortgelyk. Daarenteen het die organiese fosforinhoud bykans onveranderd gebly deurdat die onversteurde gronde gemiddeld 93 mg fosfor kg⁻¹ en die bewerkte gronde gemiddeld 89 mg fosfor kg⁻¹ bevat. Dit is omdat fosfor in grond minder mobiel as stikstof en swavel is.^{21, 22, 44}

Die patroon waarvolgens stikstofreserwes uit Avalongronde verlore gaan, bevestig dat drumpelwaardes vir indikatoren van grondkwaliteit per ekotoop vasgestel behoort te word soos vroeër gemeld. By 'n warmer, droër ekotoop in die omgewing van Welkom is 'n nuwe ewewig alreeds na 15 jaar van bewerking bereik, terwyl by 'n koeler, natter ekotoop in die omgewing van Harrismith is daar na 60 jaar van bewerking nog nie 'n nuwe ewewig bereik nie.¹⁸ Hierdie daling in stikstofreserwes hou sekere implikasies vir boere in. Gedurende die eerste paar jaar wat gronde bewerk word, word groot hoeveelhede anorganiese stikstof vrygestel vir plantopname wat groot besparings in stikstofbesting tot gevolg gehad het. Nou, nadat 'n nuwe ewewig bereik is met ongeveer 50% van die stikstofreserwes by die Welkom-ekotoop en ongeveer 30% van die stikstofreserwes by die Harrismith-ekotoop oor, is dit noodsaaklik dat boere meer stikstof moet bemes.

Die patroon waarvolgens die swavelreserwes by die twee ekotope gedaal het, is vir alle praktiese doeleindes dieselfde as stikstof.^{18, 21} Dit beteken dat boere in die toekoms op sulke gronde meer aandag aan swavelbesting sal moet gee as wat tot dusver die geval was om optimale groei en ontwikkeling van gewasse te verseker.

'n Verdere ondersoek op sulke gronde van drie ekotope in die omgewing van Harrismith, Kroonstad en Tweespruit het getoon dat die organiese koolstof- en stikstofinhoud van al die deeltjiegroottefraksies gedaal het weens gewasverbouing.²⁷ Die tempo waarteen die organiese koolstof en stikstof verlore gegaan het, het toegeneem met 'n toename in die deeltjiegroottes. In al die deeltjiegroottefraksies het oksidasie en ontbinding van lignien plaasgevind.²⁸ Soos bewerking voortgeduur het, is lignien afkomstig van grasreste geleidelik deur lignien afkomstig van gewasreste vervang. Die aminosuikerinhoud van al die deeltjiegroottefraksies het ook gedaal met bewerking.¹ Aminosuikers afkomstig van bakterieë het vinniger verlore gegaan as aminosuikers afkomstig van fungi. Hierdie verskynsel was meer opvallend in die eerste 20 jaar van bewerking. Die relatiewe verlies van organiese materiaal soos gemanifesteer in bogemelde parameters was groter uit die slikfraksie as uit die kleifaksie. 'n Moontlike verklaring hiervoor is dat winderosie

benewens bewerking ook 'n groot bydrae tot die verlies aan organiese materiaal gelewer het.

Die vestiging van meerjarige grasse op bewerkte gronde van bogemelde drie ekotipe het die organiese materiaalinhoud daarvan verhoog.⁸ Ongelukkig het hierdie verhoging baie stadig geskied en was dit beperk tot die boonste 50 mm. Die insluiting van 'n meerjarige gras in 'n gewasrotasiestelsel hou dus voordele in vir die instandhouding en selfs verbetering van grondkwaliteit. 'n Deeglike ondersoek na die ekonomiese lewensvatbaarheid van so 'n gewasrotasiestelsel is egter nodig.

Die organiese materiaalinhoud van gronde waarop gewasse onder droëland verbou word, kan ook in stand gehou of selfs verbeter word deur bewaringspraktyke soos deklaag- en geenbewerking toe te pas. Op 'n Avalongrond in die omgewing van Bethlehem waar die stikstofreserwes met 43% gedaal het weens 20 tot 30 jaar van konvensionele bewerking, het die stikstofreserwes oor 'n periode van 11 jaar met 3% weens deklaagbewerking en met 7% weens geenbewerking gestyg.⁴⁶ Dit gaan dus baie lank duur om die organiese materiaalinhoud van hierdie grond tot die oorspronklike vlak te verhoog met deklaag- of geenbewerking.

Dit is belangrik om te meld dat boere deklaag- en geenbewerking met sukses op gronde met meer as 15% klei implementeer. Sodra gronde minder as 15% klei het, word laer opbrengste met deklaag- en geenbewerking as met konvensionele bewerking gekry. Verdere navorsing oor die aspek is nodig want die instandhouding van organiese materiaal op sulke gronde is in Suid-Afrika van die uiterste belang.

Daar kan dus tot die slotsom gekom word dat die verskillende landgebruikstelsels in die sentrale gebiede van Suid-Afrika 'n groot invloed op die organiese materiaalinhoud en sodoende ook die kwaliteit van gronde het. Organiese materiaal beïnvloed die eienskappe van mineraalgronde normaalweg buite verhouding tot die hoeveelhede wat daarin voorkom. Dit is omdat organiese materiaal 'n groot bron van voedingstowwe en mikrobiële energie is, water en voedingstowwe in 'n toeganklike vorm hou, struktuurvorming en wortelontwikkeling bevorder, en waterinfiltrasie en -verbruiksdoeltreffendheid verbeter. In die sentrale gebiede van Suid-Afrika behoort navorsing dus daarop gerig te wees om die verdere daling van grondorganiese materiaal te verhoed en indien moontlik weer te verhoog indien volhoubare landgebruik nagestreef word.

6. SAMEVATTING

Na aanleiding van hierdie oorsig oor grondkwaliteit en volhoubare landgebruik kan enkele aspekte uitgelig word wat wêreldwyd van toepassing is, maar veel belangriker vir lande soos Suid-Afrika is waar gronde met 'n lae organiese materiaalinhoud vir die produksie van voedsel en vesel gebruik word:

- Die mens gaan waarskynlik met biologiese, chemiese en meganiese innoverings daarin slaag om voldoende voedsel en vesel vir die steeds groeiende wêreldbevolking te produseer.
- Die groter produksie van voedsel en vesel sal hoofsaaklik vanaf die landoppervlakte, wat tans onder gewasverbouing is, moet kom omdat die moontlikheid vir uitbreiding gering is.
- Dit bring mee dat landgebruik vir die produksie van voedsel en vesel volhoubaar bestuur sal moet word sodat die grondkwaliteit in stand gehou kan word.
- Die kwaliteit van grond kan slegs in stand gehou word as geskikte bewaringspraktyke toegepas word om die degradasieprosesse teen te werk.

- Dit is dus noodsaaklik dat grondkwaliteit in 'n landgebruikstelsel voortdurend gemonitor word met fisiese, chemiese en biologiese indikatoren.
- Die fisiese en chemiese indikatoren is al deeglik nagevors en vir die meeste is daar al drumpelwaardes vasgestel wat nie die geval met biologiese indikatoren is nie.
- Deesdae is 'n groot aantal grondkundiges van mening dat biologiese indikatoren soos organiese materiaal, mikrobiële biomassa en ensiemaktiwiteit baie vroeër 'n aanduiding van gronddegradasie sal gee as die meeste chemiese en fisiese indikatoren wat tans gebruik word.

7. VERWYSINGS

1. Amelung, W., Lobe, I., Du Preez, C.C. (2002). Fate of microbial residues in sandy soils of the South African Highveld as influenced by prolonged arable cropping. *Eur. J. Soil Sci.*, 53, 29-35.
2. Anon. (1997). *Kortbegrip van landboustatistieke*. (Direktoraat Landbou-inligting, Pretoria).
3. Arbutnot, F.D. (1995). *Report of the ESA Working Group on land degradation*. (Directorate of Resource Conservation, Department of Agriculture, Pretoria).
4. Arshad, M.A., Coen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *Am. J. Altern. Agric.*, 7, 25-31.
5. Bennie, A.T.P., Krynauw, G.N. (1985). Causes, adverse effects and control of soil compaction. *S. Afr. J. Plant Soil*, 2, 109-114.
6. Beukes, D.J. (1995). *Benefits from identifying and correcting soil acidity in agriculture*. (ARC-Institute for Soil, Climate and Water, Pretoria).
7. Biesenbach, F.W. (1984). 'n NPK-balansstaat vir die landbougrond van die Republiek van Suid-Afrika. *Dept. Landbou Teg. Med.*, 187, 60-79.
8. Birru, T.C. (2002). *Organic matter restoration by conversion of cultivated land to perennial pasture on three agro-ecosystems in the Free State*. (M.Sc.Agric. dissertation, University of the Free State, Bloemfontein).
9. Brady, N.C. (1990). *The nature and properties of soils*, 9th edn. (MacMillan Publishing Co., New York).
10. Brady, N.C., Weil, R.R. (1996). *The nature and properties of soils*, 11th edn. (Prentice Hall International, London).
11. Cihacek, L.J., Anderson, W.L., Barak, P.W. (1996). Linkages between soil quality and plant, animal and human health. In *Methods for assessing soil quality*, Doran, J.W., Jones, A.J. eds. (Soil. Sci. Soc. of Am., Madison, Wisconsin).
12. Doran, J.W., Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In *Defining soil quality for a sustainable environment*, Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicsek, D.F., Stewart, B.A. eds. (Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wisconsin).
13. Doran, J.W., Parkin, T.B. (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In *Methods for assessing soil quality*, Doran, J.W., Jones, A.J. eds. (Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wisconsin).
14. Doran, J.W., Safley, M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In *Biological indicators of soil health*, Pankhurst, C., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. eds. (CAB International, Wallingford).
15. Doran, J.W., Sarrantonio, M., Liebig, M.A. (1996). Soil health and sustainability. *Adv. Agron.*, 56, 1-54.
16. Du Plessis, M.C.F. (1986). Grondagteruitgang. *S. Afr. Tydskr. Natuurwet. Tegn.*, 5, 126-138.
17. Du Plessis, S.F., Burger, R. du T. (1972). Die bepaling van die koperstatus van sitrusboorde. *Agrochemophyica*, 4, 47-52.
18. Du Preez, C.C., Du Toit, M.E. (1995). Effect of cultivation on the nitrogen fertility of selected agroecosystems in South Africa. *Fert. Res.*, 42, 27-32.
19. Du Preez, C.C., Snyman, H.A. (1993). Organic matter of a soil in a semi-arid climate with three long-standing veld conditions. *Afr. J. Range For. Sci.*, 10, 108-110.
20. Du Preez, C.C., Wiltshire, G.H. (1997). Changes in the organic matter and nutrient contents of some South African irrigated soils. *S.Afr. J. Plant Soil*, 14, 49-53.
21. Du Toit, M.C., Du Preez, C.C. (1995). Effek van bewerkingstyd

- op die afname van totale swavel in geselekteerde Suid-Afrikaanse gronde. *S.Afr. Tydskr. Plant Grond*, 12, 128-131.
22. Du Toit, M. E., Du Preez, C.C., Hensley, M., Bennie, A.T.P. (1994). Effek van bewerking op die organiese materiaalinhoud van geselekteerde droëlandgronde in Suid-Afrika. *S.Afr. Tydskr. Plant Grond*, 11, 71 – 80.
 23. Goodland, R. (1991). The case that the world has reached limits. In *Environmentally sustainable economic development*, Goodland, R., Daly, H.E., El Scrafy, S. eds. (The World Bank, Washington).
 24. Harris, R.F., Bezdicek, D.F. (1994). Descriptive aspects of soil quality/health. In *Defining soil quality for a sustainable environment*, Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. eds. (Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wisconsin).
 25. Lal, R., Stewart, B.A. (1992). Need for land restoration. *Adv. Soil Sci.*, 17, 1-11.
 26. Larsen, W.E., Pierce, F.J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. (International Board for Soil Research and Managing Proceedings, Bangkok, Thailand).
 27. Lobe, I., Amelung, W., Du Preez, C.C. (2001). Losses of carbon and nitrogen with prolonged arable cropping from sandy soils of the South African Highveld. *Eur. J. Soil Sci.*, 52, 93-101.
 28. Lobe, I., Du Preez, C.C., Amelung, W. (2002). Influence of prolonged arable cropping on lignin compounds in sandy soils of the South African Highveld. *Eur. J. Soil Sci.*, 53, 553-562.
 29. Miller, F.P., Wali, M.K. (1995). Soils, land use and sustainable agriculture: a review. *Can. J. Soil Sci.*, 75, 413-422.
 30. Macvicar, C.N., Scotney, D.M., Skinner, T.E., Niehaus, H.S., Laubscher, J.H. (1974). A classification of land (climate, terrain form, soil) primarily for rainfed agriculture. *S. Afr. J. Agric. Extension*, 3, 21-24.
 31. Paul, E.A., Clark, F.E. (1996). *Soil microbiology and biochemistry*, 2nd edn. (Academic Press, New York).
 32. Romig, D.E., Gorlynd, M.J., Harris, R.F., McSweeney, R. (1995). How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conserv.*, 50, 229-236.
 33. Scotney, D.M., Dijkhuis, F.J. (1990). Changes in the fertility status of South African soils. *S. Afr. J. Sci.*, 86, 395-402.
 34. Scotney, D.M., McPhee, P.J. (1992). Soil erosion and conservation. In *Guide to grasses of South Africa*, Van Oudtshoorn, F.P. ed. (Briza Publishers, Pretoria).
 35. Skeen, J.B. (1996). President's report. *FSSA Journal*, 3-9.
 36. Skeen, J.B. (1997). President's report. *FSSA Journal*, 3-10.
 37. Smyth, A.J., Dumanski, J. (1995). A framework for evaluating sustainable land management. *Can. J. Soil Sci.*, 75, 401-405.
 38. Snyman, H.A. (1998). Dynamics and sustainable utilization of rangeland ecosystems in arid and semi-arid climates of southern Africa. *J. Arid. Environm.*, 39, 645-666.
 39. Snyman H.A., Van Rensburg, W.L.J. (1986). Effect of slope and cover on runoff, soil loss and water use efficiency of natural veld. *J. Grassl. Soc. sth. Afr.*, 3, 153-158.
 40. Steiner, K.G. (1996). *Causes of soil degradation and development approaches to sustainable soil management*. (Margraf Verlag, Weikersheim).
 41. Syers, J.K., Hamblin, A., Pushparajah, E. (1995). Indicators and thresholds for the evaluation of sustainable land management. *Can. J. Soil Sci.*, 75, 423-428.
 42. Tate, R.L. (1995). *Soil microbiology*. (John Wiley & Sons, New York).
 43. Van der Watt, H. van H., Van Rooyen, J.H. (1990). *Verklarende woordeboek vir grondkunde*. (Soil Sci. Soc. of S. Afr., Pretoria).
 44. Van Zyl, A.J., Du Preez, C.C. (1997). Fosfor in geselekteerde onversteurde en bewerkte Suid-Afrikaanse gronde. 1. Totale, anorganiese en organiese fosfor. *S. Afr. Tydskr. Plant Grond*, 14, 9-17.
 45. Warkentin, B.P. (1995). The changing concept of soil quality. *J. Soil Water Conserv.*, 50, 226-228.
 46. Wiltshire, G.H., Du Preez, C.C. (1993). Long-term effects of conservation practices on the nitrogen fertility of a soil cropped annually to wheat. *S. Afr. J. Plant Soil*, 10, 70 – 76.
 47. Zinck, J.A., Farshad, A. (1995). Issues of sustainability and sustainable land management. *Can. J. Soil Sci.*, 75, 407-412.