



ALTERRA

WAGENINGEN **UR**



# Kaderrichtlijn Bodem

Basismateriaal voor eventuele prioritare gebieden

Alterra-rapport 2007  
ISSN 1566-7197

M.J.D. Hack-ten Broeke, C.L. van Beek, T. Hoogland, M. Knotters, J.P. Mol-Dijkstra, R.L.M. Schils,  
A. Smit en F. de Vries

Kaderrichtlijn Bodem



**Kaderrichtlijn Bodem**

**Basismateriaal voor eventuele prioritaire gebieden**

**M.J.D. Hack-ten Broeke**

**C.L. van Beek**

**T. Hoogland**

**M. Knotters**

**J.P. Mol-Dijkstra**

**R.L.M. Schils**

**A. Smit**

**F. de Vries**

**Alterra-rapport 2007**

**Alterra, Wageningen, 2009**

## REFERAAT

Hack-ten Broeke, M.J.D., C.L. van Beek, T. Hoogland, M. Knotters, J.P. Mol-Dijkstra, R.L.M. Schils, A. Smit en F. de Vries, 2009 *Kaderrichtlijn Bodem; Basismateriaal voor eventuele prioritair gebieden*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2007. 77 blz.; 30. fig.; 8 tab.; 21 ref.

Dit rapport geeft een overzicht van het basismateriaal voor de bodembedreigingen die genoemd worden in de ontwerp teksten voor de Kaderrichtlijn Bodem (KRB) en waarbij wordt gesproken over de aanwijzing van prioritair gebieden. Waar mogelijk bestaat dit materiaal uit kaarten voor Europa en Nederland. Achtereenvolgens komen de thema's erosie, organische stof, verdichting, verzilting en verzuring aan bod. Voor Nederland zijn de eerste drie thema's waarschijnlijk het meest aan de orde. Voor erosie gaat het dan naast watererosie, dat slechts in een beperkt deel van het land voorkomt, vooral over winderosie. Afname van de hoeveelheid organische stof is vooral aan de orde in de veengebieden van ons land. Verdichting lijkt op veel plaatsen een probleem te gaan vormen, maar hierover is nog veel onzekerheid. Verzilting, verzuring en aardverschuivingen zijn in de ontwerp teksten van de KRB zo gedefinieerd dat ze in Nederland niet aan de orde zijn. In het rapport wordt ook ingegaan op de gegevensbehoefte.

Trefwoorden: Europese Bodemstrategie, Kaderrichtlijn Bodem, prioritair gebieden, erosie, organische stof, verdichting, verzilting, verzuring, klimaat, gegevensbehoefte

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl). Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie [www.boomblad.nl/rapportenservice](http://www.boomblad.nl/rapportenservice).

© 2009 Alterra  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Europese Bodemstrategie	11
1.2 Prioritaire gebieden	12
1.3 Definities van bodembedreigingen	12
1.4 Eerder onderzoek	13
1.5 Doel	13
1.6 Hoofdstukindeling en leeswijzer	14
2 Europese ontwikkelingen	15
2.1 RAMSOIL	15
2.2 Gemeenschappelijke elementen ( <i>common criteria</i> )	18
2.3 ENVASSO	20
3 Erosie	23
3.1 Europa	23
3.2 Nederland	25
3.2.1 Watererosie	25
3.2.2 Winderosie	27
3.2.3 Gebruikte gegevens en relatie met ' <i>common criteria</i> '	30
4 Afname hoeveelheid organische stof	31
4.1 Europa	31
4.2 Nederland	34
4.2.1 Organische stof bij minerale gronden	34
4.2.2 Afname veengronden	39
4.2.3 Gebruikte gegevens en relatie met ' <i>common criteria</i> '	41
5 Structuurbederf	43
5.1 Verdichting	43
5.1.1 Inleiding	43
5.1.2 Europa	44
5.1.3 Nederland	45
5.1.4 Herstelvermogen	55
5.1.5 Gebruikte gegevens en relatie met ' <i>common criteria</i> '	56
5.2 Slomp	56
6 Verzilting	61
6.1 Europa	61
6.2 Nederland	62

7	Verzuring	63
	7.1 Europa	63
	7.2 Nederland	63
8	Gegevensbehoefte	65
	8.1 Erosie	65
	8.2 Organische stof	65
	8.3 Verdichting	66
	8.4 Betrouwbaarheid	66
	8.5 BIS	66
	8.6 Conclusies en aanbevelingen	67
	8.6.1 Erosie	67
	8.6.2 Organische stof	67
	8.6.3 Verdichting	68
9	Klimaat	69
	9.1 Het effect van klimaatverandering op de bodembedreigingen en de aanwijzing van prioritaire gebieden	69
	9.2 Het effect van de aanwijzing van risicogebieden, en de daarbij behorende maatregelen, op de emissie van broeikasgassen	71
	Literatuur	73
	Lijst van meest gebruikte afkortingen	77

## Woord vooraf

Deze rapportage is het resultaat van het deelproject 'Basismateriaal voor nader aan te wijzen prioritaire gebieden' van het BO-project Europese Bodemstrategie, uitgevoerd in opdracht van het ministerie van LNV als onderdeel van het cluster Vitaal Landelijk Gebied, thema Bodem. Contactpersoon en opdrachtgever bij de directie Platteland van LNV hiervoor was Johan de Jong.

De begeleidingscommissie voor dit project bestond in 2009 uit de volgende personen (in alfabetische volgorde): Monique Brobbel (ministerie LNV, tweede helft 2009), Jan Huinink (ministerie LNV), Johan de Jong (ministerie LNV), Maartje Nelemans (ministerie VROM), Justine Oomes (ICB), Maartje Oonk (ministerie LNV; eerste helft 2009) en André Smits (IPO/provincie Drenthe)

Dit rapport bevat verschillende figuren en kaarten die veelal door onszelf, maar in een aantal gevallen ook door andere collega's bij het Centrum Bodem van Alterra zijn gemaakt. Onze dank gaat daarvoor uit naar Jan van den Akker en Mattheijs Pleijter.





## Samenvatting

Dit rapport geeft een overzicht van het basismateriaal voor de bodembedreigingen die genoemd worden in de ontwerp teksten voor de Kaderrichtlijn Bodem (KRB) en waarbij wordt gesproken over de aanwijzing van prioritaire gebieden. Waar mogelijk bestaat dit materiaal uit kaarten voor Europa en Nederland. Achtereenvolgens komen de thema's erosie, organische stof, verdichting, verzilting en verzuring aan bod. Voor Nederland zijn de eerste drie thema's waarschijnlijk het meest aan de orde. Voor erosie gaat het dan naast watererosie, dat slechts in een beperkt deel van het land voorkomt, vooral over winderosie. Afname van de hoeveelheid organische stof is vooral aan de orde in de veengebieden van ons land. Verdichting lijkt op veel plaatsen een probleem te gaan vormen, maar hierover is nog veel onzekerheid. Verzilting en verzuring zijn in de ontwerp teksten van de KRB zo gedefinieerd dat ze in Nederland niet aan de orde zijn. Voor aardverschuivingen hadden we dat al eerder vastgesteld.

Bij elk van de bodembedreigingen zijn vragen te stellen, die enerzijds betrekking hebben op de kennis over de kwetsbaarheid van de bodem in Nederland en anderzijds op de hoeveelheid en kwaliteit van de gegevens, waarop we ons tot nu toe baseerden. Bovendien zal bij het daadwerkelijk aanwijzen van prioritaire gebieden zoveel mogelijk moeten worden uitgegaan van informatie op regionale schaal.

Bij het aanwijzen van prioritaire gebieden zullen ook maatregelen moeten worden genomen om de bedreigingen te keren. Het verdient aanbeveling om voor erosie na te gaan in hoeverre de maatregelen die nu gebruikelijk zijn afdoende zijn. Onduidelijk is of winderosie als bodembedreiging voldoende wordt onderkend en of maatregelen nodig zijn om het tegen te gaan.

De afname van de hoeveelheid organische stof bij de veengronden in Nederland is evident, maar de omvang ervan is niet voor alle regio's bekend. De zorg die bestaat over afname van de hoeveelheid organische stof bij de minerale gronden wordt nog niet door waarnemingen bevestigd. Of de beschikbare gegevens dus voldoende geschikt zijn om een uitspraak te doen wordt betwijfeld. Ook rijst de vraag of de kwaliteit van organische stof bekend is, en in het bijzonder wat de afbraaksnelheid is van de verschillende soorten organische stof die in Nederland voorkomen.

Over verdichting in ons land weten we het minst. We hebben verschillende methoden toegepast om de gevoeligheid voor verdichting in kaart te brengen, maar deze hebben onvolkomenheden en zijn eigenlijk te grof. Meer kennis over die gevoeligheid en over herstelvermogen van gronden is nodig om dit beeld te verfijnen. Ook hebben we geprobeerd om te kwantificeren hoe het nu staat met de ondergrondverdichting, maar de gepresenteerde kaart is zo onbetrouwbaar dat de enige conclusie is dat we hiervoor meer meetgegevens nodig hebben.

De relatie tussen klimaat en de bodembedreigingen kent twee kanten. Enerzijds heeft klimaatverandering effect op de bodem en anderzijds heeft het bodembeheer effect op de uitstoot van broeikasgassen. Maatregelen die worden genomen in het kader van de Europese Bodemstrategie kunnen mogelijk een positief of negatief effect hebben op de broeikasgasemissie en daarmee op het klimaat. Het verdient daarom aanbeveling dat maatregelen voor prioritaire gebieden ook worden beoordeeld op hun effect op het klimaat.

# 1 Inleiding

## 1.1 Europese Bodemstrategie

De Europese Bodemstrategie beoogt een duurzaam beheer van de bodem in de EU en steunt op vier pijlers (overgenomen uit De Leidraad Bodembescherming (Smits, 2008)):

1. een kaderwetgeving met de bescherming en het duurzaam gebruik van de bodem als hoofddoel;
2. de integratie van de bodembescherming in het formuleren en uitvoeren van nationaal en communautair beleid op verschillende terreinen;
3. het dichten van de thans onderkende kenniskloof op bepaalde gebieden van de bodembescherming via onderzoek, dat wordt gesteund door communautaire en nationale programma's;
4. meer publieksvoorlichting over de noodzaak van bodembescherming.

Eén van die vier pijlers is kaderwetgeving. In september 2006 heeft de Europese Commissie daarom een voorstel gedaan voor een richtlijn tot vaststelling van een kader voor de bescherming van de bodem (Kaderrichtlijn Bodem). Daarin staat onder meer:

“... De bodem is in wezen een niet hernieuwbare hulpbron: hij kan namelijk snel worden aangetast, terwijl de vormings- en herstelprocessen uiterst traag verlopen. Het is een zeer dynamisch systeem dat vele functies vervult en diensten verleent die van vitaal belang zijn voor menselijke activiteiten en voor het voortbestaan van ecosystemen. Die functies zijn de productie van biomassa, de opslag, filtering en transformatie van voedingsstoffen en water, het verschaffen van een habitat voor biota die een reservoir van biodiversiteit vormen, het bieden van een draagvlak voor de meeste menselijke activiteiten, het leveren van grondstoffen, het fungeren als koolstofreservoir en de bewaring van het geologisch en archeologisch erfgoed...”

(EC, 2006).

Het voorstel voor de richtlijn heeft vooral betrekking op een aantal bodembedreigingen, te weten afdekking, erosie, verlies van organische stof, verdichting, verzilting, verzuring, aardverschuivingen en verontreinigingen.

## 1.2 Prioritaire gebieden

De Bodemstrategie spreekt dus van een aantal bodembedreigingen en op termijn van de aanwijzing van risicogebieden of prioritaire gebieden voor een aantal van die bedreigingen en het nemen van maatregelen in die gebieden. Bij het aanwijzen van prioritaire gebieden gaat het over de volgende bodembedreigingen:

1. erosie
  2. afname van de hoeveelheid organische stof
  3. verdichting
  4. verzilting
  5. aardverschuivingen
- en waarschijnlijk wordt toegevoegd:
6. verzuring

In de recente teksten is bovendien toegevoegd dat bij het aanwijzen van prioritaire gebieden niet alleen rekening moet worden gehouden met woestijnvorming en klimaat, maar ook met bodembiodiversiteit.

## 1.3 Definities van bodembedreigingen

In de ontwerptekst voor de Kaderrichtlijn Bodem (versie voorjaar 2009) worden de in de vorige paragraaf genoemde bodembedreigingen als volgt gedefinieerd (Engelse versie):

“...soil degradation processes means the following processes:

- (i) erosion by water or wind;
- (ii) organic matter decline brought about by a steady downward trend in the organic fraction of the soil including peat, but excluding non decayed plant and animal residues;
- (iii) compaction through an increase in bulk density and a decrease in soil porosity;
- (iv) salinisation through the accumulation in soil of soluble salts;
- (v) landslides brought about by the down-slope, moderately rapid to rapid movement of masses of earth above the bedrock;
- (vi) acidification by significantly decreasing the soil pH value...”

Bovendien worden nog een aantal toelichtingen gegeven:

1. Bij de afname van de hoeveelheid organische stof wordt opgemerkt dat het weliswaar ook over veen gaat, maar dat het winnen van veen als grondstof acceptabel kan zijn ondanks de duidelijke afname in de hoeveelheid organische stof die daardoor wordt veroorzaakt. Het is aan de lidstaten om in een dergelijk geval na te gaan of er sprake is van een acceptabel risico.

2. Bij de bodembedreiging verdichting wordt voorgesteld om toe te voegen dat het hier gaat om verdichting veroorzaakt door onjuist management (landgebruik) en ongeschikt gebruik van zware machines.
3. Voor verzuring wordt voorgesteld om toe te voegen dat het vooral een zorgpunt is voor gronden die een productiefunctie hebben. En er is ook gesignaleerd dat sommige gronden van nature zure gronden zijn die vooral zo moeten blijven.

In de ontwerptekst voor de Kaderrichtlijn Bodem (KRB) staat in Annex 1 een indicatieve lijst van te gebruiken informatie bij het aanwijzen van prioritaire gebieden (zogenaamde *common criteria*, zie ook paragraaf 2.2).

## 1.4 Eerder onderzoek

Eerdere studies voor het ministerie van LNV besteedden al aandacht aan de Europese Bodemstrategie en de daarbij genoemde bodembedreigingen. Römken en Oenema (2004) voerden een eerste zogenoemde *quick scan* voor Nederland en richtten zich daarbij op de thema's organische stof, bodemverontreiniging, erosie, verdichting, biodiversiteit, veengronden, verzilting en afdekking. Later brachten Römken en Knotters (2007) in kaart welke kansen en bedreigingen de Europese Bodemstrategie zou kunnen hebben voor het landbouwbeleid. Ook is er apart aandacht geweest voor een aantal bodembedreigingen, zoals afname van de hoeveelheid organische stof (Smit *et al.*, 2007) en verdichting (o.a. Van den Akker en De Groot, 2008). Van deze studies is in dit rapport ook gebruik gemaakt.

## 1.5 Doel

Het doel van dit rapport is om zoveel mogelijk basismateriaal voor eventueel aan te wijzen prioritaire gebieden bijeen te brengen, bij voorkeur in de vorm van kaartmateriaal voor Nederland in de vorm van een overzichtsrapport. Het gaat in dit rapport dus nadrukkelijk niet om aanwijzing van prioritaire gebieden, maar om het aandragen van informatie en wellicht een verkenning over welke gebieden het zou kunnen gaan. Het kaartmateriaal bestaat in ieder geval uit beschikbare kaarten per bodembedreiging, maar er zijn ook nieuwe kaarten gegenereerd, bijvoorbeeld een combinatie van erosiegevoeligheid en landgebruik. En bijvoorbeeld voor verdichting worden verschillende verkenningen gepresenteerd op basis van beschikbare suggesties voor criteria en normen. Een extra doelstelling van dit overzicht is het identificeren van de gegevensbehoefte. Dit rapport besteedt geen aandacht aan aardverschuivingen, omdat die in Nederland niet voorkomen, zie de definitie in paragraaf 1.3.

## 1.6 Hoofdstukindeling en leeswijzer

Na een inleidend hoofdstuk over een aantal projecten op Europees niveau, volgen vijf hoofdstukken die elk een bodembedreiging behandelen. Daarna volgen twee afrondende hoofdstukken over enerzijds de gegevensbehoefte en anderzijds de betekenis van klimaatverandering.

In hoofdstuk 2 rapporteren we over de bevindingen en conclusies uit de Europese projecten RAMSOIL en ENVASSO. Deze hebben betrekking op methoden om te komen tot het aanwijzen van prioritaire gebieden en de gegevens die daarvoor nodig zijn.

In de hoofdstukken 3 t/m 7 wordt steeds aandacht besteed aan één van de bodembedreigingen volgens een vast stramien: eerst wordt gememoreerd welk kaartmateriaal er op Europese schaal ligt, voornamelijk uitgebracht door het Joint Research Centre (JRC) door Tóth *et al.* (2008). Vervolgens presenteren we bestaande kaartinformatie op nationale schaal en geven een beschrijving welke gegevens daarvoor gebruikt zijn. Per bodembedreiging geven we aan hoe zich dat verhoudt tot de genoemde informatie uit Annex 1 van de ontwerptekst voor de KRB.

Hoofdstuk 8 vat samen welke gegevens nodig zijn voor het eventuele aanwijzen van prioritaire gebieden en in hoeverre er sprake is van missende data: de gegevensbehoefte.

Tenslotte geven we in hoofdstuk 9 een inschatting van de betekenis van klimaatverandering voor de bodembedreigingen en waar mogelijk geven we een inschatting van het effect van te nemen maatregelen binnen eventuele prioritaire gebieden op bijvoorbeeld broeikasgasemissies.

## 2 Europese ontwikkelingen

In dit hoofdstuk komen de relevante bevindingen uit de EU-projecten RAMSOIL en ENVASSO aan bod.

### 2.1 RAMSOIL

Naast Nederland oriënteren ook andere lidstaten en de EU zich op beschikbaarheid van informatie. Daarbij worden vaak twee aspecten genoemd die implementatie van een Europese bodemrichtlijn kunnen belemmeren:

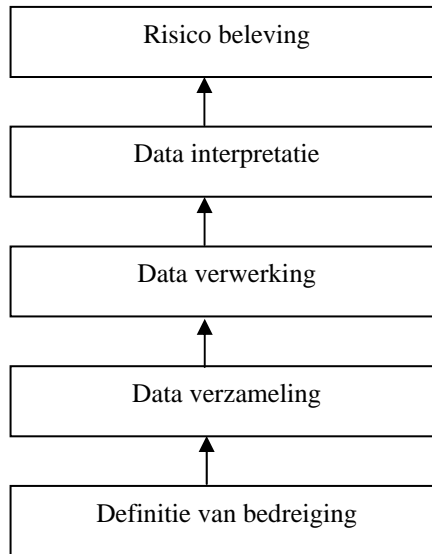
- beschikbaarheid en congruentie van brondata.
- uitwisselbaarheid van resultaten.

Verspreid over Europa worden zeer veel methoden gebruikt om het risico op bodemdegradatie of het optreden van bodemdegradatie te evalueren. De verschillende methoden bestaan doorgaans uit verschillende opeenvolgende stappen, zoals weergegeven in figuur 2.1. De gebruikte methoden kunnen hele eenvoudige benaderingen zijn, maar ook bijzonder complexe. In het EU-project RAMSOIL is onderzocht hoe deze verschillende methoden zich tot elkaar verhouden. In dit project werd het volgende geconstateerd:

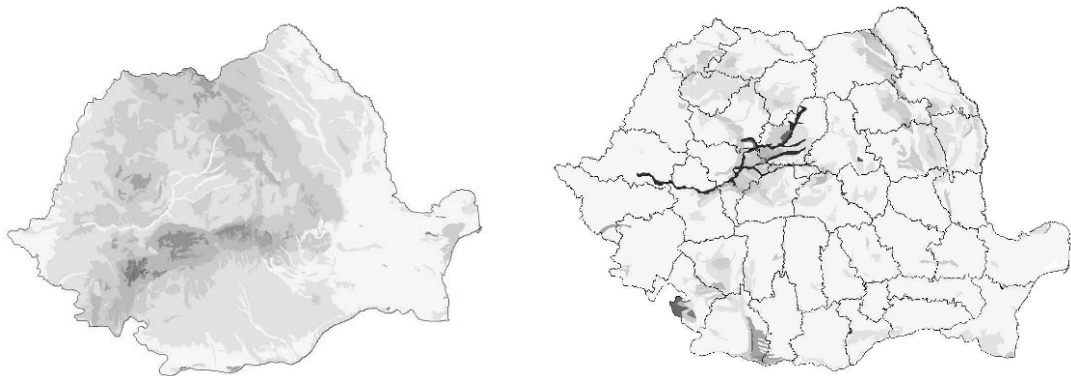
- Er worden zeer veel verschillende methoden gebruikt in Europa. Deze methoden zijn moeilijk met elkaar te vergelijken omdat ze verschillen in dataverzameling, dataverwerking, gegevensinterpretatie en risicoperceptie.
- Veel methoden om risico's voor bodemdegradaties vast te stellen (zogenaamde RAMs: Risk Assessment Methodologies) zijn incompleet. Ze beschrijven een staat of een snelheid van een proces dat tot bodemdegradatie leidt, maar daarmee is nog geen risico gedefinieerd. Dit geldt ook voor de meeste RAMs die in Nederland worden gebruikt.

Het gebruik van verschillende methoden heeft mogelijk grote consequenties. Uit *case studies* blijkt bijvoorbeeld dat het gebruik van verschillende methoden kan leiden tot verschillen in de omvang van prioritair gebieden en verschillen in de locatie van deze gebieden (figuur 2.2). Dit kan tot grote (financiële) gevolgen leiden wanneer er concrete maatregelen moeten worden getroffen om degradatie te voorkomen of tegen te gaan in deze gebieden. Ook kan het gebruik van verschillende methoden leiden tot verlies aan draagvlak bij de bevolking door tegenstrijdige beoordelingen van het risico op een bodembedreiging (Kamrin, 1997).





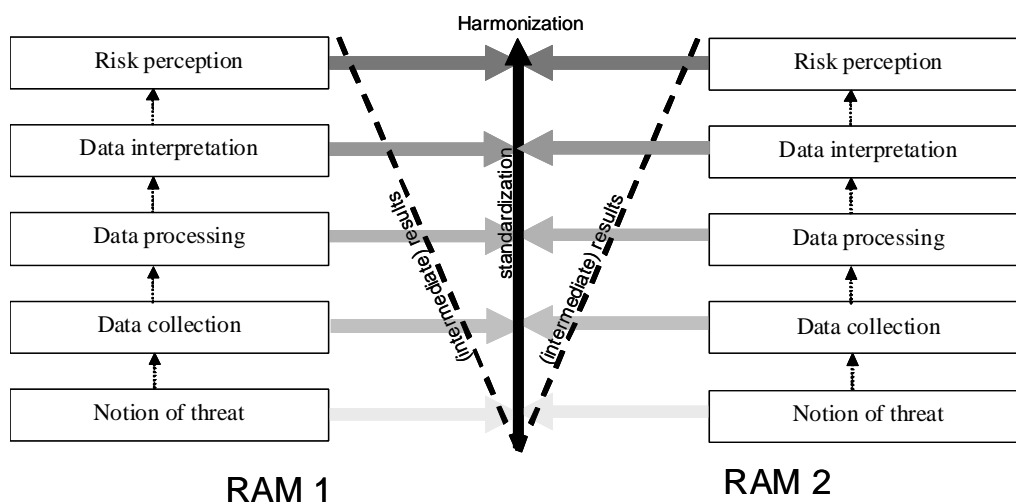
*Figuur 2.1. Schematische weergave van risico-evaluatie waarbij begonnen wordt met een definitie van de bedreiging en via een aantal tussenstappen de risicobeleving wordt geëvalueerd. Uit: Van Beek et al. (ingediend).*



*Figuur 2.2. Erosie ( $t\ ha^{-1}y^{-1}$ ) in Roemenië volgens de SIDASS-WEPP methode (links) en volgens de PESERA methode (rechts). Bron: Tóth et al. (2009).*

Er zijn grofweg twee manieren waarop kan worden omgegaan met het gebruik van verschillende RAMs in Europa: standaardisatie of harmonisatie van methoden. Standaardisatie is het opleggen van één methode voor alle landen (middelvoorschrift). Dit is beleidsmatig gezien de meest eenvoudige methode, omdat bij standaardisatie alle lidstaten met dezelfde methode werken. Standaardisatie stuit echter op veel weerstand van lidstaten, omdat RAMs vaak lokale informatie bevatten, maar ook omdat er een lokale of nationale cultuur is met betrekking tot het omgaan met risico's van bodemdegradatie. Harmonisatie is de andere mogelijkheid om verschillen tussen RAMs te overbruggen. Bij harmonisatie worden lidstaten vrijgelaten in hun keuze voor een RAM, maar

worden er eisen gesteld aan de uitwisselbaarheid van (deel)resultaten (doelvoorschrift). Een voorbeeld hiervan zijn ijklijnen tussen SOC(*Soil Organic Carbon*)- en SOM(*Soil Organic Matter*)-gehalten. In de praktijk blijkt het harmoniseren van RAMs bijzonder complex, omdat RAMs verschillen in ruimtelijke en temporele schaal, complexiteit en modelmatige benadering. Figuur 2.3 geeft de verschillen tussen standaardisatie en harmonisatie schematisch weer, waarbij moet worden opgemerkt dat er een glijdende schaal is van standaardisatie naar harmonisatie.



*Figuur 2.3. Conceptuele weergave van de betekenissen van harmonisatie en standaardisatie van RAMs die in dit rapport worden gebanteerd. De driehoek tussen de twee stroomschema's voor risicobeoordeling geven van beneden naar boven de toename weer in de afwijking van (tussen)resultaten van twee RAMs. Standaardisatie (vette verticale pijl) is van toepassing op voorgeschreven procedures en activiteiten in iedere stap van het stroomschema van risicobeoordeling, terwijl harmonisatie (horizontale pijlen) het gebruik van conversiefactoren impliceert op het hoogst mogelijke niveau (de meest directe weg, aangegeven bij de donkere kleur) en mogelijk bij andere stappen. Uiteindelijk moeten zowel standaardisatie als harmonisatie uitmonden in vergelijkbare risicopercepties. Uit: Van Beek et al. (ingediend).*

Het projectteam van RAMSOIL adviseert in het eindrapport de EU om toe te werken naar een getrapte (*Tiered*) benadering, omdat het harmoniseren van alle RAMs in Europa praktisch onmogelijk is. Dit zou volgens het projectteam leiden tot de aanwijzing van een generieke methode die toepasbaar is in heel Europa, en het toestaan van regionale of nationale methoden om op kleinere schaal prioritaire gebieden aan te wijzen. Een dergelijke benadering wordt toegepast voor het aanwijzen van risicogebieden voor landverschuivingen.

Een *tiered* methode kan bijvoorbeeld inhouden dat er op Europees niveau een generieke methode wordt vastgesteld. Deze methode wordt gebruikt voor een eerste verkenning van gebieden met een verhoogd risico op bodemdegradatie. Vervolgens worden voor deze gebieden nationale of regionale methoden gebruikt voor een nadere verkenning van het risico.

Interessant is de vraag welke methoden op *Tier-1*-niveau worden aangewezen. De kaartbeelden op Europees niveau die recent door het Europese onderzoekscentrum JRC zijn gepubliceerd (zie onder meer website <http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu>) kan als een eerste aanzet gezien worden. De Europese analyses van het JRC zijn in dit rapport opgenomen, maar moeten met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Tijdens het Eurosoil-congres in 2008 in Wenen was een speciale sessie gewijd aan de analyses van JRC en daaruit bleek, zowel vanuit JRC als vanuit verschillende lidstaten, dat de onderliggende data en veronderstellingen erg broos zijn. De analyses van het JRC zullen daarom naar verwachting niet op deze manier in Europees beleid worden opgenomen, maar geven wel een eerste richting aan.

## 2.2 Gemeenschappelijke elementen (*common criteria*)

In verschillende werkgroepen van de EU zijn zogenoemde *common criteria* aangedragen die gebruikt zouden kunnen worden voor het aanwijzen van prioritaire gebieden. Met andere woorden: de *common criteria* zijn indicatief voor de RAMs om de prioritaire gebieden te identificeren. Deze gemeenschappelijke elementen zijn een weergave van de huidige kennis omtrent sturende factoren per bodembedreiging. De lijst met *common criteria* is gepubliceerd als Annex 1 bij het *framework* voor de Kaderrichtlijn Bodem (Europese Commissie, 2006). Per bodembedreiging worden de volgende elementen genoemd:

Erosie: bodemeenheid, bodemtextuur, bodemdichtheid, hydraulische eigenschappen, topografie (incl. helling en hellingslengte), bodembedekking, grondgebruik (*landuse*), klimaat, hydrologische eigenschappen, agro-ecologische zone.

Afname van de hoeveelheid organische stof: bodemeenheid, bodemtextuur en kleigehalte, organischestofgehalte van de bodem, organischestofvoorraad van de bodem, klimaat, topografie, bodembedekking, grondgebruik.

Verdichting: bodemeenheid, bodemtextuur (boven- en ondergrond), bodemdichtheid (boven- en ondergrond), organischestofgehalte, klimaat, bodembedekking, grondgebruik, topografie.

Verzilting: bodemeenheid, bodemtextuur, hydraulische eigenschappen, irrigatie (oppervlak, kwaliteit en techniek), grondwaterinformatie, klimaat.

Landverschuivingen: bodemeenheid, voorkomen (frequentie) van landverschuivingen, gesteente, topografie, bodembedekking, grondgebruik, klimaat, seismische risico's.

Idealiter, of logischerwijs, zou iedere RAM gebruik maken van alle genoemde gemeenschappelijke elementen, mogelijk met aanvullingen. Dit bleek echter niet zo te zijn. Tabel 2.1 geeft weer welke gemeenschappelijke elementen er in verschillende gepubliceerde RAMs worden gebruikt. Uit deze tabel blijkt dat er geen enkele RAM is die alle genoemde elementen gebruikt.

Tabel 2.1 Opname van gemeenschappelijke elementen in RAMs per bodembedreiging. Grijsze cellen geven aan dat het element niet van toepassing is voor een bepaalde bedreiging, x = opgenomen in RAM, - = niet opgenomen in RAM. De kolomtitels geven een beknopte beschrijving van de gemeenschappelijke elementen. Meer uitgebreide beschrijvingen zijn beschikbaar in de ontwerp tekst voor de Kaderrichtlijn Bodem en in Eckelmann et al. (2006).

Soil threat	Country (RAM)	Soil type	Soil texture	Soil density, hydraulic properties	Topography	Land cover	Land use	Climate	Hydrological conditions	Agro-ecological zone	Soil hydraulic properties	Irrigation	Groundwater	Bulk density	Soil organic matter	Occurrence/density of existing landslides	Bedrock	Seismic risk	Soil organic carbon content	Soil organic carbon stock
Erosion	Germany	x	x	x	x	-	x	x	x											
	Finland	x	x	x	x	-	x	x	x											
	Spain	x	x	x	x	-	x	x	x											
	Hungary	x	x	-	-	-	x	x	x											
	Belgium	x	x	-	x	-	x	x	-											
	Norway	x	x	x	x	-	-	x	-											
	Poland	x	-	x	x	-	x	x	-											
	France	x	x	x	x	-	x	x	-											
	CORINE	-	x	x	x	-	x	x	-											
	PESERA	-	x	x	x	-	x	x	x											
	GLASCO	-	-	-	-	-	-	-	-											
	Salinization	Cyprus	-	x					x			x	x	x						
Hungary 1		x	x								x	x	x							
Hungary 2		x	x								x	x	x							
Hungary (TIM)		x	-								x	x	x							
Romania		-	x								-	x	x							
Slovakia		x	x								x	x	x							
Spain		-	x								x	x	x							
Greece		x	x								x	x	x							
Romania		x	x											x	x					
Germany		x	x												x	x				
Germany		x	x												x	x				
Germany		-	x												x	x				
Germany	-	x												x	x					
Poland	-	x												x	x					
Poland	x	x													x					
Denmark	x	x																		
France	x	x																		
Spain	x	x																		
Greece	x	x																		
Italy	-	-																		
Finland	-	x																		
Slovakia	x	x																		
Hungary	x	x																		
Belgium	x	x																		
Belgium	x	x																		
Landslides	France	x			x	-	x	-								x	x	-		
Italy	x				x	x	x	x								x	x	x		
Sweden	x				x	x	x	x								x	x	x		
Switzerland	x				x	x	x	x								x	x	x		
Belgium	x				x	-	-	-								x	x	x		
Cyprus	-				x	x	x	x								x	x	x		
Czech republic	-				x	-	x	x								x	x	x		
Ireland	x				x	-	x	-								x	x	x		
Hungary	x				x	x	x	x								x	x	x		
Slovenia	x				x	x	x	x								x	x	x		
Slovakia	-				x	x	x	x								x	x	x		
Spain	x				x	x	x	x								x	x	x		
United Kingdom	x				x	x	-	-								x	x	x		
Portugal	-				x	x	x	-								x	x	-		
Greece	x				x	x	x	-								x	x	-		
Poland	-				x	x	-	x								x	x	-		
SOM decline	Belgium	x	x		x	x	x	x								x	x	x		
France	x	x			x	x	x	x											x	-
Slovak Republic	x	x			x	x	x	x											x	-
United Kingdom	x	x			x	x	x	x											x	-
Slovenia	x	x			x	x	x	x											x	-
Denmark	x	x			x	x	x	x											x	-
Greece	x	x			x	x	x	x											x	-
Germany	x	x			x	x	x	x											x	-

Tabel 2.2 geeft per bodembedreiging de berekende relatieve bedekking van de gemeenschappelijke elementen. Per RAM is het aantal meegenomen elementen gedeeld door het totaal aantal geïdentificeerde elementen, en vervolgens is dit per bodembedreiging gemiddeld over alle RAMs. Hieruit blijkt dat vooral voor verdichting het gebruik van de gemeenschappelijke elementen laag is. Voor de afname van de hoeveelheid organische stof en voor verzilting is het gebruik veel hoger.

Tabel 2.2. Aandeel van gemeenschappelijke elementen ('common criteria') in RAMs voor aanwijzing prioritair gebieden. Een laag aandeel wijst op slechts gedeeltelijke opname van gemeenschappelijke elementen.

	Data verzameling
Erosie	0.60
Verzilting	0.81
Verdichting	0.58
Aardverschuivingen	0.77
Afname hoeveelheid organische stof	0.88

Uit de constatering dat er maar ten dele gebruik wordt gemaakt van de gemeenschappelijke elementen kan geconcludeerd worden dat de *common criteria* niet aansluiten bij de behoeften van de RAMs. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat RAMs vaak een lange historie hebben en dikwijls voor een ander doel zijn opgesteld dan waarvoor ze nu worden gebruikt, bijvoorbeeld op een ander schaalniveau.

### 2.3 ENVASSO

Het Europese project ENVASSO (ENVironmental ASsesment of Soil for mOnitoring) heeft tot doel om bestaande datasets en monitoringsnetwerken voor bodemdata te harmoniseren. Daarmee richt ENVASSO zich op stap 2 van figuur 2.1. ENVASSO is in 2008 afgerond en heeft verschillende procedures en protocollen gepubliceerd voor het correct vaststellen van bodemdata. Tevens heeft ENVASSO een prioriteitslijst (top 3) van belangrijkste indicatoren per bodembedreiging opgesteld (tabel 2.3).

Tabel 2.3. Top 3 indicatoren per bodembedreiging (resultaten EU project ENVASSO).

Erosie	ER01 Geschat bodemverlies door water erosie. ER05 Geschat bodemverlies door wind erosie. ER07 Geschat bodemverlies door ploeg erosie
Verzilting	SL01 Zoutprofiel SL02 Exchangable sodium percentage (ESP) SL03 Potential salt sources (groundwater or irrigation water) and vulnerability of soils to salinisation/sodification
Verdichting	CP01 Dichtheid (bulk dichtheid, packing density, porositeit) CP02 Luchtgevuld porienvolumen bij een bepaalde onderdruk CP06 Gevoeligheid voor verdichting (geschat)
Aardverschuivingen	LS01 Voorkomen van aardverschuivingen LS02 Volume of massa van verschoven materiaal LS03 Landslide hazard assessment
Afname hoeveelheid organische stof	OM01 SOM gehalten bovengrond (gemeten) OM02 SOM voorraden (gemenen) OM03 Veenvoorraden (berekend of gemodelleerd)

De belangrijkste criteria voor het selecteren van deze indicatoren waren: methodologische kwaliteit, meetbaarheid en beleidsrelevantie. De top 3 is opgesteld door experts met behulp van de volgende criteria: relevantie, gebruiksgemak en toepasbaarheid op Europees schaalniveau.

De bedoeling van de ENVASSO-indicatoren is dat deze worden ingezet bij monitoring op Europees schaalniveau. De ENVASSO-indicatoren zijn verwant aan de in Annex 1 van de ontwerptekst voor de KRB genoemde gemeenschappelijke elementen (*common criteria*). De selectie van ENVASSO-indicatoren en gemeenschappelijke elementen is grotendeels gelijktijdig verlopen en de doelstellingen waren vergelijkbaar, met dien verstande dat het ENVASSO-project veel meer behelsde dan het selecteren van indicatoren (pers. com. Van den Akker, 2009).



### 3 Erosie

De ontwerptekst voor de Kaderrichtlijn Bodem spreekt over erosie door water en wind. Daarbij wordt bodemverlies door erosie gekenmerkt als een natuurlijk proces dat echter door menselijk handelen behoorlijk kan worden versneld. Erosie wordt gezien als een probleem voor heel Europa, maar vooral voor de Mediterrane landen. Daarnaast is er sprake van erosie onder invloed van smeltend ijs (voornamelijk in Scandinavië en de Alpen) en van winderosie in Centraal- en West-Europa.

Watererosie kan resulteren in verlies van vruchtbare bovengrond en heeft daarmee direct invloed op de productiefunctie van de bodem. In het ergste geval is er sprake van onomkeerbaar verlies van landbouwgrond. Dit kan gepaard gaan met erosiekanalen en 'gullies'. Ook het door erosie weggespoelde bodemmateriaal veroorzaakt problemen als het heuvelafwaarts de waterafvoer (drainage, sloten of kanalen) of soms zelfs wegen blokkeert.

#### 3.1 Europa

Figuur 3.1. geeft de inschatting van de gevoeligheid voor erosie voor een groot deel van Europa. Het procesgeoriënteerde model PESERA (Pan European Soil Erosion Risk Assessment) is toegepast om een voorspelling van watererosie te geven (Kirkby *et al.*, 2004). De voorspelling is uitgedrukt in tonnen bodemverlies per ha per jaar. Intussen is PESERA ook toegepast voor de hele EU, maar deze kaart is niet digitaal beschikbaar (met voldoende resolutie). Wel is die nieuwste kaart op internet te bekijken:

[http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/pesera/pesera\\_cd/sect\\_h4\\_2.htm](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_cd/sect_h4_2.htm)

Voor figuur 3.1 zijn de landen Zweden, Finland, Malta en Cyprus niet meegenomen in de berekening omdat destijds de landgebruiksdata in de Corinne database voor die landen ontbraken. PESERA voorspelde destijds een erosierisico voor 3.4% van het areaal van de 21 lidstaten in de figuur van meer dan 10 ton bodemverlies per hectare per jaar. Voor 18% van het areaal (in totaal 54 miljoen ha) werd een risico voorspeld van meer dan één ton per ha per jaar.

Voor Nederland is alleen in Limburg op enkele plaatsen het erosierisico hoger dan één ton per ha per jaar volgens de PESERA-methode.



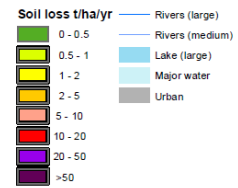
## Pan European Soil Erosion Risk Assessment - PESERA

These data have been prepared by the PESERA Project, European Commission funded fifth framework project - contract "QLK5-CT-1999-01323". Further details are described in:

Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J. and Huting, J. (2004). Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P1.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

© European Communities 2004

Model run: PESERA103, October 2003, with Global Connection  
Map produced by: Institute for Environment and Sustainability  
September 2004



Coordinate Reference System:  
ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area



Figur 3.1. Erosierisiko in Europa volgens PESERA: Pan European Soil Erosion Risk Assessment ([www.eusoils.jrc.ec.europa.eu](http://www.eusoils.jrc.ec.europa.eu)).

## **3.2 Nederland**

De ontwerptekst voor de KRB spreekt over erosie veroorzaakt door water of wind. Voor Nederland besteden we aandacht aan beide.

### **3.2.1 Watererosie**

In Nederland liggen alleen in Zuid-Limburg en op de heuvels rond Groesbeek landbouwgronden op zodanig grote hellingen dat er sprake kan zijn van erosie onder invloed van water. Weliswaar zijn alle gronden met hellingen van meer dan 2% (zie figuur 3.2) in principe gevoelig voor erosie, maar veel van deze gronden liggen in natuurgebieden (bijvoorbeeld duinen, stuwwallen). Voor natuurgebieden is erosie niet een bedreiging, maar juist een natuurlijk proces dat geen probleem vormt of soms zelfs wenselijk is (bijvoorbeeld in stuifzandgebieden). Als erosie door de mens wordt veroorzaakt kan er wel sprake zijn van een bodembedreiging of -degradatie. De kaart in figuur 3.3 toont daarom een combinatie van het bodemgebruik in Nederland en de verspreiding van hellende gebieden. De gegevens over het bodemgebruik zijn afkomstig van de landgebruikkaart LGN5. De informatie over het reliëf is afgeleid uit het hoogtebestand AHN. Het meest gevoelig voor watererosie zijn de akkerbouwgebieden.

### Gebieden met hellingen



*Figuur 3.2. Voorkomen van hellingen in Nederland volgens de hoogtekaart AHN.*

### Bodemgebruik en gebieden met hellingen



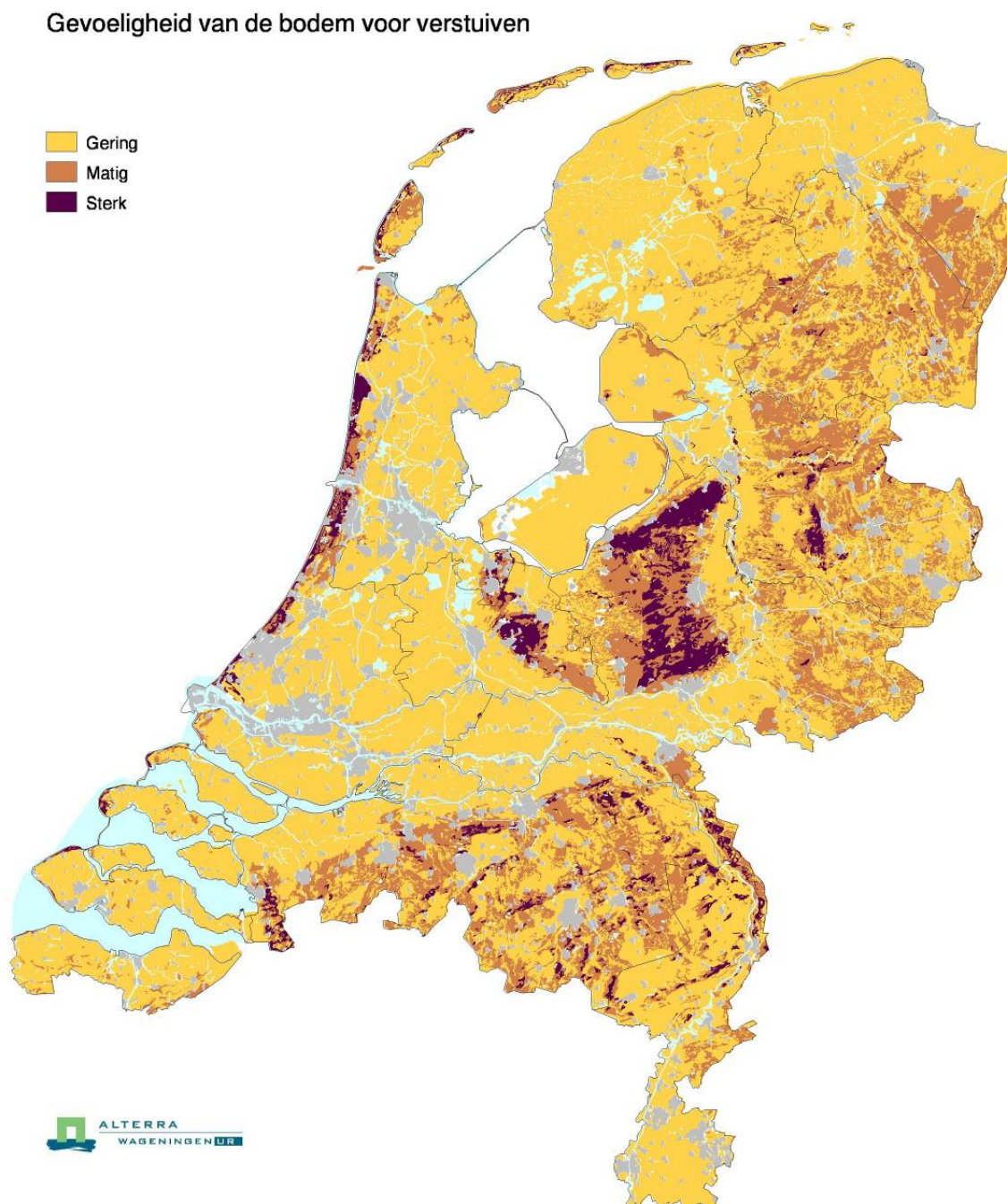
*Figuur 3.3. Verspreiding van hellingen in Nederland volgens de hoogtekaart AHN, gecombineerd met bodemgebruik.*

### 3.2.2 Winderosie

Stuifgevoeligheid geeft aan in hoeverre er een risico is voor winderosie. Figuur 3.4 geeft de gevoeligheid voor verstuiven aan, gebaseerd op informatie van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 afgeleid volgens de methode die

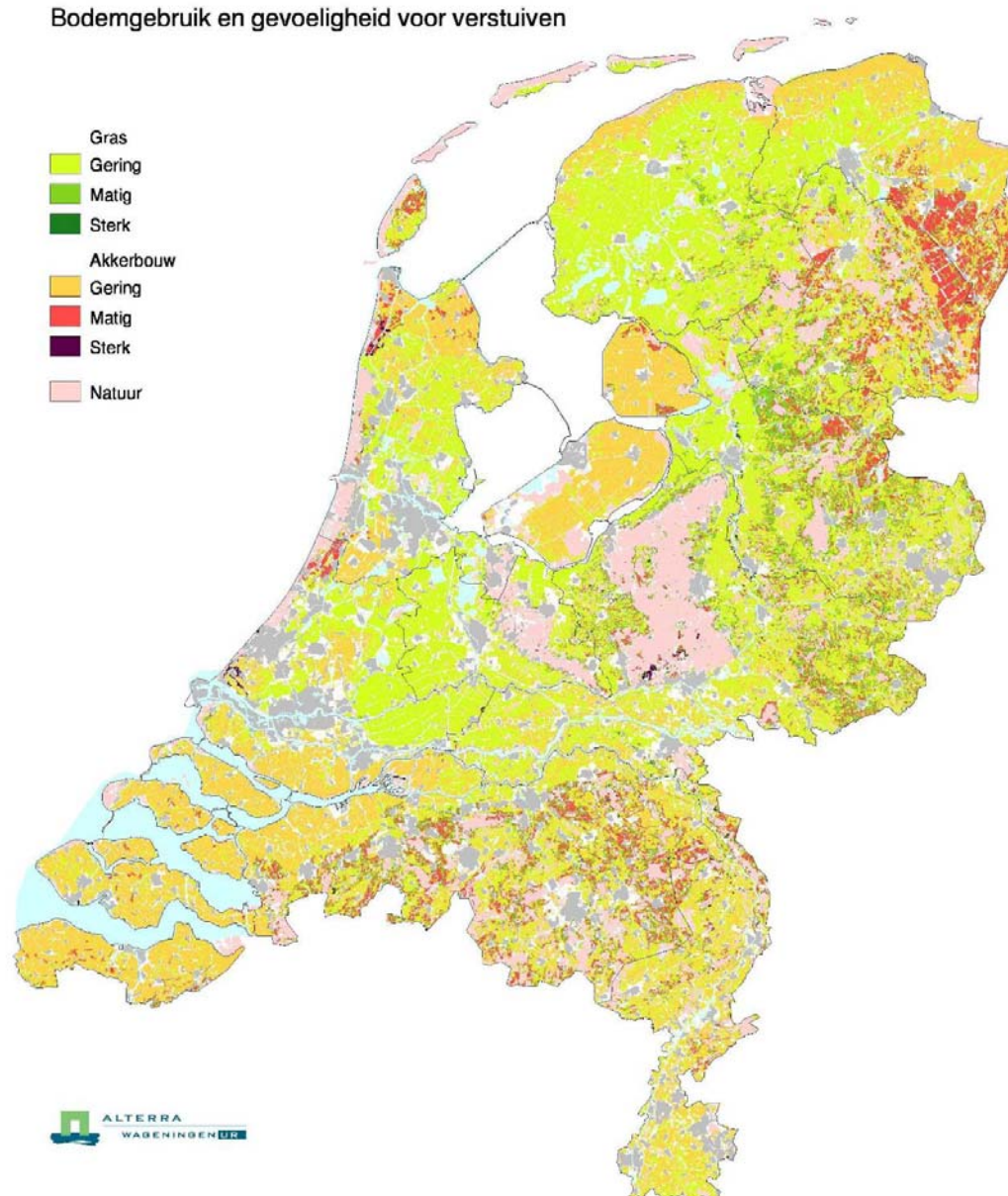


onderdeel uitmaakt van de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor landbouwkundig gebruik (Ten Cate *et al.*, 1995). Deze methode baseert de gevoeligheid voor verstuiven op het lutum- en leemgehalte in de bouwvoor. Gronden met minder dan 3% lutum en minder dan 10% leem zijn gevoelig voor verstuiven. De gevoeligheid neemt af bij toenemend lutum- en leemgehalte.



*Figuur 3.4. Stufgevoeligheid, bepaald op basis van de bodemkaart schaal 1:50.000.*

### Bodemgebruik en gevoeligheid voor verstuiven



*Figuur 3.5. Stuijgevoeligheid, bepaald op basis van de bodemkaart schaal 1:50.000, gecombineerd met bodemgebruik.*

Figuur 3.5 combineert de informatie uit figuur 3.4 met het bodemgebruik. De gegevens over het bodemgebruik zijn afkomstig van de landgebruikskaart LGN5. In Nederland zijn vooral de veenkoloniën in Groningen en Drenthe alsook de zandgebieden in het oostelijk deel van Noord-Brabant en Noord-Limburg gevoelig voor winderosie. Wat kleinere gebieden betreffen de bloembollengronden achter de duinen. Verstuiving treedt op bij een kale bodem. Zodoende speelt dit probleem geen rol bij grasland.

### 3.2.3 Gebruikte gegevens en relatie met ‘*common criteria*’

De ontwerptekst voor de Kaderrichtlijn Bodem stelt voor om voor de inschatting van het risico op erosie gebruik te maken van de volgende zogenaamde ‘*common criteria*’ (zie ook paragraaf 2.2): bodemeenheid, bodemtextuur, bodemdichtheid, hydraulische eigenschappen, topografie (incl. helling en hellingslengte), bodembedekking, bodemgebruik, klimaat, hydrologische eigenschappen, agro-ecologische zone.

Voor de kaarten in de figuren 3.2 t/m 3.5 is in ieder geval gebruik gemaakt van gegevens over bodemeenheid en textuur, en voor de combinatiekaarten 3.3 en 3.5 zijn data over bodemgebruik en indirect ook bodembedekking toegepast. Voor de watererosiekaarten is gebruik gemaakt van informatie over hellingen. In Nederland is op landelijke schaal geen informatie beschikbaar over hellingslengte. Misschien is dergelijke informatie wel regionaal voorhanden.

Niet direct gebruikt zijn data over dichtheid of hydraulische eigenschappen. In indirecte zin zeggen bodemtypen en -textuur wel iets over dichtheid en waterdoorlatendheid.

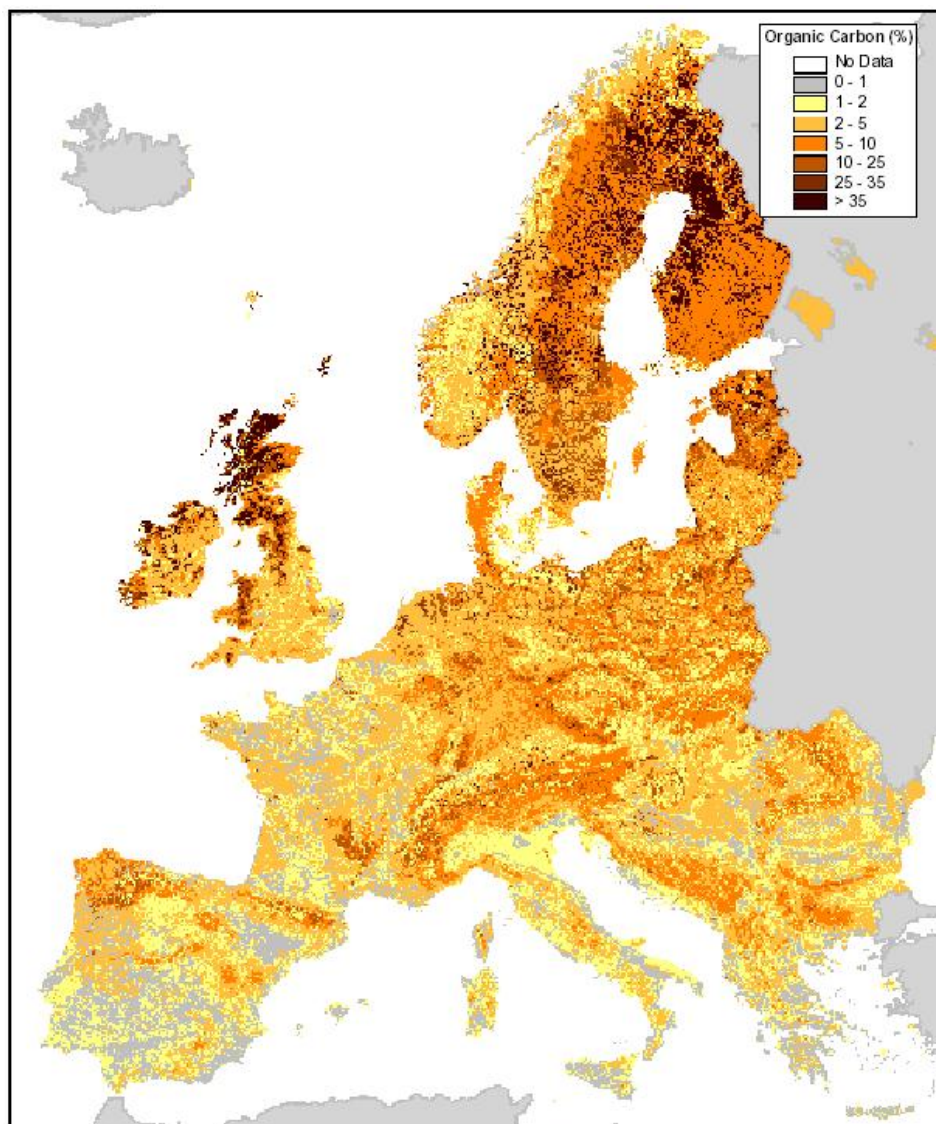
Formeel is Nederland te verdelen in twee klimaatzones, maar deze informatie is in dit hoofdstuk niet gebruikt.



## 4 Afname hoeveelheid organische stof

De Europese Commissie (2006) ziet verlies van organische stof, veroorzaakt door een gestage afname van de hoeveelheid organische stof in de bodem, als een bedreiging. Om het verlies van organische stof vast te stellen is informatie nodig over de hoeveelheid organische stof, maar vooral ook over de veranderingen daarin.

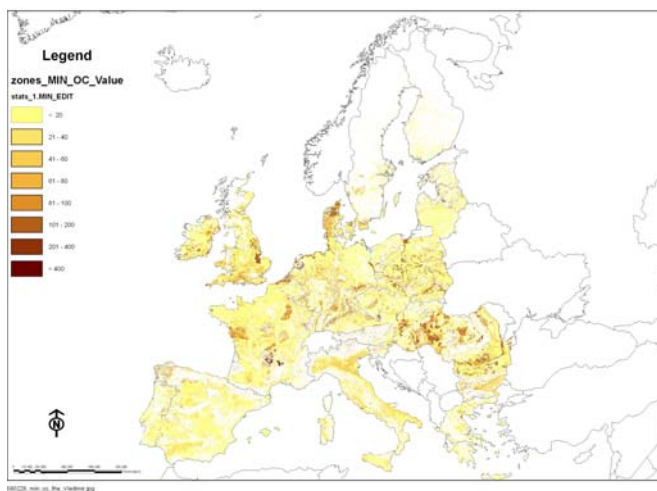
### 4.1 Europa



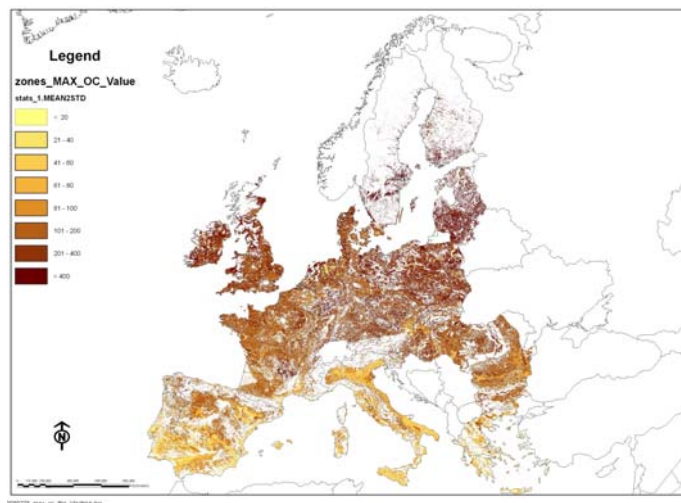
Figuur 4.1. EU-kaart van organisch C in de bodem (Jones et al., 2004).



Figuur 4.1 laat zien dat de hoeveelheid organisch C in de bodem vooral laag is in de mediterrane landen, in grote delen van Frankrijk en in een groot deel van de Balkan. In Nederland hoeven we ons nog geen zorgen te maken over lage organische stofgehalten. Zoals gezegd gaat het in de ontwerptekst voor de KRB echter over *afname* van de hoeveelheid organische stof. Ook dit is op Europees niveau onderzocht. Figuur 4.2 toont de resultaten van verschillende scenario's van het JRC (Tóth et al., 2008). Het betreft de huidige status van organischestofgehalten in de bodem in Europa (figuren 4.2 a t/m c), de kans (potentie) op verlies (figuren 4.2 d en e) en de mogelijkheden voor vastlegging (figuren 4.2 f en g).

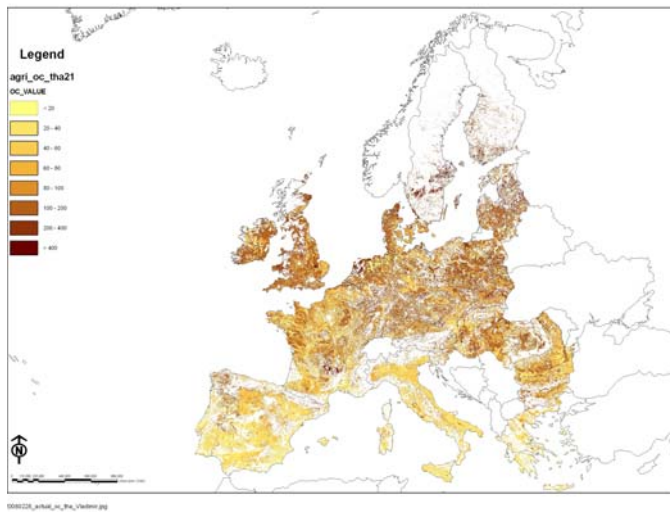


*Figuur 4.2a: Minimale bodemkoolstofgehalten op basis van waarnemingen. De verdeling van minimale waarden vertoont geen geografisch patroon en is gerelateerd aan ondergrond (bodemtextuur en kleigehalte).*

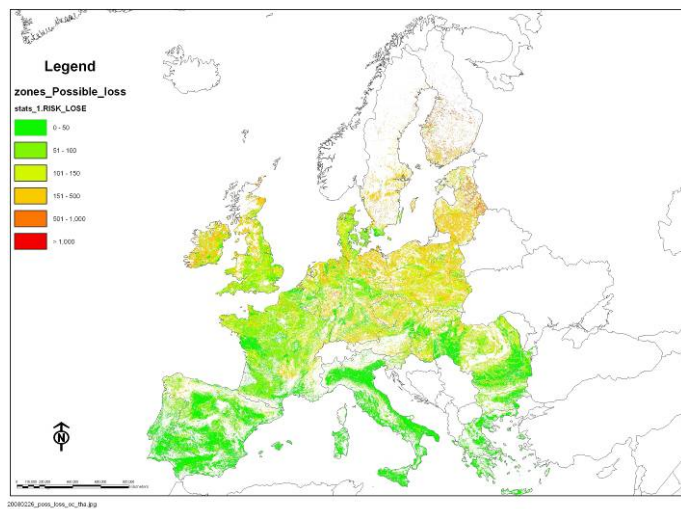


*Figuur 4.2b. Maximale bodemkoolstofgehalten op basis van waarnemingen. De meeste maximale gehalten liggen boven de 100 Tc per hectare (donkerbruin). De verdeling van de maximale waarden is gerelateerd aan klimaatszones.*

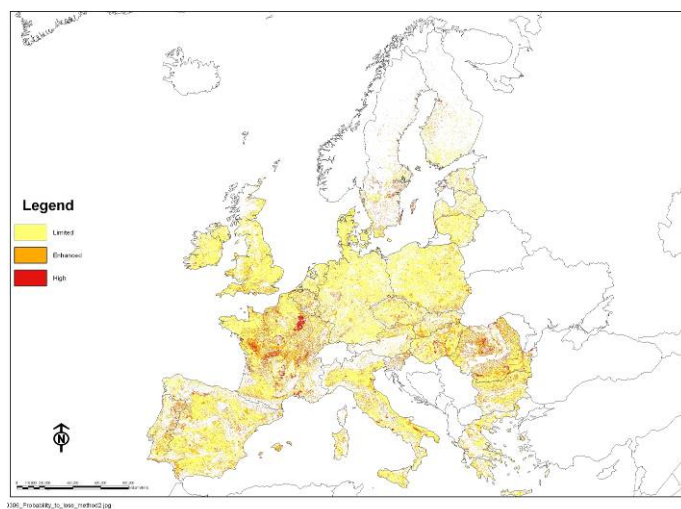
Figuur 4.2c. Actuele (d.w.z. gemiddelde) bodemkoolstofgehaltes. De actuele gehalten laten een Noord-Zuid gradiënt zien.

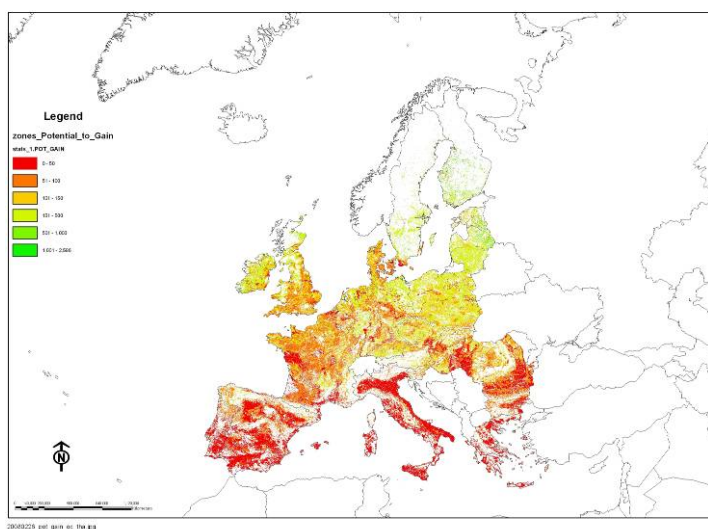


Figuur 4.2d. Gevoeligheid voor verlies van bodemorganische stof. Meer dan 150 tC kan per hectare verloren gaan in de rode gebieden (vooral Noord-Europese veengronden). Deze figuur heeft betrekking op de totale hoeveelheid koolstof.

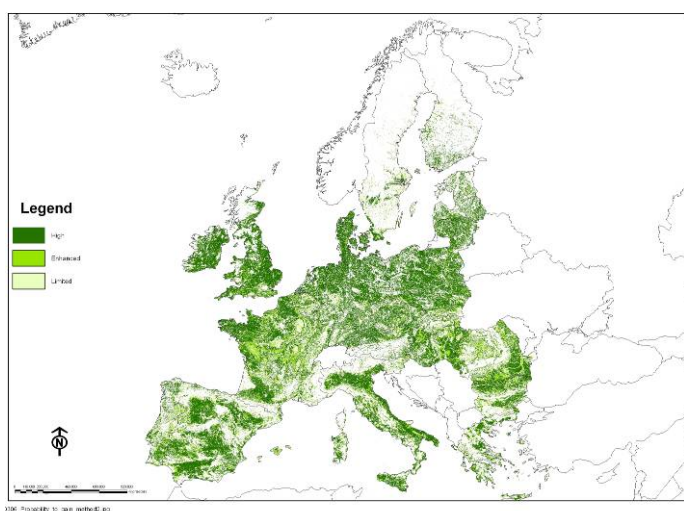


Figuur 4.2e. Potentieel verlies van bodemkoolstof. De potentie voor afname van de hoeveelheid organische stof in de bodem neemt toe van licht geel naar rood. Deze figuur heeft betrekking op het organischestofgehalte in de bodem.





Figuur 4.2f. Mogelijkheid voor toename van de hoeveelheid organische stof in de bodem. De mogelijkheid om organische stof in de bodem vast te leggen neemt toe van rood naar groen.



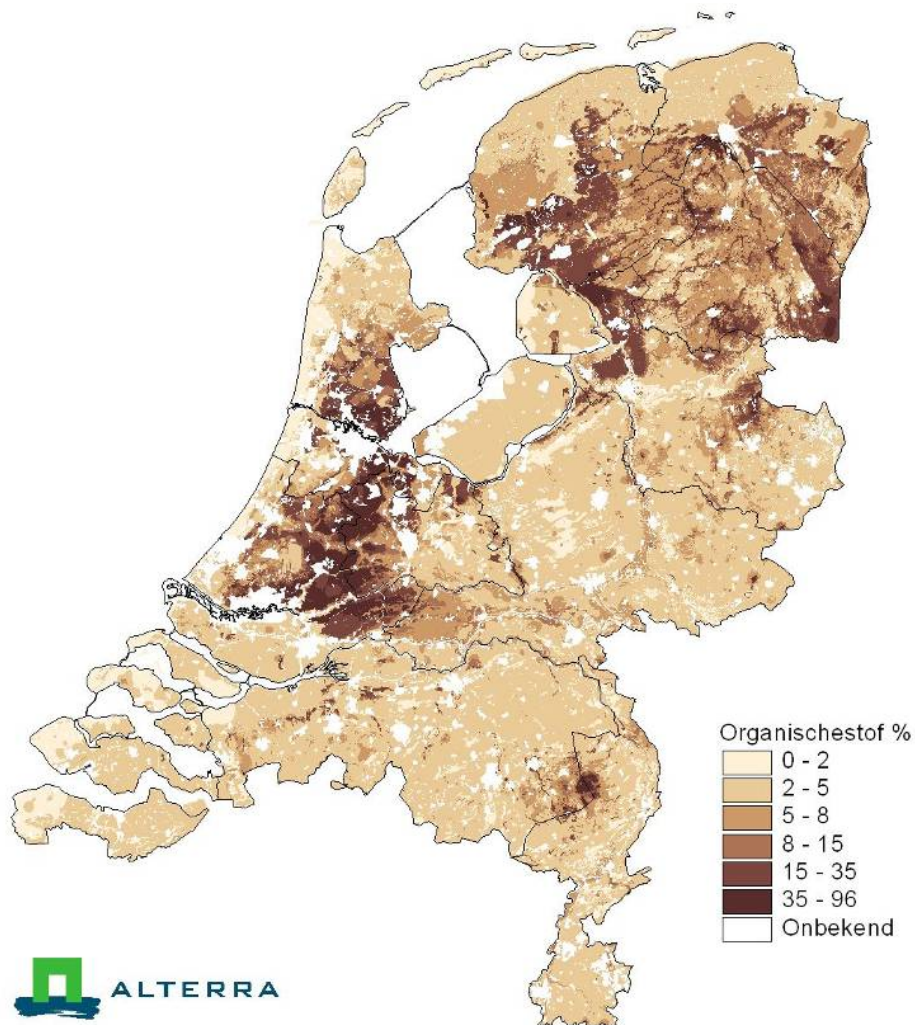
Figuur 4.2g. Potentiële snelheid van opslag van organische stof in de bodem. De snelheid neemt toe van licht- naar donkergroen.

## 4.2 Nederland

### 4.2.1 Organische stof bij minerale gronden

De kaart in figuur 4.3 is in 2007 gemaakt in het kader van het BO-project Europese Bodemstrategie, als hulpmiddel bij de discussie of er in Nederland sprake is van afname van de hoeveelheid organische stof en of dat als risicovol moet worden bestempeld (Smit *et al.*, 2007). De kaart is gemaakt op basis van de volgende data:

- Metingen van het organischestofgehalte (OS) voor bodemprofielen in de periode van 1980 tot heden op 3000 locaties uit het Bodemkundig Informatiesysteem (BIS).
- Metingen van C-totaal van de bovengrond uit het project Sturen op Nitraat op 300 locaties.

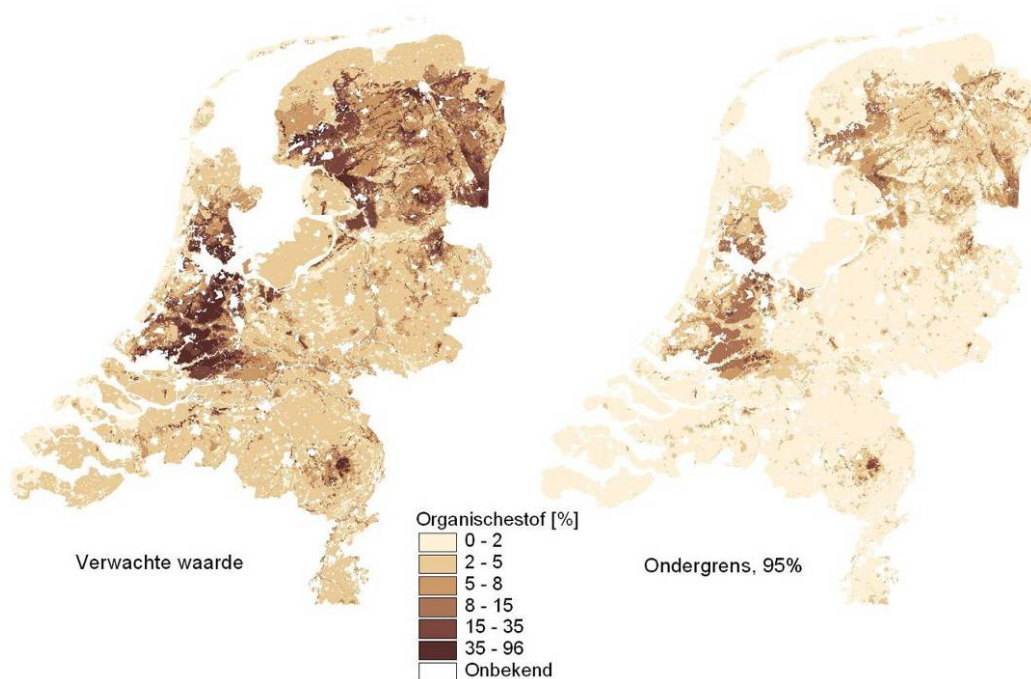


Figuur 4.3. Organischestofgehalte in de bovengrond (0-30cm) volgens gegevens uit BIS.

Vervolgens is voor de kaart de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, gegeneraliseerd naar 14 groepen die relevant zijn voor OS (Smit *et al.*, 2007). De ruimtelijke variatie in organischestofgehalten binnen deze bodemgroepen bleek voor 50% te kunnen worden verklaard met de gebruikte indeling. Het landgebruik ten tijde van de monsternamen verklaart nog eens 10% van de variatie.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de Bodemkaart van Nederland deels verouderde informatie bevat. Vooral de veengronden zijn aan verandering onderhevig (zie ook paragraaf 4.2.2). Figuren 4.3 en 4.4 en ook de figuren in de volgende paragraaf zijn dus deels gebaseerd op verouderde informatie.



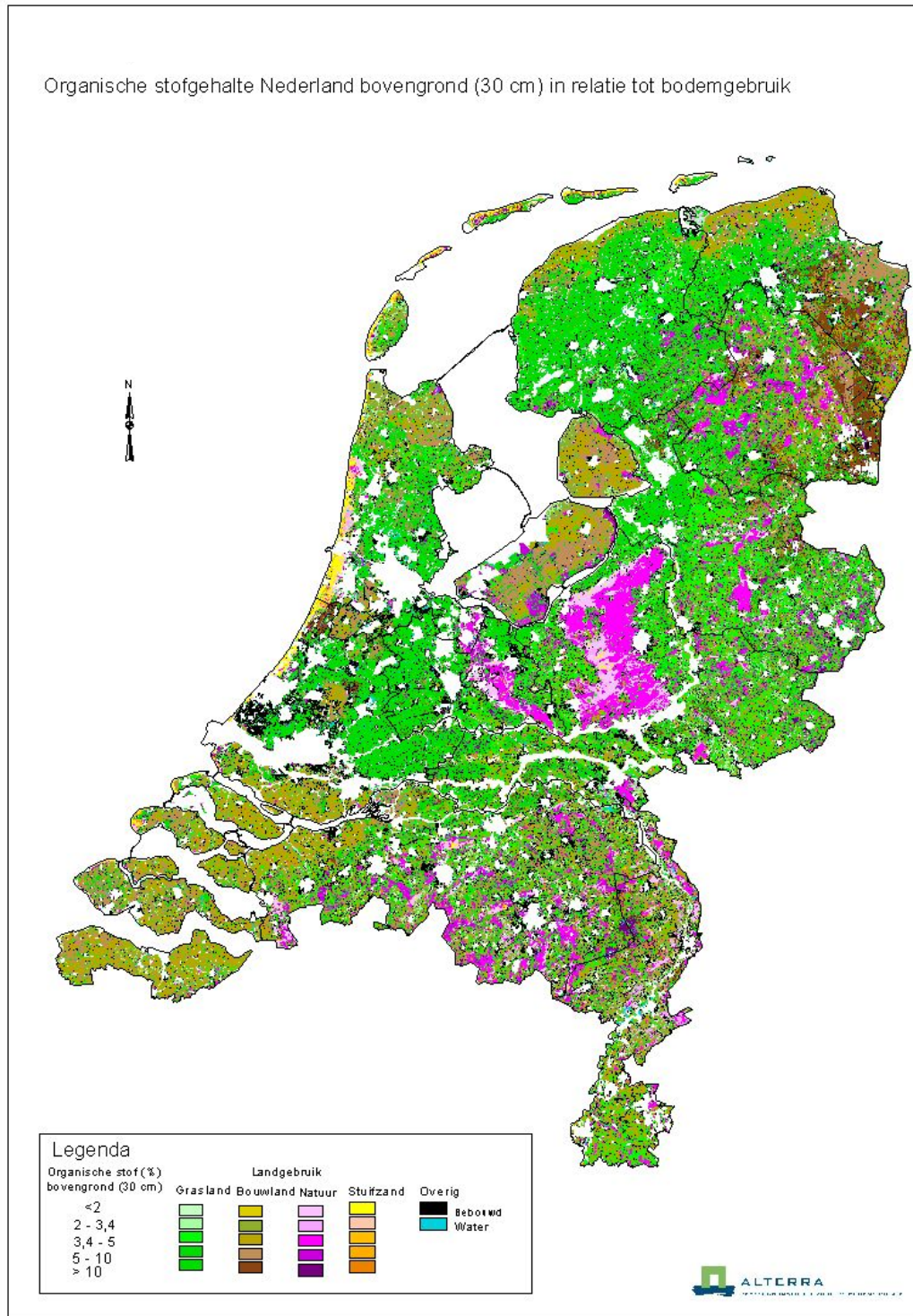


*Figuur 4.4. Kaart van het organischestofgehalte voor 14 bodemgroepen en bijbehorende onzekerheid (weergegeven als ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval).*

Door gebruik te maken van de informatie over variatie van organischestofgehalten binnen de bodemgroepen is het mogelijk om de verwachte waarde uit te rekenen, evenals de bijbehorende onzekerheid per bodemgroep. Dit levert als voorbeeld het rechtse plaatje in figuur 4.4 op: in 95% van de gevallen zal het organischestofgehalte minstens het gehalte zijn dat is aangegeven in de figuur.

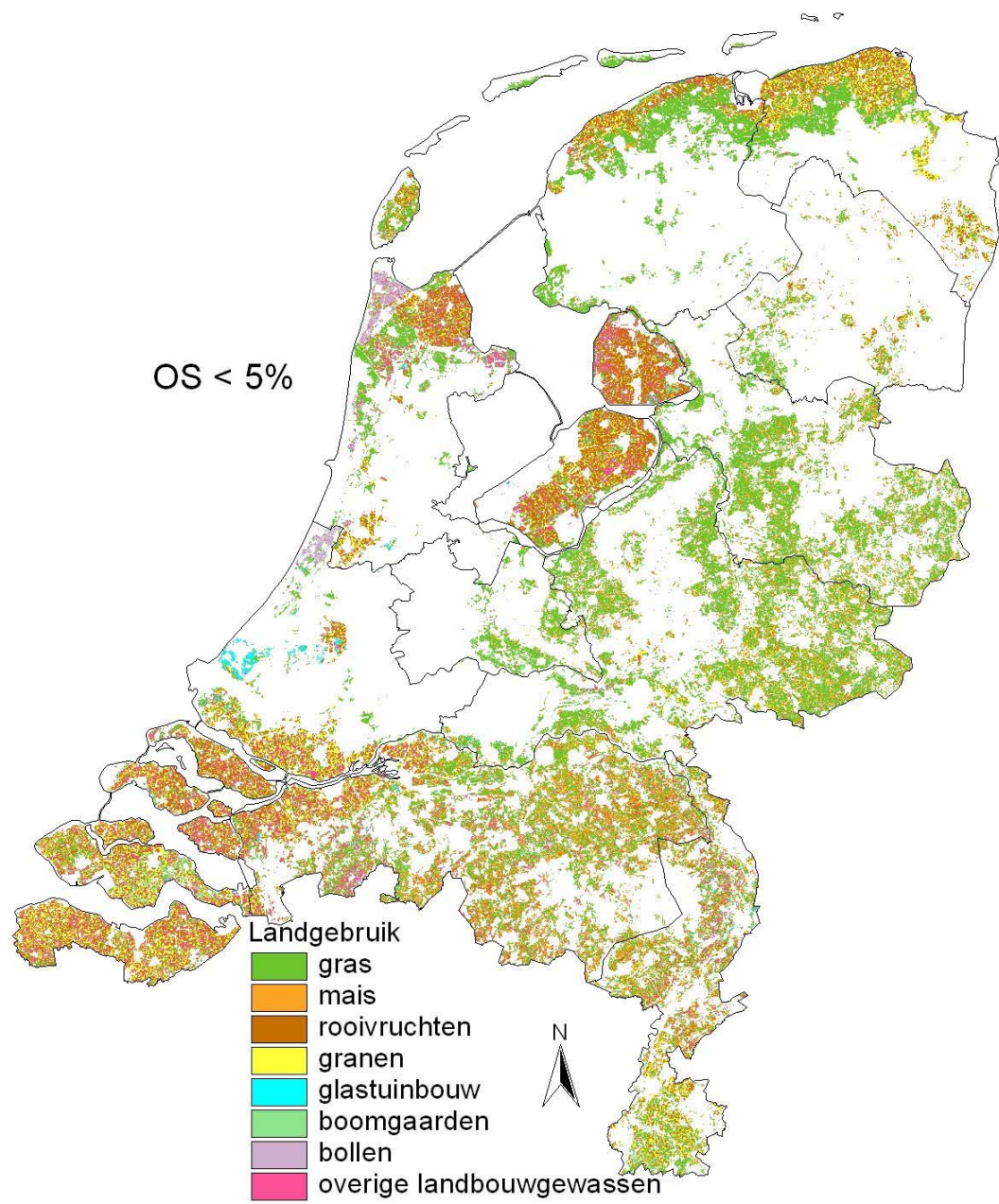
Figuur 4.5 is opgesteld in 2005 en geeft niet alleen het organischestofgehalte weer, maar combineert dit met landgebruik. Daaruit blijkt onder meer dat lagere gehalten vooral voorkomen binnen natuurgebieden. Als bekend is welk bodemgebruik en welk bodembeheer of bedrijfsmanagement in het bijzonder gevolgen heeft voor veranderingen in het organischestofgehalte is dergelijke gecombineerde informatie regionaal te gebruiken om eventueel over te gaan tot het aanwijzen van prioritaire gebieden.

Organische stofgehalte Nederland bovengrond (30 cm) in relatie tot bodemgebruik



Figuur 4.5. Organischestofgehalten en landgebruik.

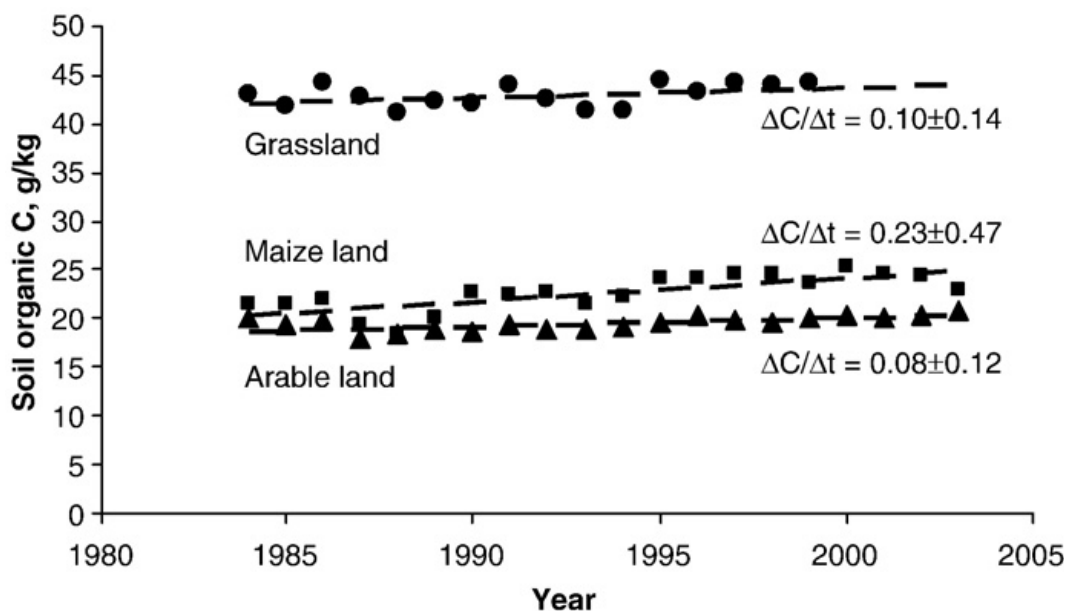
Figuur 4.6 bevat aanvullend op figuur 4.5 nog een voorbeeldkaartje. Voor elk gewenst gehalte aan organische stof kan een dergelijke kaart worden geproduceerd.



Figuur 4.6. Landgebruik voor bodems in Nederland met een organischestofgehalte lager dan 5% in de bovengrond (bovenste 30 cm van de bodem).

### ***Afname of toename van de hoeveelheid organische stof in Nederland?***

Reijneveld *et al.* (2009) concludeerden recent dat de gemiddelde gehalten aan organische koolstof in de minerale bodems in Nederland onder zowel grasland als bouwland een lichte toename vertonen van respectievelijk 0,10 tot 0,08 g/kg per jaar. Figuur 4.7 is overgenomen uit deze publicatie. De veranderingen  $\Delta C/\Delta t$ , weergegeven bij elk van de drie lijnen in de figuur zijn uitgedrukt in g/kg per jaar.



Figuur 4.7. Veranderingen in het gemiddelde organische-koolstofgehalte voor grasland, maïs en akkerbouw (1984-2004) in Nederland.

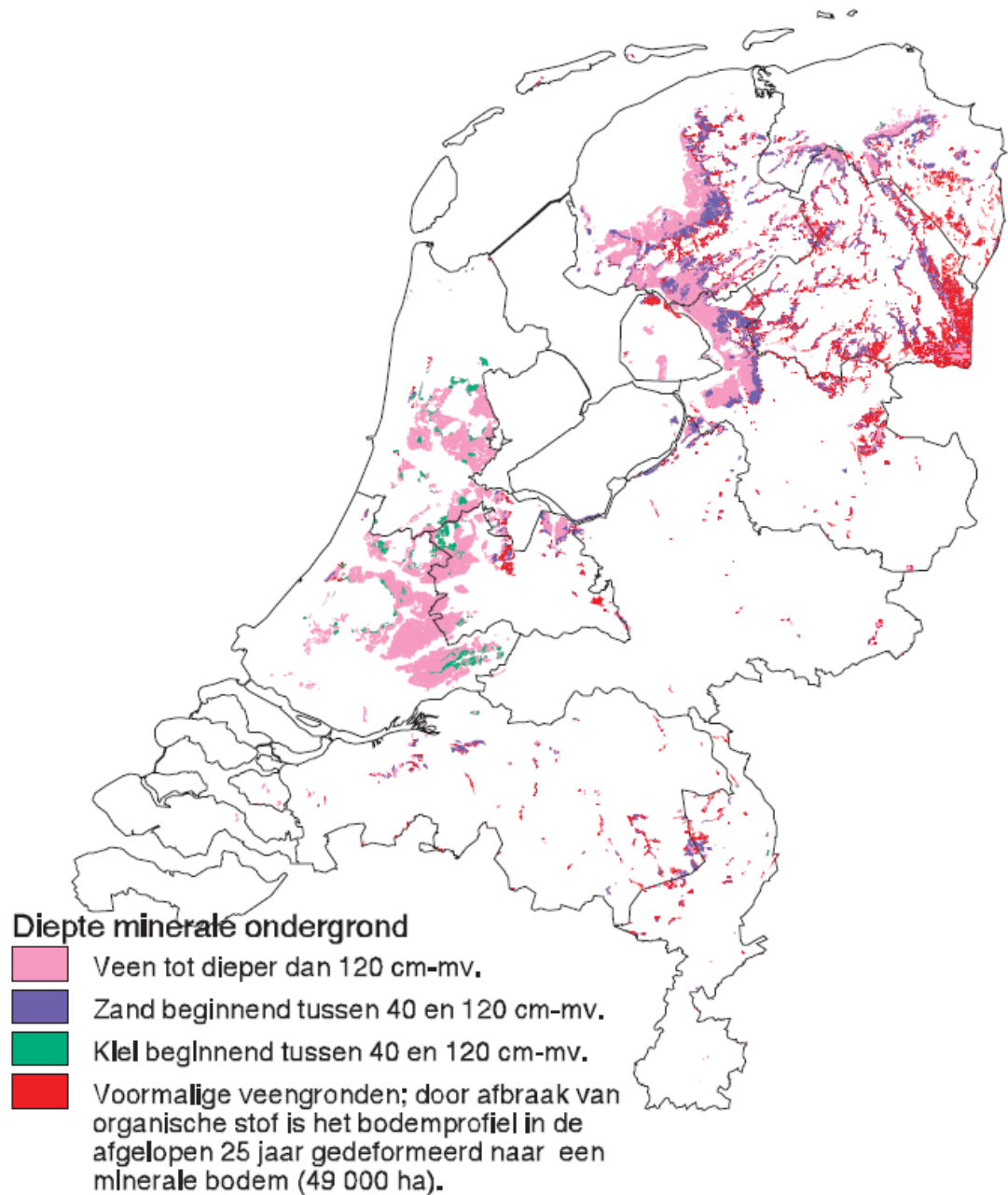
Reijneveld *et al.* (2009) concludeerden ook dat er regionale verschillen zijn binnen Nederland. De hoogste gemiddelde toename van het gehalte organische koolstof werd gevonden in de centraal gelegen rivierkleigronden en bedraagt 0,37 g/kg per jaar. Uit de standaardfouten die zijn vermeld in figuur 4.7 blijkt dat voor geen van de drie vormen van landgebruik de toename in statistische zin significant is. In de zeekleigronden in het noorden van Nederland en in de gebieden met veengronden, moerige gronden of kleiig veen nam volgens Reijneveld *et al.* (2009) het organischestofgehalte af. In de volgende paragraaf gaan we nader in op de veengronden.

#### **4.2.2 Afname veengronden**

Bij veengronden en moerige gronden komen oppervlakkige veenlagen voor. Door toetreding van lucht oxideert het organische materiaal, waardoor deze lagen steeds dunner worden. Er is sprake van een sluipend proces van veenafbraak dat voornamelijk een gevolg is van ontwatering en grondgebruik. Doordat de veenlaag dunner wordt of verdwijnt kunnen veengronden veranderen in moerige gronden en moerige gronden in minerale gronden. Dit

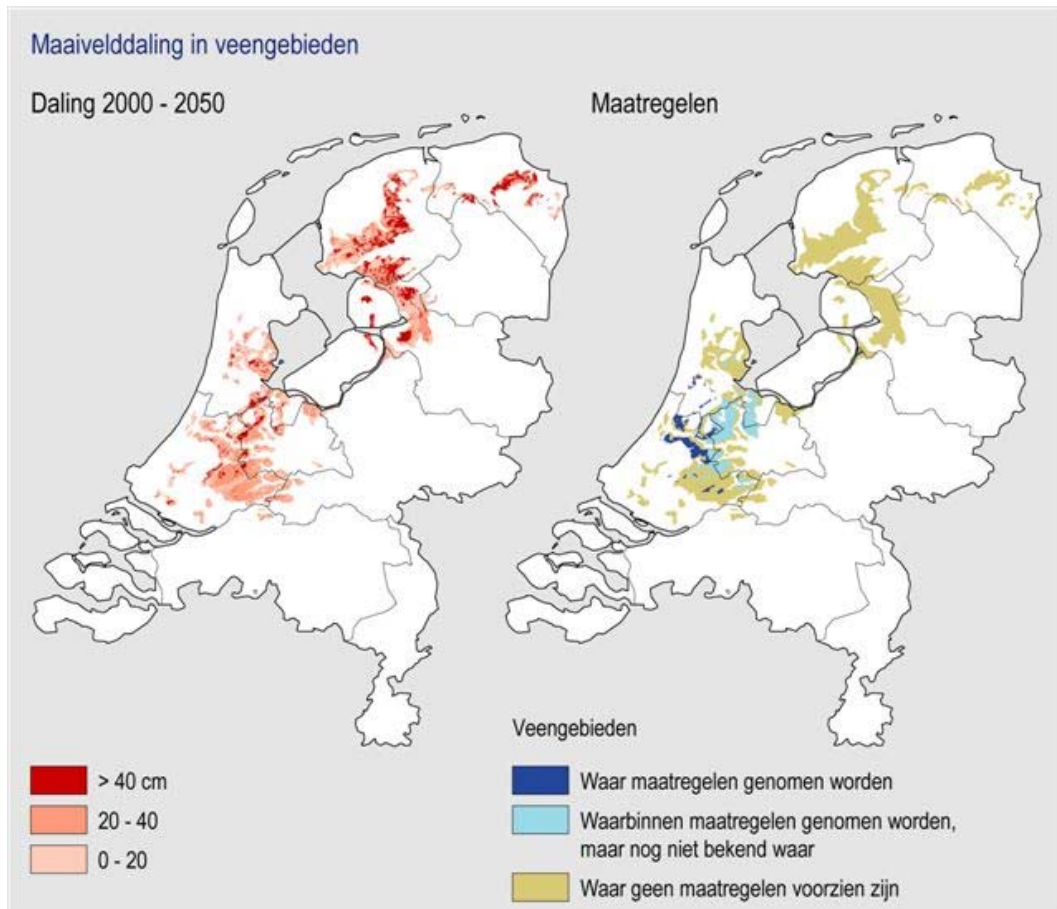


speelt vooral bij de veengronden in Oost-Nederland, omdat de veenlagen daar relatief dun zijn. In 2004 is de zogenaamde ‘veenkartering’ afgerond, een onderzoek naar de ligging van de huidige veengronden in Oost-Nederland (figuur 4.8). Uit dat onderzoek blijkt dat sinds de opname van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, in 1980-1985 het areaal veengronden met ca. 47% is verminderd.



*Figuur 4.8. Resultaat van de zogenaamde ‘veenkartering’ in 2004: begindiepte van minerale grond onder het veen.*

Dit wordt onder meer bevestigd door onderzoek van het Planbureau voor de Leefomgeving, gepubliceerd in de Milieubalans (Milieu- en Natuurplanbureau, 2006). Figuur 4.9 komt uit die Milieubalans.



Figuur 4.9. Maaiveld daling (MNP): verwachte maaiveld daling in veengebieden tot 2050 (links) en gebieden waar maatregelen tegen maaiveld daling voorzien zijn (rechts).

#### 4.2.3 Gebruikte gegevens en relatie met ‘common criteria’

De ontwerp tekst voor de Kaderrichtlijn Bodem stelt voor om voor de inschatting van het risico op afname van de hoeveelheid organische stof gebruik te maken van de volgende zogenaamde ‘common criteria’ (zie ook paragraaf 2.2): bodemeenheid, bodemtextuur en kleigehalte, organischestofgehalte van de bodem, organischestofvoorraad van de bodem, klimaat, topografie, bodembedekking, grondgebruik.

Voor de kaarten in dit hoofdstuk zijn bijna al deze data gebruikt, behalve gegevens over klimaat en topografie. Er is ook informatie beschikbaar over de organischestofvoorraad (gemaakt voor studies rond broeikasgasemissies), maar deze is buiten beschouwing gelaten, omdat het immers vooral over afname van de hoeveelheid organische stof gaat.



## 5        **Structuurbederf**

### 5.1        **Verdichting**

#### 5.1.1     **Inleiding**

De ondergrond verdichtte gedurende de laatste decennia doordat in het streven naar een grotere productiviteit de bedrijfsomvang groeide, de mechanisatie voortschreed en werktuigen zwaarder werden. In de afgelopen dertig jaar zijn zwaardere machines ontwikkeld voor transport en grondbewerking. De toename van de belasting die hier het gevolg van was kon vaak niet geheel worden gecompenseerd door grotere banden en met een lagere bandenspanning (Tijink *et al.*, 1995). Verdichting leidt tot een slechtere beworteling, dalende opbrengsten en stijgende beheerskosten. Verdichting leidt tot een slechtere bodemstructuur, wat soms nog wordt verergerd doordat water zich direct boven de verdichte laag of ploegzool opeenhoopt (Jones *et al.*, 2003), met als gevolg:

1. toename van laterale stroming door de bodem, waardoor organische afvalstoffen (drijfmest en slib), pesticiden, herbiciden en andere landbouw-chemicaliën sneller het oppervlaktewater bereiken;
2. verkleining van het bodemsysteem dat beschikbaar is om te fungeren als een buffer en een filter voor verontreinigingen;
3. verhoogd risico op erosie en fosforverliezen door preferente stroming over de verdichte ondergrond;
4. een versnelling van waterafvoer uit en binnen stroomgebieden;
5. een toename van de productie van broeikasgassen en grotere stikstofverliezen door denitrificatie vanwege nattere omstandigheden.

Als ondergrondverdichting eenmaal heeft plaatsgevonden, is het vaak erg lastig en duur om te verhelpen (Jones *et al.*, 2003). Het is belangrijk om de kwetsbaarheid voor ondergrondverdichting van verschillende bodems en vormen van landgebruik in te schatten, zodat passende maatregelen kunnen worden geïdentificeerd om ondergrondverdichting onder verschillende omstandigheden te voorkomen of verminderen, maar ook om de omvang van de feitelijke en potentiële problemen te kunnen schatten.

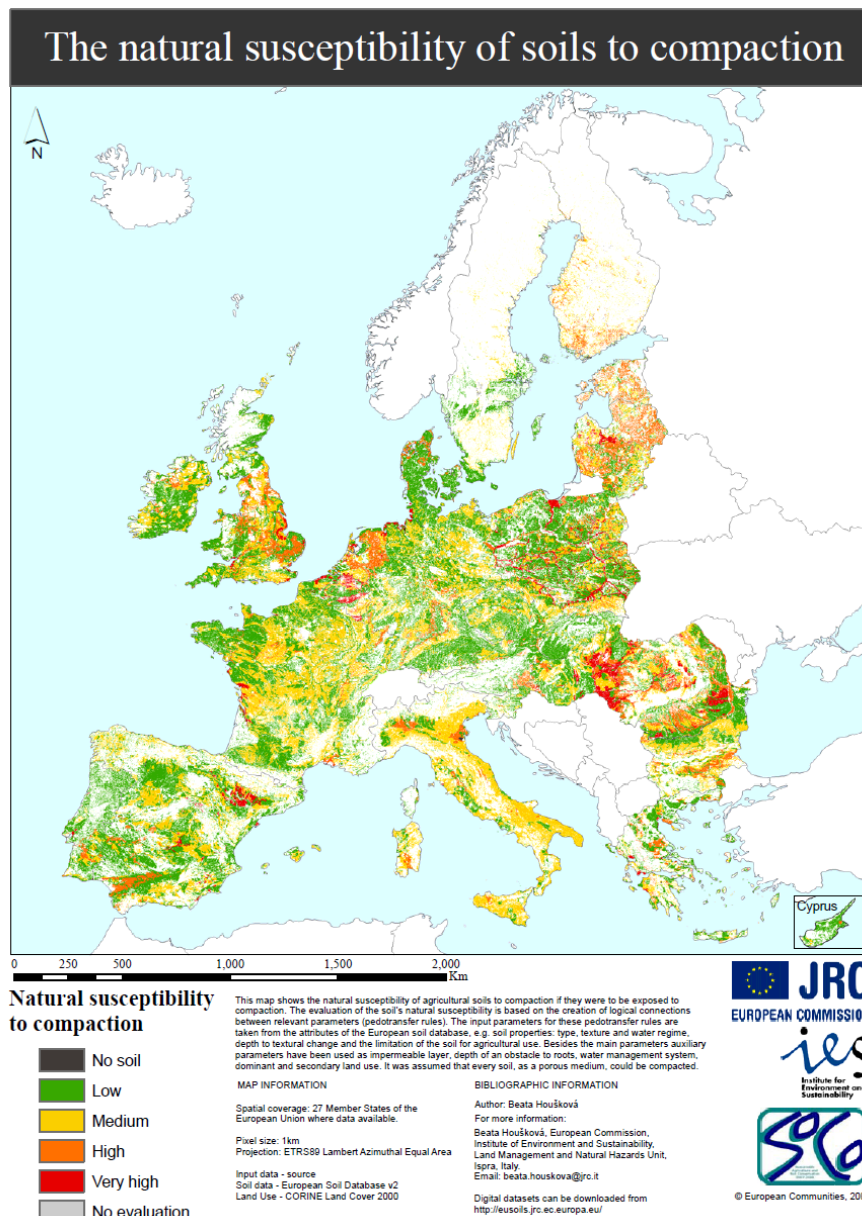
Metingen van de bodemsterkte of draagkracht zijn de meest directe manier om de kwetsbaarheid voor verdichting te beoordelen. Omdat er echter geen betrouwbare, gemakkelijk toepasbare bepalingsmethoden beschikbaar zijn moet de kwetsbaarheid voor verdichting worden geschat op basis van gemakkelijk meetbare en/of beschikbare gerelateerde gegevens, aangevuld met kennis over het gedrag van de bodem onder belasting.

Doelstelling is om drie methoden om verdichting van de ondergrond in kaart te brengen die binnen Europa en/of Nederland zijn toegepast te illustreren en vergelijken. Deze drie methoden maken gebruik van bodem- en klimatologische

gegevens, gegevens over de kwetsbaarheid van de ondergrond voor verdichting of incidenteel gemeten verdichting en geven in kaartvorm de kwetsbaarheid voor verdichting of opgetreden verdichting weer. De drie methoden zijn:

1. de SIDASS-methodiek;
2. de 'vulnerability to compaction'-methodiek (Jones *et al.*, 2003) (expertkennis);
3. een vlakdekkende kaart van *bulk density* op basis van metingen.

### 5.1.2 Europa



Figuur 5.1. Gevoeligheid voor ondergrondverdichting in Europa.  
 (bron: <http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/compaction/susceptibility.html>)

Kennis over de kwetsbaarheid van de bodem voor ondergrondverdichting in Europa en Nederland is gewenst voor o.a. de Europese Kaderrichtlijn Bodem. 'De ondergrond' is hier gedefinieerd als het bodemmateriaal direct onder de normale bewerkingdiepte voor akkerbouw of grasland.

Figuur 5.1 geeft de gevoeligheid voor ondergrondverdichting weer op basis van één van de drie methoden voor heel Europa, namelijk die gebruik maakt van expertkennis waarmee de kwetsbaarheid voor verdichting op basis van bodemkundige gegevens is bepaald. Voor een beschrijving van de methodiek, zie:

<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/compaction/susceptibility.html>.

Deze kaart laat zien dat de Nederlandse bodems relatief gevoelig zijn voor verdichting. Dit komt in de volgende subparagraaf uitgebreid aan bod.

### 5.1.3 Nederland

Voor Nederland zijn ter illustratie en vergelijking drie methoden toegepast. Twee daarvan zijn eerder toegepast in één of meerdere andere Europese landen. De derde methode is in 2008 ontwikkeld op basis van bulkdichtheidmetingen in Nederland.

#### ***Overschrijding van de bodemsterkte volgens de SIDASS-methodiek***

Een vergelijkbare methodiek is eerder toegepast door Van den Akker (2004). Sindsdien zijn de ontwikkelingen op Europees niveau voortgegaan en vindt de systematiek in veel Europese landen ingang, zoals in Zweden, Denemarken, Duitsland, Roemenië en Spanje.

Door gegevens over draagkracht te koppelen voor groepen van eenheden uit de bodemkaart is de maximale draagkracht van de bodem bepaald. Deze kennistabel uit 1997 is gebaseerd op pedo-transferfuncties uit Duitsland en is eerder toegepast door Van den Akker (2004).

De draagkracht van de ondergrond wordt gekoppeld aan de bodemeenheden volgens de Nederlandse bodemkaart 1:250.000 (De Vries *et al.*, 2003). De bodemkaart is daarvoor vereenvoudigd tot 21 bodemfysische eenheden die elk weer zijn opgebouwd uit bouwstenen van de Staringreeks voor de boven- en ondergrond. De kenmerken van bouwstenen die direct onder de grondbewerkingdiepte voorkomen worden gebruikt om de bodemsterkte te bepalen. Zodoende ontstond een landsdekkend beeld van de draagkracht of sterkte van de bodem. Tabel 5.1 geeft de bodemmechanische eigenschappen in relatie tot de bodemtextuur van de ondergrond.

Afhankelijk van de textuur van de bovengrond wordt aangenomen dat de bewerkingdiepte varieert tussen 22 en 32 cm (Van den Akker, 2004). Kleigronden worden minder diep geploegd dan zandgronden waardoor de ondergrondverdichting op geringere diepte optreedt.

Aangenomen wordt dat ondergrondverdichting optreedt zodra wiellasten de draagkracht (sterkte) van de ondergrond overschrijden. Hierbij wordt rekening gehouden met het bodemgebruik, de vochttoestand waarbij dit gebeurt, de activiteiten die plaatsvinden en de machines die daarbij worden toegepast. Op basis van landgebruikgegevens, bijbehorende activiteiten en daarbij gebruikte machines kan de belasting worden ingeschat. De activiteiten die de zwaarste belasting veroorzaken worden als maatgevend beschouwd en gehanteerd voor de berekeningen. Voor bouwland wordt het rooien van suikerbieten gehanteerd, en worden de bijbehorende kenmerkende wiellasten, banduitrusting en bandspanningen gebruikt. Dit vormt de invoer voor een berekening van grondspanningen die door de wiellasten optreden. Omdat van bietenrooiers de gegevens over wiellasten, banduitrustingen en bandspanningen het best bekend zijn en omdat deze voor bouwland één van de zwaarste belastingen vormen, is een kaart voor bouwland gemaakt. Voor grasland levert het uitrijden van mest vergelijkbare wiellasten omdat hierbij al vroeg in het jaar met zware tanks wordt gereden.

Tabel 5.1. Bodemmechanische eigenschappen en toegestane wielbelasting voor Terra Tire 73x44.00-32 voor 2,5 pF. F\_Pv is de toegestane wielbelasting gebaseerd op compressie sterkte (SS), F-MC is toegestane wielbelasting gebaseerd op schuifsterkte (Mohr Coulomb vergelijking met cohesie C en hoek van inwendige wrijving  $\varphi$ ).

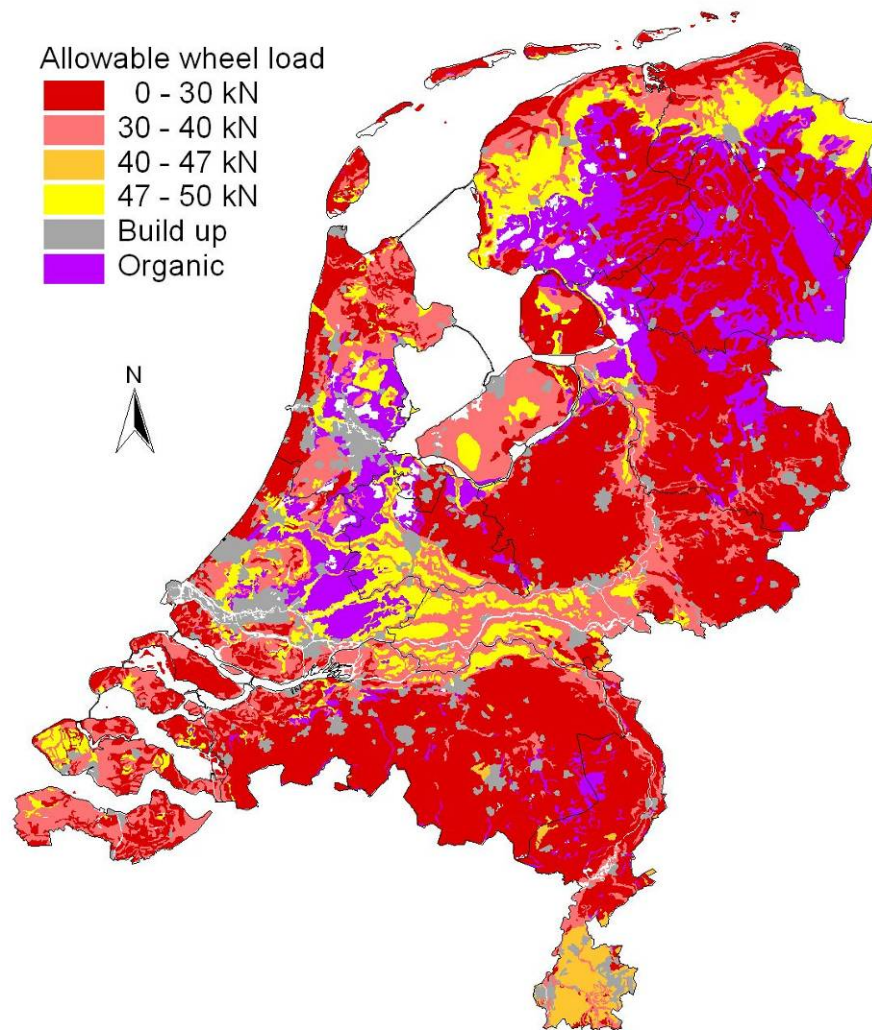
Textuur	Kleigehalte	C (kPa)	$\varphi$ (°)	SS(kPa)	Diepte (cm)	F_Pv (kN)	F-MC(kN)
Course sand	< 8	10	32	240	32	125	29
Sand	< 8	12	28	198	32	103	30
Sandy loam <sup>a</sup>	< 8	10	32	122	32	62	29
Sandy loam <sup>b</sup>	8-18	10	32	140	27	66	29
Clay loam	18-25	14	31	79	27	36	
Light Clay	18-35	26	36	118	22	49	
Medium Clay	35-50	26	36	96	22	39	
Heavy Clay	> 50	34	38	114	22	48	
Sandy silt	< 18	15	39	82	22	29	
Silt loam	< 18	26	37	110	22	47	

Het SOCOMO-model (Van den Akker *et al.*, 2006) is gebruikt voor de berekening van de maximaal toelaatbare wiellasten. De berekening is gebaseerd op de Good Year Terra Tire 73x44.00-32 met de minimaal benodigde bandenspanning bij een zuigspanning van 30 kPa (pF2.5), wat normaal is voor de periode waarin bieten worden geroid. Gebaseerd op de mechanische eigenschappen van de bodem, de zuigspanning, het type band en de bandenspanning zijn de kritische wielbelastingen berekend met SOCOMO. De maximaal toelaatbare wiellasten zijn gekoppeld aan de bodemfysische eenheden van de bodemkaart 1:250000, wat een kaart (figuur 5.2) van de maximaal toelaatbare wiellasten voor de niet-bebouwde minerale gronden oplevert.

Figuur 5.3 geeft het effect van verdichting en vervorming door wielbelasting schematisch weer. De blokken aan de linkerkzijde van de figuur geven de grondlaag weer voordat deze is verdicht of vervormd. Als door de wielbelasting een grondlaag verdicht wordt deze dunner en dichter (rechtsboven). Als door

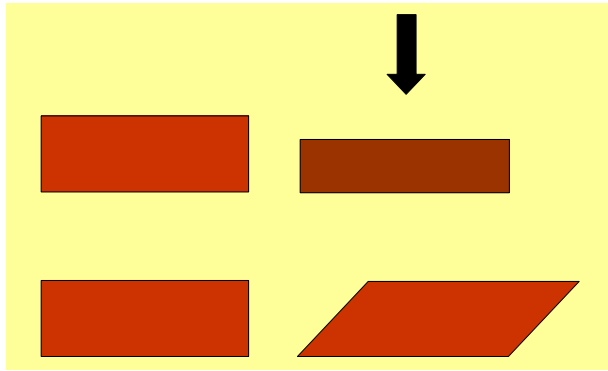


wielbelasting de schuifsterkte van de grond wordt overschreden, dan vervormt de grond (rechtsonder). Pure verdichting (rechtsboven) leidt wel tot een dichtere grond maar een deel van doorgaande macroporiën blijft bestaan. Treedt echter bovendien afschuiving op (rechtsonder) dan worden de macroporiën onderbroken, en is de grond veel kwetsbaarder voor dichtdrukken. NB: macroporiën zijn essentieel voor de waterdoorlatendheid en zuurstofvoorziening en bepalen in hoge mate of de structuur van een grond goed of slecht is.



Figuur 5.2. Maximaal toelaatbare wielast voor een Terra Tire 73x44.00-32 bij een zuigspanning van 30 kPa,  $\phi F$  2.5.





Figuur 5.3. Verdichting (boven) en vervorming (onder) door wielbelasting.

### 'Vulnerability to compaction' (Jones *et al.*, 2003)

De 'vulnerability to compaction'-methodiek die is ontwikkeld door Jones *et al.* (2003) is in ENVASSO gebruikt als een 'Key indicator' voor bodemverdichting. In WP5 van ENVASSO is voor Roemenië een vergelijking gemaakt tussen deze methode en de SIDASS-methodiek.

Met de 'vulnerability to compaction'-methodiek wordt de gevoeligheid voor verdichting geschat op basis van de bodemtextuurklassen van FAO-UNESCO. Met een pedotransferregel (PTR), ontwikkeld door Van Ranst *et al.* (1995), is een schatting van de huidige pakkingsdichtheid (PD) gemaakt. De PD is een maat die de bulkdichtheid, de structuur, het organischestofgehalte en kleigehalte integreert en zeer nuttig blijkt voor het schatten van de mate van verdichting van de ondergrond (Jones *et al.*, 2004). Als de bulkdichtheid en het kleigehalte bekend zijn, kan PD worden geschat met het volgende model:

$$PD = Db + 0.009C + \epsilon, \quad (1)$$

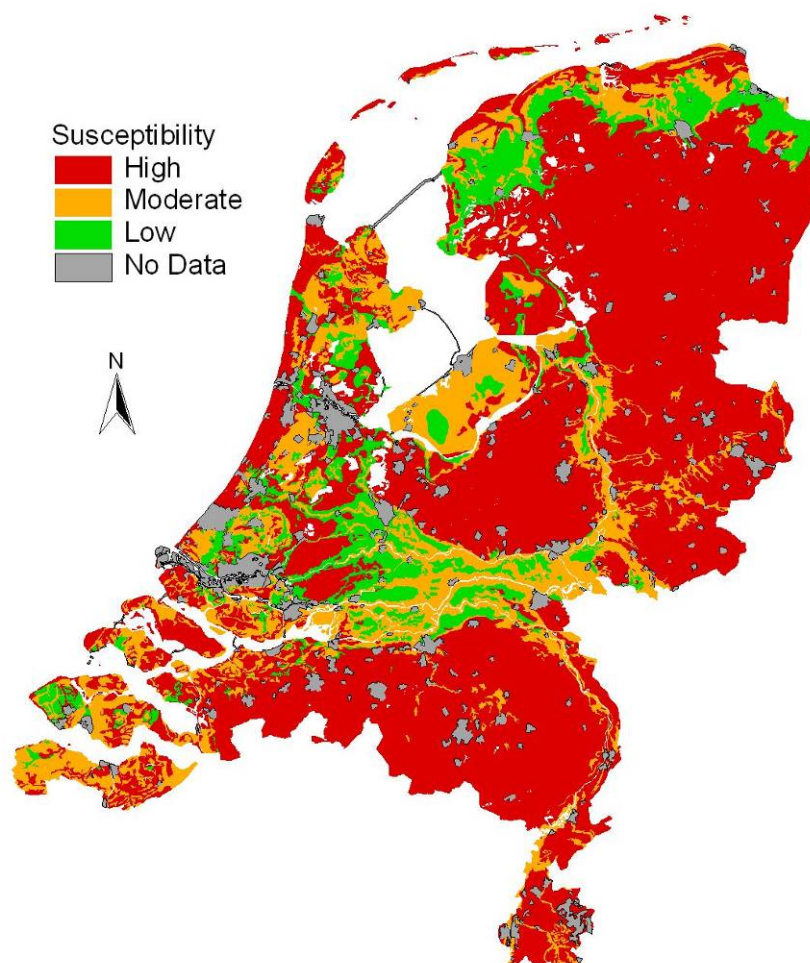
waarin  $Db$  de bulkdichtheid in  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  is,  $PD$  de pakkingsdichtheid in  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $C$  het kleigehalte en  $\epsilon$  het deel van  $PD$  dat niet uit  $Db$  en  $C$  kan worden verklaard. Drie klassen voor  $PD$  worden onderscheiden: laag ( $<1,40$ ), normaal ( $1,40-1,75$ ) en hoog ( $> 1,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). Bodems met een hoge  $PD$  ( $> 1,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) zijn over het algemeen minder gevoelig voor verdere verdichting dan bodems met een lagere  $PD$  ( $<1,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), die vooral kwetsbaar zijn bij een kritisch vochtgehalte en hoge lasten. Tabel 5.2 geeft de gevoeligheid voor verdichting, afhankelijk van de bodemtextuur en pakking volgens Spoor *et al.* (2003). De bodemtextuurklassen volgens Spoor *et al.* (2003) kennen meer differentiatie dan die van Jones *et al.* (2003), en zijn daardoor beter geschikt voor het karakteriseren van de Nederlandse situatie.

De gevoeligheid in tabel 5.2 is gekoppeld aan de 21 klassen van de bodemfysische eenheden van de Nederlandse bodemkaart 1 : 250 000, gebaseerd op de bodemtextuur op een diepte van ongeveer 30 cm. Kleigronden hebben een geschatte bewerkingdiepte van ongeveer 22 cm, siltige leem heeft een geschatte bewerkingdiepte van ongeveer 27 cm en zand heeft een geschatte bewerkingdiepte van ongeveer 32 cm. De ondergrond begint direct onder de

bewerkingsdiepte en de bodemtextuur op deze diepte is afkomstig uit de bodemfysische eenheden gekoppeld aan de bodemkaart 1 : 250 000. Figuur 5.4 geeft een kaart van de gevoeligheid (*susceptibility*) voor verdichting in Nederland.

Tabel 5.2. Gevoeligheid voor verdichting, afhankelijk van textuur en pakking volgens Spoor et al. (2003).

Textuur	Pakking (PD)		
	Laag < 1.4 g.cm <sup>-3</sup>	Normaal 1.4 – 1.75 g.cm <sup>-3</sup>	Hoog > 1.75 g.cm <sup>-3</sup>
Course	Very high	High	Moderate
Medium (<18% clay)	Very high	High	Moderate
Medium (>18% clay)	High	Moderate	Low
Medium fine (<18% clay)	Very high	High	Moderate
Medium fine (>18% clay)	High	Moderate	Low
Fine	Moderate	Low	Low
Very fine	Moderate	Low	Low
Organic	Very high	High	-



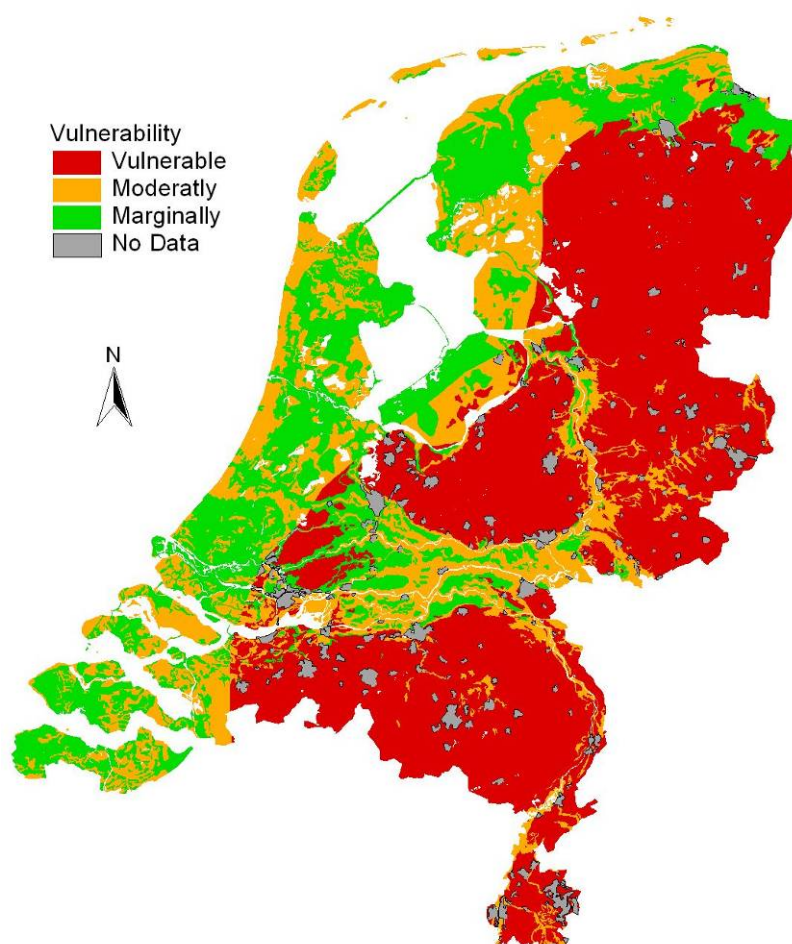
Figuur 5.4. Gevoeligheid voor verdichting op basis van de Nederlandse bodemkaart.

De gevoeligheid wordt omgezet in kwetsbaarheidsklassen (tabel 5.3) op basis van klimatologische omstandigheden die zijn gekwantificeerd met het potentiële bodemvochtttekort (PSMD [mm]). Nederland kan op basis van PSMD-waarden worden gesplitst in twee delen: de kuststreek met een PSMD tussen 126 en 200 mm en het binnenland met een PSMD tussen 51 en 125 mm.

Tabel 5.3. Kwetsbaarheid voor verdichting afhankelijk van gevoeligheid en klimaat (Naar Jones et al., 2003)

Susceptibility Class	PSMD in [51-125mm]	PSMD in [126-200mm]
Very high	Extremely vulnerable	Vulnerable
High	Vulnerable	Moderately vulnerable
Moderate	Moderately vulnerable	Marginally vulnerable
Low	Marginally vulnerable	Marginally vulnerable

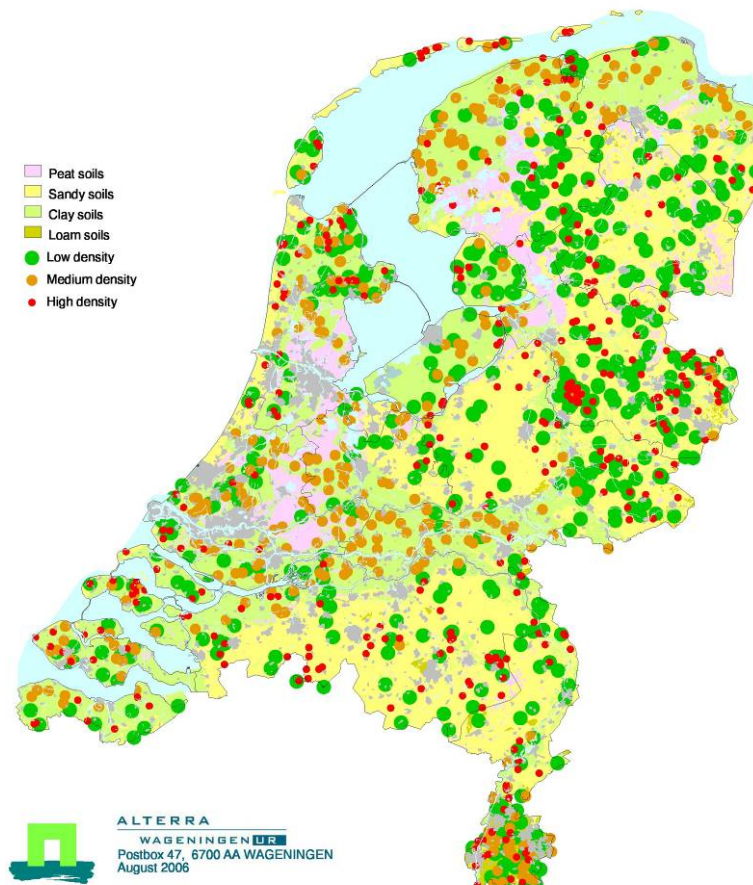
Figuur 5.5 geeft de resulterende kaart met de kwetsbaarheid voor verdichting in Nederland.



Figuur 5.5. Kwetsbaarheid voor verdichting, gebaseerd op gevoeligheid en klimaat.

### ***Vlakdekkende kaart van bulk density op basis van metingen***

Jan van de Akker en Folkert de Vries (Alterra-Wageningen UR) maakten in 2006 een puntenkaart voor locaties waar bulkdichtheden van de ondergrond zijn gemeten (figuur 5.6). Deze metingen zijn beperkt in aantal en vaak ook meer dan tien jaar oud. De vraag is of metingen van meer dan tien jaar geleden de actuele situatie nog afdoende beschrijven. En zo niet, zijn oudere waarnemingen dan toch bruikbaar bij het kwantificeren van de actuele verdichting als een bepaalde gelijkmatige verandering in de tijd wordt gevonden? Voor de meetlocaties werden met statistische technieken de trends en correlaties in ruimte en tijd onderzocht. De uitkomsten hiervan bepaalden in hoeverre de (oude) meetgegevens bruikbaar zijn bij het maken van vlakdekkende kaarten van de actuele situatie en de situatie in het recente verleden. Naast kaarten van de actuele situatie in kaart werd ook de nauwkeurigheid van deze kaarten gekwantificeerd.

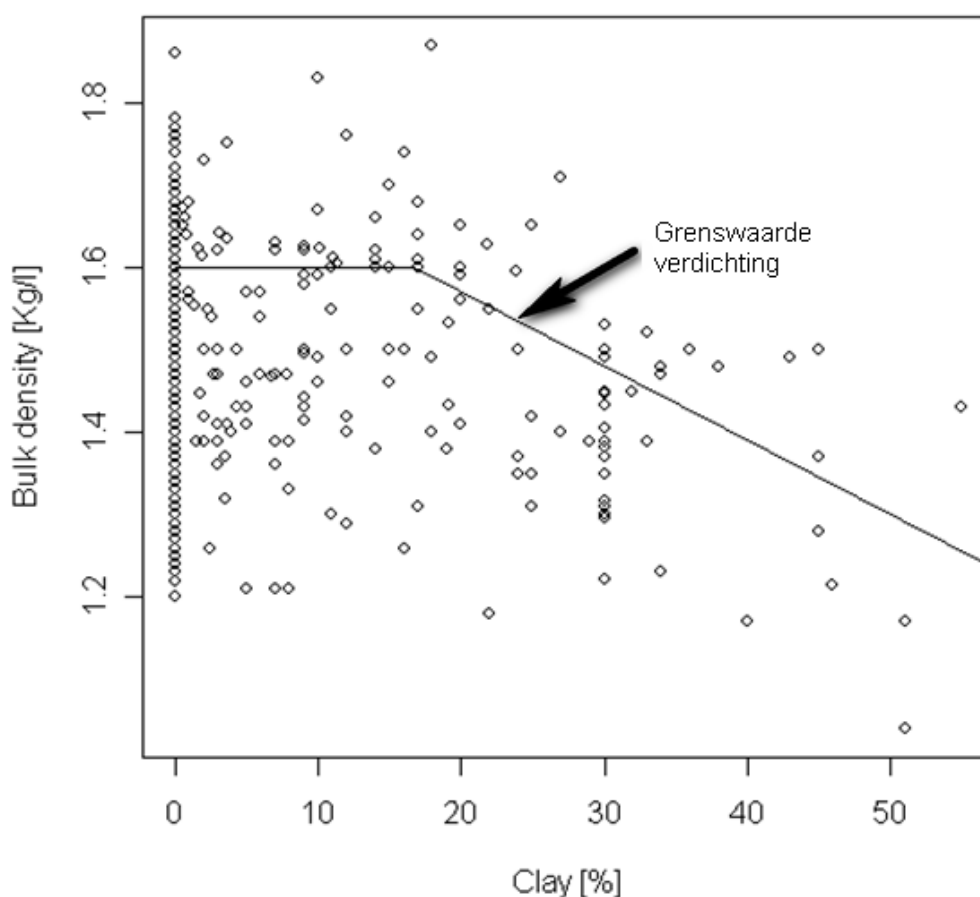


*Figuur 5.6. Overzicht van gemeten dichtheden, voor zover bekend in BIS (studie 2006).*

De statistische methode om ondergrondverdichting in kaart te brengen is ontwikkeld in 2008. Ze maakt gebruik van circa 500 metingen van de bulkdichtheid in de ondergrond die zijn opgeslagen in BIS en verzameld tussen

1961 en 2008. Alleen metingen van de bulkdichtheid op een diepte van ongeveer 30 cm, afhankelijk van textuur, worden gebruikt. Kleigronden ( $> 25\%$  lutum) hebben een geschatte bewerkingdiepte van ongeveer 22 cm, zware zavel ( $18\% < \text{lutum} < 25\%$ ) hebben een bewerkingdiepte van ongeveer 27 cm. Zandgronden, bodems met zandige leem en lichte zavel ( $\text{lutum} < 18\%$ ) hebben een bewerkingdiepte van ongeveer 32 cm. De ondergrond begint direct onder de bewerkingdiepte en de informatie over textuur op deze diepte is afkomstig uit de bodemfysische eenheden gekoppeld aan de bodemkaart 1 : 250 000.

De gemeten bulkdichtheid en het kleigehalte worden gebruikt om te beoordelen of de bulkdichtheid de textuurafhankelijke grenswaarde overschrijdt. In figuur 5.6 is de bulkdichtheid uitgezet tegen het kleigehalte en de grenswaarde voor verdichting aangegeven met een lijn. De grenswaarde voor zand- en leembodems met een kleigehalte  $< 17\%$  bedraagt  $1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  en voor de bodem met een kleigehalte  $> 17\%$  is grenswaarde gehanteerd die afneemt met het kleigehalte volgens formule 1.



*Figuur 5.7. Metingen van bulkdichtheid en kleigehalte. De lijn geeft de grenswaarde aan: metingen boven de lijn geven verdichting aan, de mate van verdichting is de afstand tot de lijn.*

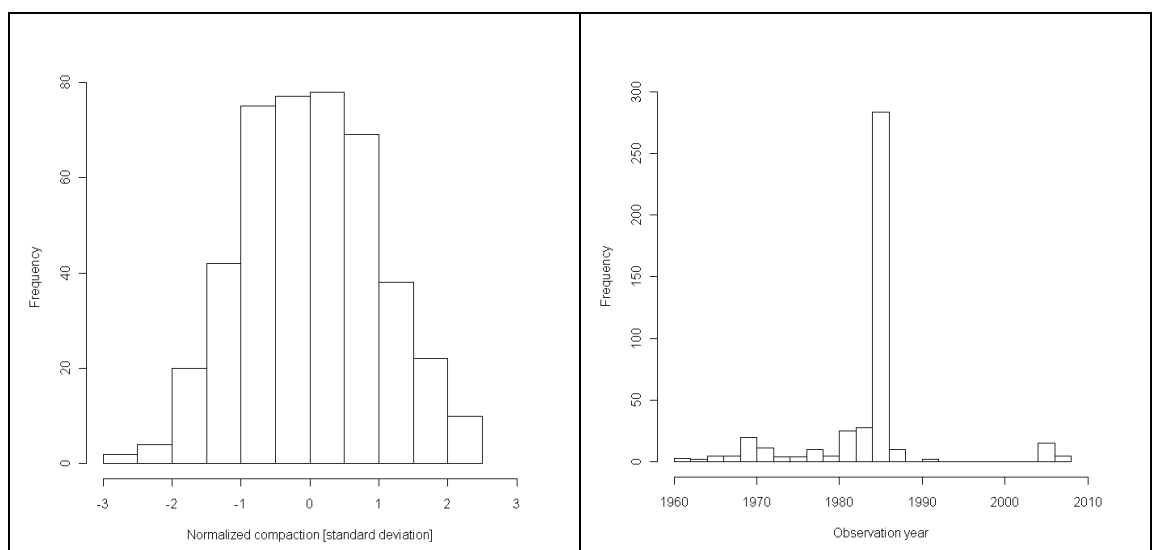
Gemeten bulkdichtheden boven de lijn geven aan dat de ondergrond is verdicht. We gebruiken de 'mate van verdichting' om uit te drukken hoe ver de meting

boven of onder de lijn in figuur 5.7 ligt. De mate van verdichting is hier gedefinieerd als de gemeten bulkdichtheid als percentage van de grenswaarde. Door de mate van verdichting te koppelen aan de bouwstenen van de Staringreeks en per bouwsteen het gemiddelde en de verspreiding te kwantificeren kunnen we een landsdekkende kaart maken en de nauwkeurigheid van de kaart kwantificeren.

De metingen van de mate van verdichting kunnen een bepaald patroon vertonen in ruimte en tijd: metingen op korte afstand van elkaar lijken meer op elkaar dan op metingen op grote afstand, en metingen die korte tijd na elkaar hebben plaatsgevonden lijken meer op elkaar dan metingen die plaatsvonden op tijdstippen die ver uiteen liggen. Deze samenhang in ruimte of tijd noemen we autocorrelatie. De autocorrelatie neemt in de regel af met de afstand of met de lengte van het waarnemingsinterval. Als de gemeten mate van verdichting is gecorreleerd in ruimte en tijd, kan het gemiddelde beeld nauwkeuriger worden geschat door rekening te houden met de tijdstippen en de locaties van de metingen. Geostatistische interpolatie in ruimte en tijd vergroot de voorspelnauwkeurigheid van de mate van verdichting, door rekening te houden met de correlatie in ruimte en tijd (Goovaerts, 1997). Geostatistische interpolatie vereist stationariteit van metingen die zijn gebruikt bij de interpolatie. Stationariteit wil in dit geval zeggen dat gemiddelde en variatie van de mate van verdichting niet afhangen van locatie en tijdstip, en dat de correlatie alleen afhangt van afstand en tijdsinterval. Om te voldoen aan de veronderstelling van stationariteit is de genormaliseerde mate van verdichting ( $nc_s$ ) per bouwsteen ( $s$ ) berekend als de gemeten verdichting ( $c_s$ ), minus de gemiddelde verdichting gedeeld door de standaarddeviatie van verdichting per bouwsteen:

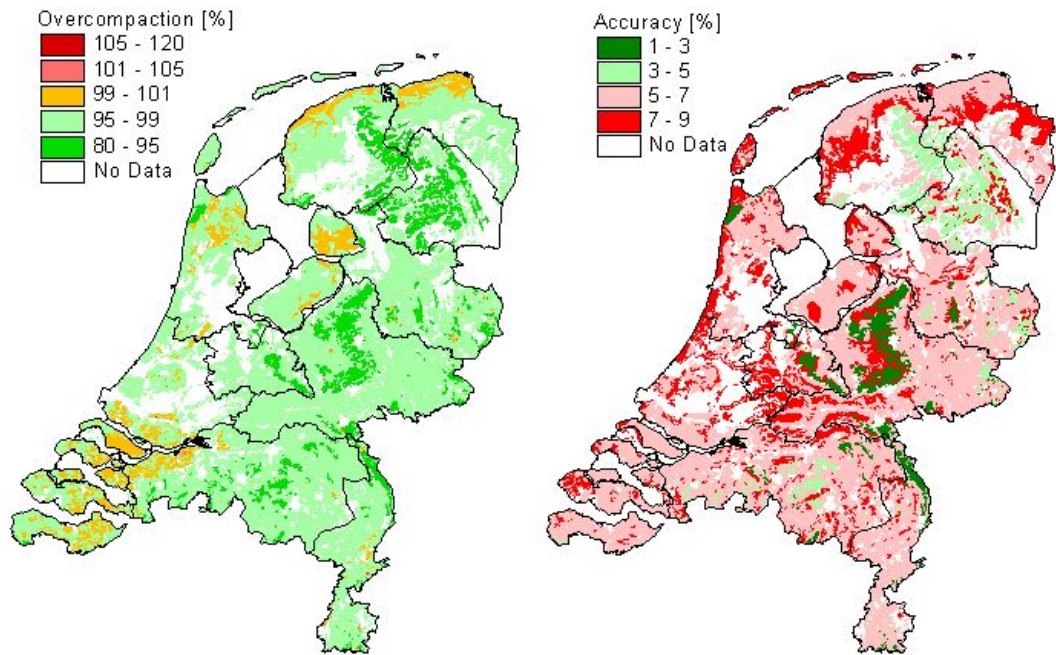
$$nc_s = \frac{c_s - \hat{c}_s}{\hat{\sigma}(c_s)} \quad (2)$$

Figuur 5.8 geeft de genormaliseerde verdichting weer voor alle meetlocaties en het aantal metingen per jaar.



Figuur 5.8. Frequentieverdeling van de genormaliseerde verdichting en de metingen.



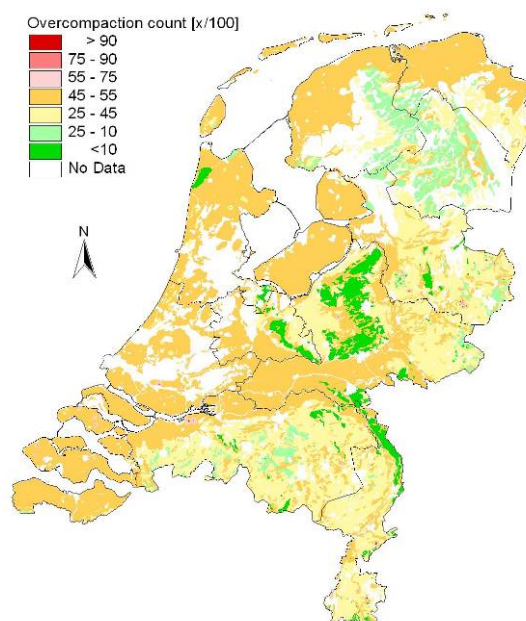


*Figuur 5.9. Schatting van de mate van ondergrondverdichting (links) en de nauwkeurigheid van die schatting (rechts) voor het jaar 2000.*

Met behulp van een lineair trendmodel voor de mate van ondergrondverdichting door de jaren heen kan de situatie in een specifiek jaar worden voorspeld. Door het beperkte aantal recente bulkdichtheidmetingen (zie figuur 5.8 rechts) is de schatting van een lineaire temporele trend per bodemeenheid relatief onbetrouwbaar. Daarom kon alleen voor alle bodemeenheden samen een trend geschat worden. Gezien het aantal metingen is dit een noodzakelijke aanname om kaarten te kunnen vervaardigen maar het veronderstelt een vergelijkbare ontwikkeling in de tijd voor alle bouwstenen. De veronderstelde lineaire trend zal voor de toekomst een overschatting van de mate van verdichting opleveren omdat de toename van verdichting vermindert bij een hogere dichtheid: het wordt steeds lastiger een reeds verdichte grond verder te verdichten. De geschatte toename van de mate van verdichting over alle bouwstenen samen bedraagt 0,0178% per jaar en is significant. Aanvullend op deze algemene trend is de exacte locatie en tijd van individuele bulkdichtheidmetingen gebruikt voor het verfijnen van de voorspelling in zowel ruimte als tijd. Interpolatie met behulp van kriging (Goovaerts, 1997) in combinatie met het trendmodel levert een 'Best Unbiased Prediction (BLUP)' van de genormaliseerde mate van verdichting in ruimte en tijd. De genormaliseerde krigingvoorspellingen en krigingvariantie zijn teruggetransformeerd naar de voorspellingen van de mate van verdichting en de nauwkeurigheid hiervan voor afzonderlijke bouwstenen in een specifiek jaar. Figuur 5.9 geeft ter illustratie kaarten van de mate van

verdichting (bulkdichtheid als percentage van de grenswaarde) (links) en de nauwkeurigheid van de voorspelde verdichting (rechts). De nauwkeurigheid is hier uitgedrukt als standaardafwijking van de voorspelde mate van verdichting (standaardfout).

Op basis van de voorspelde mate van verdichting en de nauwkeurigheid van deze voorspelling kan de kans worden berekend dat een specifieke locatie vanaf een bepaald jaar is verdicht. Figuur 5.10 illustreert dit met het verwachte aantal waarnemingen per 100 waarnemingen waar verdichting is opgetreden in het jaar 2010.



*Figuur 5.10. Verwachte aantal waarnemingen per 100 waarnemingen waar in 2010 ondergrondverdichting is opgetreden.*

#### 5.1.4 Herstelvermogen

Door zwel en krimp kunnen kleiondergronden herstellen van verdichting. Bij het uitdrogen (krimp) vormen zich scheuren door de dichte laag, die het voor water, lucht en wortels mogelijk maken om dieper in de ondergrond door te dringen. Als de grond onder invloed van water zwelt kan de grond weer losser worden. Door herhaalde krimp- en zwelcycli verbetert zo de structuur van de grond. Als de ondergrond door berijden echter steeds weer opnieuw wordt verdicht, heeft de grond geen tijd voor goed herstel. De mate en snelheid van herstel door zwel en krimp zijn nog niet goed onderzocht. De ervaring is echter dat verdichte grond nooit helemaal herstelt. Bedacht moet worden dat de verdichte laag moet uitdrogen, terwijl een dichte laag juist lang nat blijft. Bovendien droogt verdichte grond niet gemakkelijk uit omdat de wortelgroei is beperkt. Hoe dieper de grond



is verdicht, hoe natter hij blijft en moeilijker hij uitdroogt. De herstelcapaciteit is dan zeer slecht.

Omdat in zandondergronden en lichte zavelgronden lutum ontbreekt of beperkt aanwezig is, herstellen deze gronden niet of slechts beperkt door krimp bij uitdrogen. Door deze ondergronden te woelen herstellen misschien tijdelijk de infiltratiecapaciteit en bewortelingsmogelijkheden, maar veel doorgaande macroporiën worden verstoord en de losgemaakte grond is zeer gevoelig voor herverdichting. De herverdichte grond heeft in het algemeen een zeer slechte structuur en heeft vaak veel slechtere bodemfysische eigenschappen dan de originele ondergrond.

De resultaten van de teelt van diepwortelende gewassen om de ondergrond weer te verbeteren zijn teleurstellend. Door de verdichting is de groei al belemmerd en verder moet de teelt waarschijnlijk veel langer worden volgehouden dan in de praktijk wordt gedaan. Het combineren met woelen en het langdurig voorkómen van zware berijding zou mogelijk een oplossing zijn, maar wordt eigenlijk niet consequent toegepast. Met de introductie van rijbanenteelt zou dit misschien wel mogelijk zijn.

### 5.1.5 Gebruikte gegevens en relatie met ‘*common criteria*’

De ontwerptekst voor de Kaderrichtlijn Bodem stelt voor om voor de inschatting van het risico op erosie gebruik te maken van de volgende zogenaamde ‘*common criteria*’ (zie ook paragraaf 2.2):

bodemeenheid, bodemtextuur (boven- en ondergrond), bodemdichtheid (boven- en ondergrond), organischestofgehalte, klimaat, bodembedekking, grondgebruik, topografie.

Voor de methoden voor het schatten van de gevoeligheid voor verdichting (SIDASS en Jones) is informatie over bodemeenheid, bodemtextuur en organischestofgehalte gebruikt. Daarnaast zijn echter ook fysische gegevens gebruikt die in de *common criteria* niet genoemd worden. Voor de methode ‘Jones’ is ook gebruik gemaakt van klimaatzones. Bodemdichtheidsgegevens zijn gebruikt voor figuren 5.9 en 5.10.

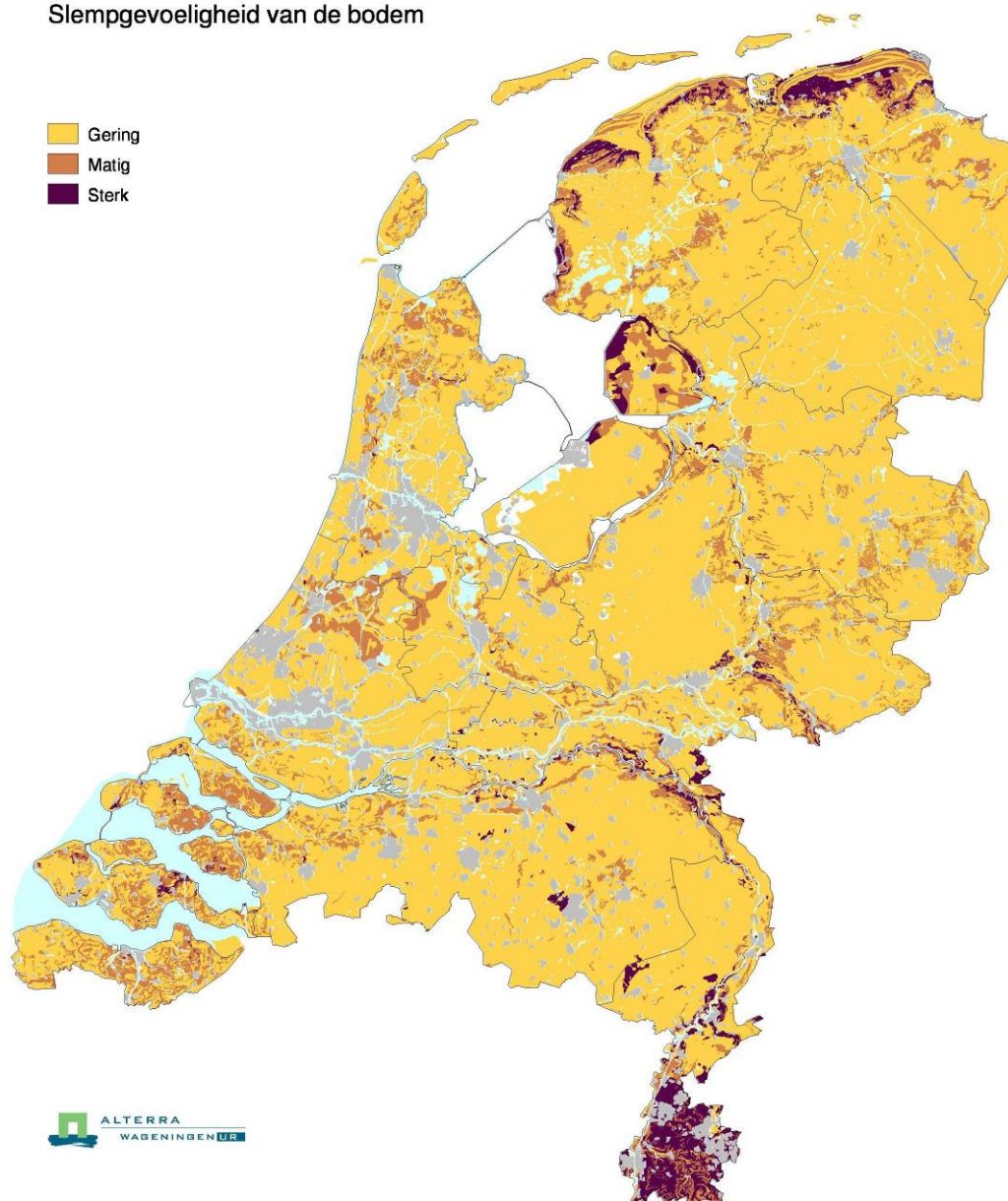
## 5.2 Slemp

Er is op verschillende plaatsen in Nederland sprake van bodemdegradatie als gevolg van slemp- of stuifgevoeligheid. Deze factoren maken deel uit van het systeem voor beoordeling van bodemgeschiktheid (Van Soesbergen *et al.*, 1986; Ten Cate *et al.*, 1995; Hendriks *et al.*, 1999) voor akkerbouw. Slempgevoeligheid duidt aan in hoeverre de bodemaggregaten kunnen uiteenvallen of vervloeien onder invloed van neerslag of hoge vochtgehalten in de bodem, waarbij een slempkorst of interne slemp ontstaat. Zodoende is sprake van bodemdegradatie en deze is te beschouwen als een vorm van erosie onder invloed van water. Dit speelt alleen bij leemgronden en zavelgronden of gronden met een kleidek. De

indeling in gradaties (gering, matig, groot) is dan afhankelijk van de textuur van de bovengrond. Bij voldoende bodembedekking is er nauwelijks gevaar voor het optreden van slemp. Zodoende speelt deze beoordelingsfactor geen rol bij de geschiktheidsbeoordeling voor weidebouw. Figuur 5.10 geeft de gevoeligheid voor slemp weer voor Nederland op basis van de Bodemkaart schaal 1:50.000. Voor deze figuur is ervan uitgegaan dat de slempgevoeligheid groot is bij de leem- en lössgronden. Vooral de lössgronden in Zuid-Limburg zijn sterk slempgevoelig (Vleeshouwer en Damoiseaux, 1990). In de Noordoostpolder komen slempgevoelige zeer fijnzandige gronden voor met een lutumgehalte van 7 à 10%. De slempgevoeligheid is ook groot voor alle zavelgronden met een lutumgehalte van minder dan 17,5%, gecombineerd met een organischestofgehalte van minder dan 3% en een koolzure-kalkgehalte van minder dan 0,5%. Als het koolzure-kalkgehalte hoger is of het organischestofgehalte hoger is, dan is de slempgevoeligheid matig. Voor zavelgronden met een lutumgehalte dat groter of gelijk is aan 17,5% is de slempgevoeligheid alleen matig als het koolzure-kalkgehalte lager is dan 0,5%. In alle andere gevallen wordt de slempgevoeligheid gering genoemd.

### Slempgevoeligheid van de bodem

- Gering
- Matig
- Sterk



*Figuur 5.11. Slempgevoeligheid op basis van de Bodemkaart schaal 1:50.000 en criteria volgens Boekel et al.*

Tenslotte is in figuur 5.12 een combinatie van figuur 5.11 en het bodemgebruik gemaakt. In de praktijk treedt slemp alleen op wanneer het vegetatiedek ontbreekt.

## Bodemgebruik en slempgevoeligheid



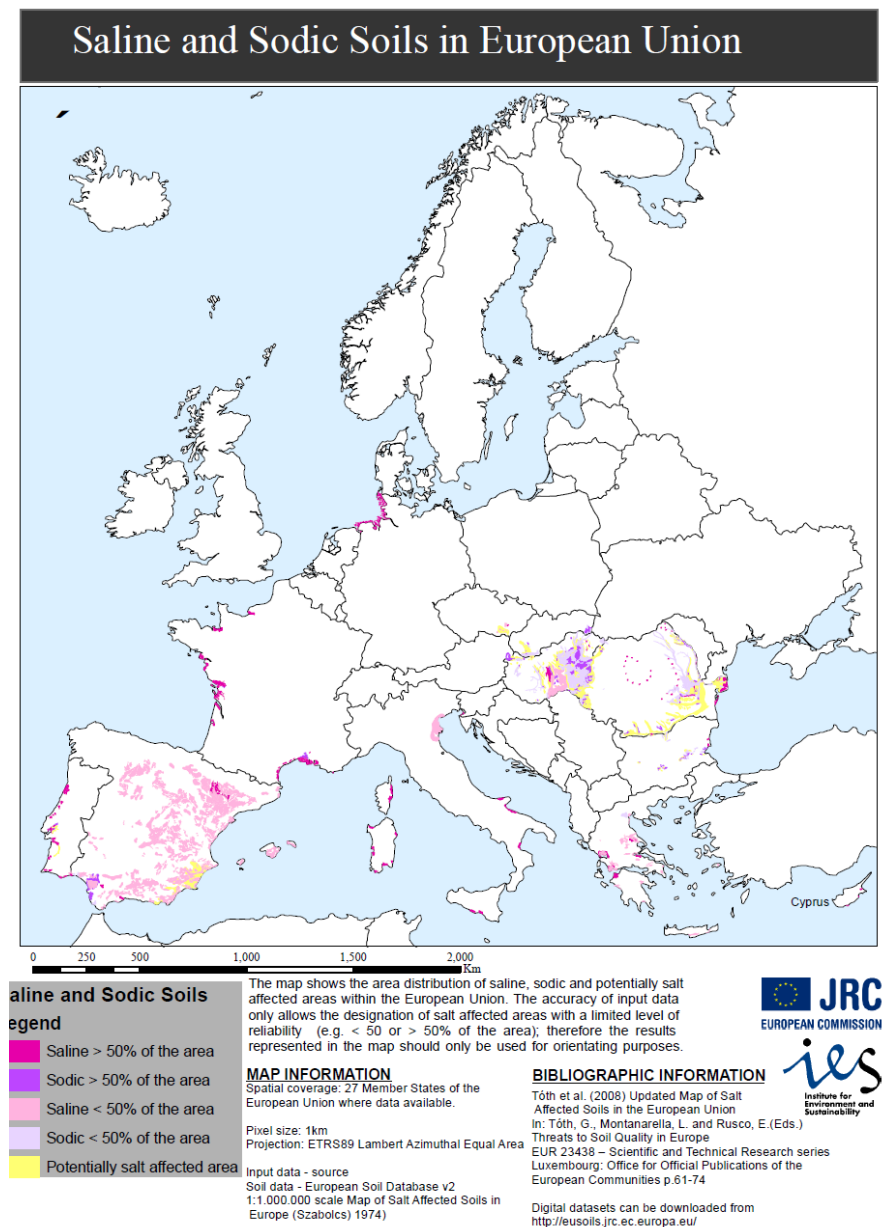
*Figuur 5.12. Slempgevoeligheid op basis van de Bodemkaart schaal 1:50.000 conform figuur 5.11 gecombineerd met bodemgebruik.*



## 6 Verzilting

In de ontwerptekst voor de Kaderrichtlijn Bodem wordt verzilting beschreven als accumulatie van oplosbare zouten in de bodem.

### 6.1 Europa



Figuur 6.1. Kaart van zoute gronden en gronden met potentiële zoutaccumulatie in Europa.

Volgens de kaart in figuur 6.1. komt verzilting in de zin van de KRB niet veel voor. Opvallend is wel dat de Duitse Waddenkust wel als zout wordt aangemerkt en de Nederlandse waddenkust helemaal niet. In het bijzonder bij deze kaart is door JRC aangegeven dat de beschikbare data erg divers waren. Volgens deze kaart op Europees niveau bevinden zich in heel Noordwest-Europa geen gronden, die potentiële gevoelig zijn voor zoutaccumulatie (gele vlakken in de kaart).

De Europese Commissie (2006) beschrijft in haar voorstel voor een Bodemrichtlijn *salinisation* als volgt:

“Salinisation, the accumulation in soils of soluble salts mainly of sodium, magnesium, and calcium, can occur naturally in low, poorly drained areas in hot and dry climates, where surface water collects and evaporates, but can be exacerbated by human activities, in particular due to inadequate irrigation of agricultural land.”

De nadruk ligt dus op accumulatie van zouten in de bodem waarbij een duidelijk verband met (indampen van) oppervlaktewater gelegd. Dit verklaart wel waarom Nederland op de kaart in figuur 6.1 niet gekleurd is.

## 6.2 Nederland

In Nederland komt, vooral in de kustprovincies, zout kwelwater voor. In 2002 brachten TNO en Alterra voor Noord- en Zuid-Holland de achtergrondbelasting-concentratie van Cl door kwel via een modelstudie in kaart voor het zomer- en winterseizoen (Griffioen *et al.*, 2002). Hoewel dit fenomeen in Nederland verzilting wordt genoemd, is hier echter nauwelijks sprake van accumulatie van zouten in de bovengrond, vooral omdat er over het algemeen ook een neerslagoverschot is. Het voorkomen van zoute kwel is dus iets anders dan de door de EU beschreven *salinisation*. *Salinisation*, zoals omschreven door de Europese Commissie (2006) in haar voorstel voor een Bodemrichtlijn, komt in Nederland niet voor.

## 7 Verzuring

### 7.1 Europa

Over het algemeen heeft verzuring betrekking op zowel landbouw als natuur. Verzuring wordt in de ontwerptekst voor de KRB gedefinieerd als “significante daling van de pH” (zie ook hoofdstuk 1) en wordt als probleem gezien voor productieve gronden. Verzuring moet worden tegengegaan om de landbouwkundige productiviteit van bodems te handhaven.

### 7.2 Nederland

Deze paragraaf is gebaseerd op De Vries (2008) en de websites van het ministerie van VROM en van het Planbureau voor de Leefomgeving over het dossier verzuring.

Verzuring wordt in Nederland niet gezien als een bedreiging voor landbouwgronden omdat deze door de toepassing van kalking beschermd worden tegen verzuring. In Nederland heeft verzuring daarom vooral betrekking op natuurlijke ecosystemen.

Bij verzuring in de bodem gaat het niet alleen om het zuurder worden van de bodem (pH-daling), maar ook om de afname van de buffercapaciteit van de bodem, die daaraan voorafgaat. Oorzaken van verzuring zijn natuurlijke processen, afvoer van gewassen (landbouw) en bomen (bosbouw) en luchtverontreiniging. Het blijkt dat in de jaren tachtig ca. 80-90% van de potentiële verzuring werd veroorzaakt door zure depositie. Momenteel is dat nog ca 65-80%. In landbouwgronden en kalkgronden is de bijdrage van zure depositie veel kleiner. Was dat in de jaren tachtig nog 25-50% op landbouwgrond en 20-30% op kalkrijke grond, tegenwoordig is dat ongeveer de helft. In die gronden wordt verzuring voor het grootste deel veroorzaakt door natuurlijke processen door het niet gesloten zijn van de koolstofkringloop. Zure depositie bestaat uit verzurende stoffen die via de lucht of regen in de bodem terecht komen. De aanwezigheid van verzurende stoffen in de atmosfeer is het gevolg van emissies van zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) voornamelijk uit industrie, stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) voornamelijk uit elektriciteitscentrales en autoverkeer en ammoniak (NH<sub>3</sub>), voornamelijk uit landbouw.

De effecten van zure depositie op de natuur kunnen zich direct uiten in schade aan korstmossen, planten en bomen en indirect via het schadelijke ozon voor planten. Ook kan overmatige depositie van zuur leiden tot een verandering van de soortensamenstelling in vegetaties en tot een achteruitgang van de biodiversiteit. De ecologische effecten van vermesting door stikstof zijn echter belangrijker geworden dan de verzurende effecten van zwavel en stikstof. Veel



natuurlijke ecosystemen zijn stikstofgelimiteerd, waardoor extra stikstof extra groei geeft. Daarbij is de beschikbaarheid van stikstof bepalend voor de concurrentieverhoudingen tussen de plantensoorten. Meestal neemt een beperkt aantal plantensoorten sterk toe ten koste van meerdere andere, zodat de biodiversiteit afneemt. Aquatische ecosystemen zijn vaak fosfor gelimiteerd en dan is fosforverrijking de oorzaak van biodiversiteitsverlies. Vergrassing van heide en bossen, kroos- en algenbloei zijn herkenbare voorbeelden van de gevolgen van vermesting.

Het beleid om verzuring tegen te gaan valt binnen één thema, samen met grootschalige luchtverontreiniging. De stoffen die bijdragen aan grootschalige luchtverontreiniging en verzuring zijn gedeeltelijk dezelfde. Ook zijn er bronnen die aan beide problemen een bijdrage leveren. Bovendien hebben de stoffen die verzuring en grootschalige luchtverontreiniging veroorzaken, vergelijkbare effecten op ecosystemen en de volksgezondheid. Het is niet mogelijk om deze effecten te onderscheiden naar hun oorzaak: verzuring (zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak) respectievelijk luchtverontreiniging (vluchtige organische stoffen). Het milieubeleid behandelt ze daarom onder één noemer.

In internationaal verband maakten 31 landen, waaronder alle EU-lidstaten, in het zogenoemde Gothenburg Protocol afspraken over emissieplafonds voor 2010. Op 23 oktober 2001 kwamen de EU-lidstaten nationale emissieplafonds overeen in de National Emission Ceilings Directive (NEC-richtlijn). De Nederlandse doelstellingen zijn vastgelegd in het vierde Nationaal Milieubeleidsplan. Dit zijn inspanningsverplichtingen, die scherper zijn dan de internationale afspraken. De reden hiervoor is om een veiligheidsmarge op te bouwen bij tegenvallers.

Sinds de jaren tachtig is de depositie als gevolg van het luchtbeleid met 80% afgenomen. De stikstofdepositie daarentegen daalde met slechts 25% sinds 1980. Ammoniak levert inmiddels de grootste bijdrage aan zowel de vermestende als de potentieel zure depositie.

Ondanks de afgenomen zure depositie is in de bodem nog altijd sprake van een doorgaande verzuring, zoals een afname van de buffercapaciteit van de bodem. Herstel van de buffervoorraden in de bodem vereist dus nog een verdergaande reductie van de depositie. Toch is de pH in het bodemvocht door de afname van de depositie wel weer gestegen sinds de jaren negentig. Afgaand op de Europese definitie van verzuring, zou je dus kunnen zeggen dat verzuring geen probleem meer is in Nederland, maar voor het herstel van de buffercapaciteit van de bodem is nog wel degelijk reductie van depositie nodig.

## 8 Gegevensbehoefte

De ontwerptekst voor de Kaderrichtlijn Bodem stelt voor om voor de inschatting van de risico's op voorkomen van de verschillende bodembedreigingen gebruik te maken van de zogenoemde '*common criteria*'. Voor de belangrijkste bodembedreigingen herhalen we in dit hoofdstuk wat al in de betreffende hoofdstukken is opgenomen

### 8.1 Erosie

'*Common criteria*' voor erosie:

bodemeenheid, bodemtextuur, bodemdichtheid, hydraulische eigenschappen, topografie (incl. helling en hellingslengte), bodembedekking, bodemgebruik, klimaat, hydrologische eigenschappen, agro-ecologische zone.

Voor de kaarten in hoofdstuk 3 (figuren 3.2 t/m 3.5) is in ieder geval gebruik gemaakt van gegevens over bodemeenheid en textuur en voor de combinatiekaarten 3.3 en 3.5 zijn data over bodemgebruik en indirect ook bodembedekking toegepast. Voor de watererosiekaarten is gebruik gemaakt van informatie over hellingen. In Nederland is op landelijke schaal geen informatie beschikbaar over hellingslengte. Misschien is dergelijke informatie wel regionaal voorhanden.

Niet direct gebruikt zijn data over dichtheid of hydraulische eigenschappen. In indirecte zin zeggen bodemtypen en -textuur wel iets over dichtheid en waterdoorlatendheid.

Formeel is Nederland te verdelen in twee klimaatzones, maar deze informatie is in dit rapport voor de inschatting van erosiegevoeligheid niet gebruikt.

### 8.2 Organische stof

'*Common criteria*' voor afname van de hoeveelheid organische stof:

bodemeenheid, bodemtextuur en kleigehalte, organischestofgehalte van de bodem, organischestofvoorraad in de bodem, klimaat, topografie, bodembedekking, grondgebruik.

Voor de kaarten in hoofdstuk 4 zijn bijna al deze data gebruikt, behalve klimaat en topografie. Er is ook informatie beschikbaar over de organischestofvoorraad (gemaakt voor studies rond broeikasgasemissies), maar deze is buiten beschouwing gelaten, omdat het immers vooral over afname van de hoeveelheid organische stof gaat.

Juist omdat het de vraag is waar sprake is van afname van de hoeveelheid organische stof, is het interessant om te weten hoe veranderlijk de organischestofgehalten zijn. Er is nu volop aandacht voor de veengronden, maar er is weinig informatie beschikbaar over de kwaliteit en afbraaksnelheid van organische stof bij de minerale gronden.

### **8.3 Verdichting**

‘*Common criteria*’ voor verdichting: bodemeenheid, bodemtextuur (boven- en ondergrond), bodemdichtheid (boven- en ondergrond), organischestofgehalte, klimaat, bodembedekking, grondgebruik, topografie.

Voor de methoden voor het schatten van de gevoeligheid voor verdichting (SIDASS en Jones *et al.*, 2003) is in hoofdstuk 5 informatie over bodemeenheid, bodemtextuur en organischestofgehalte gebruikt. Daarnaast zijn echter ook fysische gegevens gebruikt die in de *common criteria* niet genoemd worden. Voor de methode ‘Jones’ is ook gebruik gemaakt van klimaatzones. Bodemdichtheidsgegevens zijn in hoofdstuk 5 gebruikt voor figuren 5.9 en 5.10.

### **8.4 Betrouwbaarheid**

Betrouwbaarheid van de gebruikte gegevens en de kaartbeelden geeft informatie over hoe goed we weten hoe het er in Nederland voorstaat met de bodembedreigingen. In dit rapport is alleen bij de thema’s organische stof en verdichting ingegaan op de betrouwbaarheid van de kaarten. Bij andere thema’s kon dat niet omdat informatie over de nauwkeurigheid van de gegevens ontbreekt.

### **8.5 BIS**

Veel van de gepresenteerde kaarten zijn direct gebaseerd op de bodemkundige informatie uit het Bodemkundig InformatieSysteem (BIS) van Alterra. Sommige bodemparameters zijn aan verandering onderhevig en voor een goede weergave van de huidige toestand is dan ook actualisatie nodig van de gegevens over dynamische variabelen, die al lang geleden voor het laatst verzameld zijn. Dit is bijvoorbeeld aan de orde bij de veengronden in Nederland. Landsdekkende kaarten over organischestofgehalten maken vooralsnog dus gebruik van deels verouderde data. Het verdient aanbeveling om de gegevens die relevant zijn in het kader van de KRB en aan verandering onderhevig zijn te actualiseren.

## **8.6 Conclusies en aanbevelingen**

Op basis van de gepresenteerde resultaten in de voorgaande hoofdstukken concluderen we dat de nadruk in Nederland bij het aanwijzen van eventuele prioritare gebieden zal liggen op erosie, afname van de hoeveelheid organische stof en verdichting. Bij elk van deze bodembedreigingen zijn echter vragen te stellen. Deze vragen hebben enerzijds betrekking op de kennis over de kwetsbaarheid van de bodem in Nederland en anderzijds op de hoeveelheid en kwaliteit van de gegevens, waarop we ons tot nu toe hebben gebaseerd. Bovendien zal bij het eventuele aanwijzen van prioritare gebieden zoveel mogelijk moeten worden uitgegaan van informatie op regionale schaal.

In de ontwerptekst voor de KRB staat ook aangegeven dat in de aan te wijzen prioritare gebieden maatregelen moeten worden getroffen om verdere bodemaantasting te voorkomen door een vermindering van het risico daarvan en door het herstel van aangetaste bodems teneinde de bodemfuncties in stand te houden. Over het hoe en wat van deze maatregelenprogramma's is nog veel onbekend.

### **8.6.1 Erosie**

Watererosie wordt bijvoorbeeld vooral in Limburg bestreden met maatregelen in het bodembeheer en landgebruik. Het verdient aanbeveling om na te gaan in hoeverre deze maatregelen afdoende zijn. Voor winderosie is niet duidelijk of deze bodembedreiging voldoende wordt onderkend en of maatregelen nodig zijn.

### **8.6.2 Organische stof**

In het hoofdstuk over organische stof maakten we onderscheid tussen veengronden en minerale gronden. Bij de veengronden in Nederland sprake neemt de hoeveelheid organische stof evident af, maar het is niet voor alle regio's bekend in welke mate dit speelt. De zorg die bestaat voor afname van de hoeveelheid organische stof in de minerale gronden wordt nog niet door waarnemingen bevestigd. In de top laag van de bovengrond lijkt eerder sprake van toename van de hoeveelheid organische stof. Of de gegevens die beschikbaar zijn dus voldoende geschikt zijn om een uitspraak te doen wordt betwijfeld. Ook rijst de vraag of de kwaliteit van organische stof bekend is en in het bijzonder wat de afbraaksnelheid is van de verschillende soorten organische stof die in Nederland voorkomen.

### **8.6.3 Verdichting**

Over verdichting weten we het minst in ons land. De verschillende methoden die wij toepasten om de gevoeligheid voor verdichting in kaart te brengen hebben onvolkomenheden en zijn eigenlijk te grof. Meer kennis over zowel die gevoeligheid als over het herstelvermogen van gronden is nodig om het huidige beeld te verfijnen. Ook hebben we geprobeerd om de huidige toestand van ondergrondverdichting te kwantificeren. Op basis van de huidige gegevens is echter geen betrouwbare kwantificering in de vorm van een kaart mogelijk. Wij concluderen daarom dat er eerst meer meetgegevens moeten worden verzameld.

## 9 Klimaat

De relatie tussen klimaat en de Europese bodemstrategie kent twee kanten. Enerzijds heeft klimaatverandering effect op de bodem. Dat betekent dat de bodemrisico's en de daarmee samenhangende aanwijzing van prioritaire gebieden mogelijk veranderen indien rekening wordt gehouden met klimaatverandering. Anderzijds heeft het beheer van bodems effect op de uitstoot van broeikasgassen. Maatregelen die worden genomen in het kader van de Europese bodemstrategie kunnen mogelijk een positief of negatief effect hebben op de broeikasgasemissie en daarmee op het klimaat. Het verdient daarom aanbeveling dat maatregelen voor prioritaire gebieden ook worden beoordeeld op hun effect op het klimaat.

### 9.1 Het effect van klimaatverandering op de bodembedreigingen en de aanwijzing van prioritaire gebieden

De klimaatverandering uit zich in Nederland in zachtere en nattere winters, warmere zomers en langere perioden van droogte. Het aantal regendagen in zomer neemt af, maar de hevigheid van de buien neemt toe. De zeespiegel blijft stijgen. Tabel 9.1 vat samen wat de bovenstaande veranderingen betekenen voor de bodembedreigingen die in de Europese bodemstrategie worden genoemd. Voor de bodembedreigingen erosie, structuur (waaronder verdichting) en verzilting zal klimaatverandering naar verwachting tot een verslechtering van de situatie kunnen leiden. Voor de bodembedreiging 'afname hoeveelheid organische stof' geldt dat er zowel positieve als negatieve effecten van klimaatverandering zijn.

Over het algemeen geldt dat maatregelen die worden genomen tegen de relevante bodembedreigingen, bijdragen aan klimaatadaptatie. De bodemsystemen worden immers robuuster en zijn daarmee beter in staat om extreme situaties op te vangen.

Hieronder komen achtereenvolgens organischestofgehalte, erosie, structuur en verzilting aan bod. De beoordeling is uitsluitend kwalitatief. Voor een kwantitatieve beoordeling is meer informatie noodzakelijk over de criteria voor aanwijzing van risicogebieden, en een gedetailleerde modellering van de effecten waarbij rekening wordt gehouden met regio's, invloeden van andere factoren zoals landgebruik en de onzekerheden over de onderliggende relaties.

*Tabel 9.1. Samenvattend overzicht van mogelijke effecten van klimaatverandering op de bodem. + betekent gunstig en - betekent ongunstig.*

	Hogere temperatuur	Nattere winter	Drogere zomer	Hogere neerslagintensiteit	Stijgende zeespiegel
Erosie		-		-	
Organische stof	- / 0		+/-		
Verdichting		-		-	
Verzilting					-

### ***Organischestofgehalte***

Tot nu toe zijn nog geen bewijzen gevonden van het positieve dan wel negatieve effect van klimaatverandering op de hoeveelheid organische stof in de bodem. Klimaatverandering heeft op lange termijn wellicht een effect op het organischestofgehalte van de bodem, maar dat valt in het niet bij het effect van landgebruik. De hoeveelheid organische stof in de bodem is de resultante van aanvoer door materiaal van plantaardige en dierlijke oorsprong, en de afvoer via de afbraak van organische stof. Beide processen reageren op klimaatverandering, maar het is onduidelijk wat het netto-effect is. Hogere temperaturen stimuleren zowel de plantaardige productie als de afbraak, maar beide processen worden eveneens beïnvloed door het optreden van droogte en perioden met hevige neerslag. Op vergelijkbare wijze als bij de temperatuur, heeft droogte tegelijkertijd effect op de afbraak en aanvoer van organische stof. Bovendien komen droogte en hoge temperaturen vaak samen voor, waardoor beide effecten verstrengeld zijn. Over het algemeen is de afbraak van organische stof minder droogtegevoelig dan de plantaardige productie, maar dat kan verschillen per situatie. Daarnaast stimuleert het hogere gehalte aan atmosferisch koolstofdioxide de plantaardige productie, en dus de aanvoer van organische stof. Vanwege de grote voorraden organische stof zijn de veengebieden potentieel het meest kwetsbaar voor klimaatverandering.

Klimaatverandering heeft mogelijk een specifieke invloed op de degradatie van veengronden. De combinatie van hogere temperaturen en droogte (lager waterpeil) kan tot een significante toename van de koolstofafbraak leiden.

Effecten van klimaatverandering op organische stof in de bodem zijn niet eenvoudig te kwantificeren vanwege de complexiteit van de ecosystemen en de beperkte mogelijkheden om veranderingen op relatief korte tijdschalen voldoende nauwkeurig te meten. Binnen bodemmonitoringprogramma's blijkt het lastig te zijn om eventuele waargenomen veranderingen toe te wijzen aan specifieke klimaatparameters, omdat tegelijkertijd veranderingen optreden in temperatuur, neerslag en het gehalte aan koolstofdioxide in de atmosfeer. Bovendien speelt de interactie met andere variabelen zoals landgebruik of nutriëntenvoorziening een belangrijke rol

### ***Erosie***

Hevigere buien aan het einde van de zomer en in de winter, zullen bij niet-beteelde oppervlakten de kans op erosie vergroten. Het gevolg is verlies van grond, inclusief organische stof, restanten van gewasbeschermingsmiddelen en plantenvoedingsstoffen.

Voor zover nu bekend zullen de windpatronen niet of nauwelijks veranderen, waardoor het gevaar voor winderosie niet wezenlijk zal veranderen.

### ***Structuur***

Klimaatverandering heeft door middel van meer neerslag en het uitblijven van vorstperioden gevolgen voor de bodemstructuur. Natte omstandigheden in

voor- en najaar verhogen het risico op structuurbederf (waaronder verdichting) tijdens werkzaamheden op het land. Bovendien kan op gevoelige bodems meer verslemping optreden. Op kleigronden is het mogelijk dat de bodemstructuur in het voorjaar verslechtert door de warmere winters.

### ***Verzilting***

De hogere zeespiegel kan tot meer zoute kwel leiden in het westelijk deel van Nederland. De van zoet water afhankelijke laagveengebieden zijn het meest kwetsbaar.

## **9.2 Het effect van de aanwijzing van risicogebieden, en de daarbij behorende maatregelen, op de emissie van broeikasgassen**

Voor de bodembedreigingen erosie, afname van de hoeveelheid organische stof, en structuurbederf zijn verschillende maatregelen beschikbaar om negatieve effecten te voorkomen of te verkleinen. In tabel 2 is een overzicht weergegeven van een kwalitatieve inschatting van een maatregel op de emissie van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O)<sup>1</sup>. Over het algemeen geldt wel dat maatregelen die de lachgas- of methaanemissie verlagen oneindig lang doorwerken. Elk jaar dat de maatregel wordt gehandhaafd blijft de emissie op het lagere niveau. Bij koolstof ligt dat anders. Maatregelen die de vastlegging van koolstof in de bodem stimuleren hebben een eindig effect. Op een gegeven moment, na tientallen jaren, zal het organischestofgehalte niet verder meer toenemen, en is het effect van de maatregel uitgedoofd. Bovendien is het omkeerbaar, als de maatregel weer ongedaan wordt gemaakt.

In grote lijnen zullen de meeste maatregelen met betrekking tot het terugdringen van erosie en verlies van organische stof de emissie van koolstofdioxide verlagen, dan wel de vastlegging van koolstof verhogen. Daartegenover staat dat veel maatregelen mogelijk tot een hogere lachgasemissie leiden. Het effect van de maatregelen op de methaanemissie is slechts gering. Maatregelen die de bodemstructuur beschermen hebben meestal geen of een verlagend effect op de emissie.

De score in de maatregelentabel is slechts een kwalitatieve inschatting. Een beter onderbouwde inschatting vergt meer informatie over de regio en de mate waarin de maatregelen worden toegepast.

---

<sup>1</sup> Het opwarmend effect van broeikasgassen wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Een kg lachgas is gelijk aan 298 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten. Een kg methaan is gelijk aan 25 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten.



Tabel 9.2. Samenvattend overzicht van mogelijke effecten van bodemaatregelen op de emissie van broeikasgassen (+ is hogere emissie, - is lagere emissie). Het gaat om een kwalitatieve inschatting. Voor de vaststelling van de maatregelen is geput uit niet gepubliceerde documenten die zijn gebruikt bij de voorbereiding van Römken en Knotters (2007).

Bedreiging	Maatregelen	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Watererosie	Grasland niet scheuren	-		-
	Wintergewas telen	-		+
	Omschakeling naar grasland	-		+
	Gewasresten op veld laten liggen			+
	Organische stof in bovengrond verhogen	-		+
	No-till	-		+
	Contour-ploegen			
	Fruitbomen in grasland	-		
	Meer wintertarwe in bouwplan			
Winderosie	Zaaibed aandrukken			+
	Grover zaaibed			
	Organische stof in bovengrond verhogen	-		+
	Toediening dierlijke mest	-		+
	Toediening papier pulp			
	Omschakeling naar grasland	-		+
	Kleinere percelen			
Verlies van organische stof	Dierlijke mest toedienen	-		
	Compost	-		
	Peilverhoging	-	+	+
	No-till	-		+
	Grasland niet scheuren	-		-
	Gewasresten inwerken	-		+
	Meer weiden	-	-	+
	Wintergewas	-		
	Bouwplan met hogere aanvoer organische stof	-		+
	Omschakeling naar grasland	-		+
	Mais in vruchtwisseling ipv continueelt	-		+
Verdichting	Optimale drainage			-
	Slootpeil verlagen	+	-	-
	Diepwortelende gewassen			
	Geen gewassen met late oogst			
	Gewassen die je laat kunt zaaien/vroeg oogsten			
	Fruitbomen in grasland	-		
	Minder ziektegevoelige rassen kiezen			
	Lichtere apparatuur	-		
	Stoppelbewerking na oogst			-
	Beweiden/bewerken onder goede omstandigheden			-
Ondergrond lostrekken				

## Literatuur

Akker, J.J. van den en P. Schjønning, 2004. Subsoil compaction and ways to prevent it. In: Schjønning, P., Elmholt, S. and Christensen, B.T. (eds.). *Management Soil Quality: Challenges in modern agriculture*, CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon, UK. pp. 163-184.

Akker, J.J.H. van den, 2006. Evaluation of soil physical quality of Dutch subsoils in two databases with some threshold values. In: *Soil management for sustainability*. Proceedings of the 17th ISTRO conference, pp. 490-497.

Akker, J.J.H. van den, en W.J.M. de Groot, 2008. *Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavelen*. Wageningen. Alterra-rapport 1450.

Beek, C.L. van, T. Tóth, A. Hagyo, G. Tóth, L. Récata Boix, C. Añó Vidal, J.P. Malet, O. Maquire, J.J.H. van den Akker, S.E.A.T.M. van der Zee, S. Verzandvoort, C. Simota, P. J. Kuikman en O. Oenema, ingediend. Towards harmonization of risk assessment methodologies for soil threats in Europe. *Soil Use and Management*.

Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften. Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 19D.

Europese Commissie (EC), 2006. *Voorstel voor een kaderrichtlijn van het Europees parlement en de raad tot vaststelling van een kader voor de bescherming van de bodem en tot wijziging van Richtlijn 2004/35/EG*. Brussel, 22-9-06, COM (2006) 232.

Griffioen, J., P.G.B. de Louw, H.L. Boogaard en R.F.A. Hendriks, 2002. *De achtergrondbelasting van het oppervlaktewatersysteem met N, P en Cl, en enkele ecohydrologische parameters in West-Nederland*. TNO-rapport NITG 02-166-A. TNO, Delft.

Hendriks, C.M.A., M.J.D. Hack-ten Broeke en G.A. van Soesbergen, 1999. *Klasse, ontwikkeling van een kennisstelsel voor landevaluatiestudies*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 395.

Jones, R.J.A., F.G.A. Verheijen, H.I. Reuter en A.R. Jones (red.), 2004. *Environmental assessment of soil for monitoring Volume V: procedures & protocols*. Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities, Report EUR 23490 EN/5, 165 blz. <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/envasso/>

Jones, R.J.A., R. Hiederer, E. Rusco, P.J. Loveland. and L. Montanarella, (2004). The map of organic carbon in topsoils in Europe, Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), 2006. Milieubalans 2006. Bilthoven, MNP-publicatienummer 500081001.

Reijneveld, A., J. van Wensem en O. Oenema, 2009. Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152: 231-238.

Römken, P.F.A.M. en M. Knotters, 2007. *Nederland en de EU Kaderrichtlijn Bodem: overzicht van de thematiek en impact voor LNV*. Alterra rapport 1569.

Römken, P.F.A.M. en O. Oenema (red.), 2004. *Quick Scan Soils in the Netherlands. Overview of the soil status with reference to the forthcoming EU Soil Strategy*. Wageningen, Alterra-rapport 948.

Smit, A., C.L. van Beek en T. Hoogland. 2007. *Risicogebieden voor organische stof. Ontwerp van een methodologie voor het aanwijzen van 'risk areas' t.b.v. de EU Kaderrichtlijn bodem*. Wageningen, Alterra-rapport 1582.

Soesbergen, G. A. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. *De interpretatie van bodemkundige gegevens: systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor akkerbouw, weidebouw en bosbouw*. Stiboka, Wageningen, Rapport 1967.

Smits, A., 2008. *Europees Bodembeleid in ontwikkeling (8110)*. Leidraad Bodembescherming, afl. 91, Sdu Uitgevers

Tijink, F.G.J., H. Doell and G.D. Vermeulen, 1995. Technical and economic feasibility of low ground pressure running gear. *Soil and Tillage Research* 35 (1/2): 99-110.

Tóth T, C. Simota, C. van Beek, L. Recatalá-Boix, C. Añó-Vidal and A. Hagyo. 2009. *RAMSOIL project report 4.1*. Available at [www.ramsoil.eu](http://www.ramsoil.eu) and at <http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/projects/Ramsoil>

Vries, F. de, W.J.M. de Groot, T. Hoogland en J. Denneboom, 2003. *De bodemkaart van Nederland digitaal; Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie*. Wageningen, Alterra. Rapport 811.

Vries, W. de, 2008. *Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid*. Wageningen, Alterra rapport 1699.

Websites

Ministerie van VROM, <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=10139>

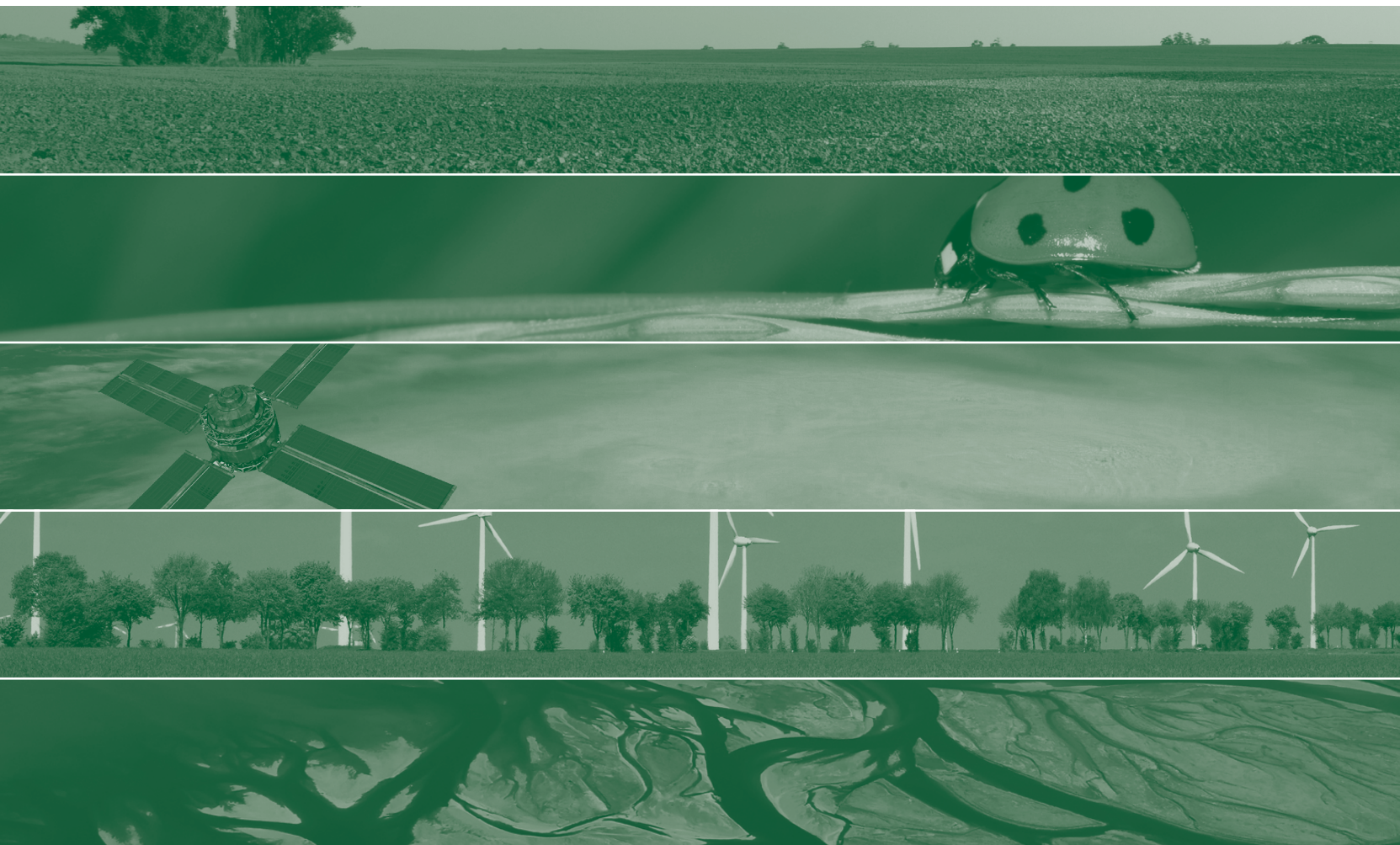
Planbureau voor de leefomgeving,  
[http://www.pbl.nl/nl/dossiers/Grootschalige\\_luchtverontreiniging/index.html](http://www.pbl.nl/nl/dossiers/Grootschalige_luchtverontreiniging/index.html)

JRC (European Soil Bureau), <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu>



## Lijst van meest gebruikte afkortingen

ENVASSO	ENVironmental ASsesment of Soil for mOnitoring
JRC	Joint Research Centre
KRB	Kaderrichtlijn Bodem
LNV	Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
PBL	PlanBureau voor de Leefomgeving
RAMSOIL	Risk Assessment Methods for SOIL
VROM	Volksgesondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu
WUR	Wageningen Universiteit en Research Centre



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl)