

Aan  
De Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu  
Postbus 20901  
2500 EX Den Haag

TCB A071(2011)

Den Haag, 13 juli 2011

Betreft: advies Bodemverdichting

Mijnheer de Staatssecretaris,

Op 15 december 2009 heeft uw voorganger, mede namens de toenmalige Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, advies gevraagd over bodemverdichting<sup>1</sup>. Bodemverdichting is een aantasting van de fysische kwaliteit van de bodem. Het wordt in de Europese bodemstrategie<sup>2</sup> genoemd als één van de belangrijkste aantastingen van de bodem in Europa. Het verzoek om advies kwam mede voort uit een verzoek daartoe van het Interprovinciaal Overleg (IPO). De provincies oriënteren zich namelijk op maatregelen en instrumenten om bodemverdichting tegen te gaan.

De adviesvraag sluit aan op het kabinetsbeleid zoals destijds geformuleerd in de Beleidsbrief bodem<sup>3</sup>, waarin het behoud van de maatschappelijke functies van de bodem voor de toekomst centraal staat en waarin naast chemische kwaliteit ook nadrukkelijk aandacht wordt gevraagd voor biologische en fysische kwaliteit van de bodem.

De adviesaanvraag geeft aan dat voor een beoordeling van de verdichtingssituatie van de bodem geen goede kosteneffectieve methoden beschikbaar zijn. Dit bemoeilijkt de inzet van beleid en communicatie over bodemverdichting. Gevraagd wordt daarom te adviseren over mogelijke kosteneffectieve methoden om bodemverdichting vast te stellen. Daarnaast wordt advies gevraagd over de mogelijke maatregelen om bodemverdichting te voorkomen en waar deze toch is opgetreden over mogelijkheden om deze structureel op te heffen.

Het advies van de TCB legt de nadruk op de methode van de beoordeling van de verdichtingssituatie van de bodem. Aan de maatregelen wordt minder aandacht besteed. Reden hiervoor is dat in een recente studie, uitgevoerd in opdracht van het IPO, uitgebreid aandacht is besteed aan maatregelen en

---

<sup>1</sup> Adviesaanvraag, bijlage 1.

<sup>2</sup> Commissie van de Europese Gemeenschappen, 2006. Thematische strategie voor bodembescherming van de Commissie van de Europese Gemeenschappen, COM(2006) 231, Brussel.

<sup>3</sup> Beleidsbrief Bodem, Kamerstukken II, 2003/04, 28 663 en 28 119, nr. 13.

instrumenten om bodemverdichting tegen te gaan<sup>4</sup>. Verder is dit advies primair gericht op bodemverdichting in landbouwgebieden, gezien de omvang van het landbouwareaal (ruim tweederde van het landoppervlak van Nederland, waarvan ongeveer de helft grasland) en de verwachting dat de problemen zich in landbouwgebieden, en dan met name in akker- en tuinbouwgebieden, in sterkere mate voordoen dan elders.

Een belangrijke oorzaak van bodemverdichting is verdichting door uitgeoefende druk op de bodem. In Nederland speelt daarnaast ook de problematiek van verdichting door inklinking van de bodem in veengebieden. De TCB onderkent het belang van de laatstgenoemde problematiek in Nederland. Omdat zowel oorzaken als oplossingsrichtingen bij inklinking duidelijk verschillen van verdichting door druk op de bodem, is het in dit advies buiten beschouwing gelaten. Het onderwerp leent zich voor een apart advies, dat nog niet is voorzien.

De TCB heeft zich breed op bodemverdichting georiënteerd door middel van een workshop met deskundigen uit de onderzoekswereld en de praktijk<sup>5</sup>. De resultaten van deze workshop zijn meegenomen in dit advies.

Eerst wordt een puntsgewijze samenvatting van het advies gegeven. Daarna volgt een beschrijving van het probleem, waarbij ook kort wordt ingegaan op bodemverdichting buiten de landbouw. Bodemverdichting in landbouwgebieden wordt in het daarop volgende hoofdstuk in meer detail besproken. Daarna wordt ingegaan op het meten en beoordelen van bodemverdichting.

In bijlage 2.1 worden enkele technische begrippen uit dit advies toegelicht.

#### SAMENVATTING

- Vooral verdichting van de ondergrond (20 – 60 cm diepte) is van belang omdat deze moeilijk herstelt.
- Op basis van schattingen zou in grote delen van Nederland sprake zijn van gevoeligheid voor ondergrondverdichting en mogelijk zou hier al ernstige verdichting zijn opgetreden. Hiervoor is echter geen bewijs. Er bestaat geen landsdekkend beeld van ondergrondverdichting op basis van metingen.
- Verdichting van de ondergrond is in Nederland een al langer (sinds de 70-er jaren) onderkend probleem in de landbouw, bij bepaalde teelten en bij bepaalde bodems. Er zijn aanwijzingen dat verdichting van de ondergrond toeneemt en speelt bij verschillende bodemsoorten, waaronder zand-, zavel-, löss- en kleigronden.
- De TCB vindt dat het beleid zich moet richten op preventie van ondergrondverdichting op regionaal niveau. Dit sluit naar haar inschatting het beste aan bij mogelijkheden van provincies beleid te ontwikkelen om bodemverdichting tegen te gaan, waarbij de uitvoering voor een deel ook de verantwoordelijkheid zal zijn van gemeenten en waterschappen. Het doel zou moeten zijn om de ongewenste gevolgen van ondergrondverdichting binnen en buiten de landbouw zoveel mogelijk tegen te gaan. In het tweede geval gaat het bijvoorbeeld om negatieve effecten op de waterhuishouding en milieueffecten.

---

<sup>4</sup> Westerhof R., M. Luitwieler en C. van den Brink, 2010. Maatregelen en instrumenten voor de bodem in prioritaire gebieden. Deel 1: Probleemschets en inventarisatie. Deel 2: Synthese. Royal Haskoning in opdracht van het Interprovinciaal Overleg. Rapport 9V0371/R00005/CVDB/Gron.

<sup>5</sup> Workshop bodemverdichting 17 juni 2010, georganiseerd door de TCB. Zie: [www.tcbodem.nl](http://www.tcbodem.nl).

- De TCB onderscheidt voor het tegengaan van ondergrondverdichting in grote lijn de volgende stappen:
  - Inventariseren van aandachtsgebieden;
  - Uitvoeren van preventieve maatregelen in deze aandachtsgebieden;
  - Monitoren van de effectiviteit van de maatregelen.
- De TCB vindt dat voor de beoordeling van de verdichting van de ondergrond de middelen optimaal worden ingezet als een stapsgewijze aanpak wordt gevolgd. De voorgestelde werkwijze bestaat uit stap 1: het in beeld brengen van kwetsbare gebieden op basis van bestaande risicobeoordelingsmethoden, informatie over het bodemgebruik en zo mogelijk verzamelen van informatie op basis van *remote sensing* technieken; stap 2: het verzamelen van ervaringsgegevens en stap 3: het doen van eenvoudige veldwaarnemingen. Het is daarbij belangrijk zo veel mogelijk gebruik te maken van ervaringen van boeren en andere bodem- en waterbeheerders uit de private en publieke sectoren.
- Bij de uitvoering van de bovengenoemde stappen heeft de TCB een aantal kennislacunes geconstateerd. Zij doet de volgende aanbevelingen voor onderzoek. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij Rijk en provincies.
  - De TCB beveelt aan om de aanwijzing uit een verkennend onderzoek dat de druk op de bodem door landbouwmachines de afgelopen 30 jaar is toegenomen verder te onderzoeken en te onderbouwen. Inzicht in de mogelijk toegenomen bodemdruk door verschillende typen landbouwmachines is belangrijk om gericht beleid te kunnen voeren ter voorkoming van ondergrondverdichting.
  - De beschikbare meetgegevens van ondergrondverdichting in Nederland zijn te beperkt om te gebruiken in extrapolaties naar een landsdekkend of een regionaal beeld. De TCB vindt daarom dat de landelijke database BIS moet worden uitgebreid (ten aanzien van het aantal meetpunten) en aangevuld. Het gaat hierbij, naast meting van het droog volumegewicht, ook om meting van andere indicatoren zoals de waterdoorlatendheid.
  - *Remote sensing* technieken bieden mogelijkheden om ondergrondverdichting (en andere aspecten van bodemkwaliteit) op groter ruimtelijk niveau in beeld te brengen. De bruikbaarheid van de methoden en de voorwaarden waarbinnen zij kunnen worden toegepast zijn echter nog maar beperkt onderzocht. De TCB pleit daarom voor aanvullend onderzoek naar de bruikbaarheid van *remote sensing* technieken.
  - Om de urgentie van het probleem van ondergrondverdichting onder de aandacht te brengen en de noodzaak van preventieve maatregelen en preventief beleid te ondersteunen vindt de TCB onderzoek van belang naar het oorzakelijk verband tussen ondergrondverdichting en de hieraan toegeschreven effecten.
- De TCB verwacht dat bodemverdichting, waaronder ondergrondverdichting in bosbouw-, natuur- en recreatiegebieden, lokaal optreedt en vindt het van belang dat via voorlichting op de risico's van bodemverdichting en de algemene zorgplicht voor de bodem wordt gewezen. Bij uitbesteding van werken en in onderhoudscontracten is het belangrijk invulling te geven aan de zorg voor de bodem, waaronder het voorkómen van bodemverdichting.
- Ook in stedelijk gebied vindt de TCB aandacht voor bodemverdichting belangrijk. Zij vindt dat de bewustwording van de waarde van open, onverdichte bodem gestimuleerd moet worden, opdat onnodige bodemverdichting voorkomen kan worden bij bijvoorbeeld het woonrijp maken van nieuwbouwlocaties, herinrichtingen en de tijdelijke opslag van bouwmaterialen.

Bodemverdichting kan worden gedefinieerd als een toename van de dichtheid en een afname van de porositeit van de bodem<sup>6</sup>. Bodemverdichting kan ontstaan door invloed van de mens, maar ook bij natuurlijke bodemvormende processen speelt bodemverdichting een belangrijke rol. Het gaat hierbij vaak om processen die zich op een grote tijdschaal afspelen.

Vooral in de dunne zone van het aardoppervlak waar gegraven of landbouw bedreven wordt, worden de natuurlijke processen van bodemvorming verstoord en wordt de bodemstructuur mede door het menselijk handelen bepaald. Volgens schattingen<sup>7</sup> is 4 tot 18% van het Europese landoppervlak door bodemverdichting aangetast en heeft 36% van het landoppervlak een hoge of zeer hoge gevoeligheid voor bodemverdichting. Deze schattingen zijn gebaseerd op aannames over de verdichtingsgevoeligheid van verschillende bodemsoorten en maar zeer beperkt op meetgegevens. De schaal waarop sprake is van daadwerkelijke bodemverdichting is onbekend. In de *Impact assessment* van de EU over de bodemaantastingen, geïdentificeerd in de Europese bodemstrategie<sup>8</sup>, wordt met name verdichting van de ondergrond ('*subsoil*') als probleem aangeduid, omdat ondergrondverdichting moeizaam herstelt. Het gaat dan om de bodem op een diepte van circa 20 tot 60 centimeter onder maaiveld; in akkerbouwgebieden is dit de bodem direct onder de bouwvoor. Als belangrijkste oorzaak wordt het gebruik van steeds zwaardere landbouwvoertuigen genoemd, als gevolg van de mechanisatie in de landbouw sinds de 60-er jaren, in combinatie met het bewerken van de grond en oogsten onder ongunstige (natte) omstandigheden<sup>9</sup>. Daarnaast wordt de grotere dichtheid van grazend vee als oorzaak van bodemverdichting genoemd. Door de *European Environment Agency* wordt gesteld dat ondanks technische verbeteringen en aanpassingen van de bandendruk van landbouwvoertuigen in de laatste jaren het probleem blijft bestaan<sup>7</sup>. Een effect van ondergrondverdichting kan zijn dat gewassen in de landbouw slechter groeien doordat de wortels fysische barrières ondervinden of doordat de lucht- en de vochtcondities ongunstig zijn geworden voor de plant. Een ander belangrijk nadelig effect kan zijn dat de infiltratiecapaciteit van de bodem vermindert, waardoor problemen ontstaan bij de afvoer van water. Emissies van broeikasgassen zoals N<sub>2</sub>O uit met stikstof bemeste bodem kunnen aanzienlijk toenemen door een slechtere zuurstofuitwisseling bij een hoog vochtgehalte<sup>10</sup>. Verdichting kan leiden tot plasvorming en verhoogde afspoeling van bodemdeeltjes (watererosie) en nutriënten naar het oppervlaktewater. Ook kan het leiden tot verdroging van gewassen, doordat als gevolg van de verminderde infiltratiecapaciteit weinig bodemvocht beschikbaar is. De genoemde effecten kunnen vertaald worden naar effecten op de baten die een goed functionerende bodem heeft voor de mens, de zogenaamde ecosystemendiensten<sup>11</sup>. Hierbij gaat het dan om de voedsel- en biomassaproductie, het

---

<sup>6</sup> Commissie van de Europese Gemeenschappen, 2006. Thematische strategie voor bodembescherming van de Commissie van de Europese Gemeenschappen, COM(2006) 231, Brussel.

<sup>7</sup> EEA., 2010. The European environment. State and outlook 2010: Soil. European Environment Agency, Copenhagen.

<sup>8</sup> European Commission, 2006. Impact assessment of the thematic strategy on soil protection. COM 2006 231, Brussel.

<sup>9</sup> VROM, LNV, Senter Novem Bodem+, 2006. Duurzaam bodemgebruik in de landbouw. Een beoordeling van agrarisch bodemgebruik in Nederland, Den Haag.

<sup>10</sup> Ruser R. et al., 2006. Emission of N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting, *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 263-274.

<sup>11</sup> De Groot et al., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (2002) 393-408.

opslaan, filteren en transformeren (van water en stoffen) en de beschikbaarheid van habitat en genenpool.

Buiten de landbouw is bodemverdichting van belang in de bosbouw. Vooral in landen met grootschalige houtproductie is bodemverdichting een probleem, als gevolg van het zwaar materiaal dat hierbij wordt ingezet. Maatregelen richten zich bijvoorbeeld op de keuze van vaste rijpaden<sup>12</sup>. In hoeverre bodemverdichting een probleem vormt in het Nederlands kleinschaliger productiebos is voor zover bekend niet onderzocht. In twee inventariserende studies is nagegaan welke bodembedreigingen een rol kunnen spelen bij recreatieve voorzieningen en in natuurgebieden<sup>13, 14</sup>. Bodemverdichting kan daar in specifieke situaties optreden, vooral door het gebruik van zwaar materieel bij inrichtings- en beheermaatregelen (bijvoorbeeld maaien) en bij intensieve beweiding (bijvoorbeeld paardenveldjes). De mate waarin deze problemen daadwerkelijk spelen is niet onderzocht. De TCB verwacht dat bodemverdichting in bosbouw-, natuur- en recreatiegebieden lokaal optreedt en vindt het van belang dat via voorlichting op de risico's van bodemverdichting en de algemene zorgplicht voor de bodem wordt gewezen. Bij uitbesteding van werken en in onderhoudscontracten zou de zorg voor de bodem, waaronder het voorkómen van bodemverdichting, een belangrijk element moeten zijn.

In stedelijk gebied heeft bodemverdichting een andere betekenis dan in landelijk gebied. Bodemverdichting is hier meestal functioneel: zonder deze verdichting zou de bodem onvoldoende draagkracht hebben voor bijvoorbeeld gebouwen en wegen. Op bepaalde plaatsen, zoals tuinen, parken en beplante zones langs wegen, is echter juist open en onverdichte bodem nodig. Open en onverdichte bodem is in de stad een schaars goed. Ongewenste bodemverdichting kan bijvoorbeeld optreden bij de tijdelijke opslag van bouwmaterialen en het dichtrijden van de bodem. In de fase van bouwrijp maken van woningbouwlocaties is het tegengaan van bodemverdichting belangrijk om problemen met de waterafvoer of de groeiomstandigheden van planten en bomen te voorkomen<sup>15</sup>. De TCB heeft in eerdere adviezen de betekenis van niet afgedekte (open) bodem benadrukt voor waterhuishouding, groen en klimaat<sup>16</sup>. De in deze adviezen genoemde ecosysteemdiensten van de open bodem in de stad worden ook beperkt als sprake is van verdichting. Ook de zogenaamde stadslandbouw, waarvoor toenemende interesse bestaat, is gebaat bij een onverdichte bodem<sup>17</sup>. De TCB vindt het daarom belangrijk dat bewustwording van het belang van open en onverdichte bodem in stedelijk gebied wordt gestimuleerd<sup>18</sup>.

---

<sup>12</sup> Ampoorter, E., 2011. Soil compaction due to mechanized forest harvesting: quantification of ecosystem effects and exploration of recovery potential. PhD thesis. Ghent University, Ghent, Belgium.

<sup>13</sup> Smit A., K. Zwart en D. Brunt, 2009, Duurzaamheidsanalyse van bodemgebruik ten behoeve van recreatieve voorzieningen in het landelijk gebied, Alterra-rapport 1730, Wageningen.

<sup>14</sup> Smit A., I. Lubbers, K. Zwart en D. Brunt, 2007, Duurzaamheidsanalyse van bodemgebruik in natuurgebieden. Alterra-rapport 1626, Wageningen.

<sup>15</sup> De kunst van bouw- en woonrijp maken; duurzaam, degelijk en doordacht. Speciale uitgave van Land+Water; bijlage bij Land+Water 12/2010.

<sup>16</sup> Advies gevolgen afdekken van de bodem, TCB A048(2009) en Advies randvoorwaarden afdekken bodem in stedelijk gebied, TCB A63(2010).

<sup>17</sup> Zie bijvoorbeeld: [www.eetbaarrotterdam.nl](http://www.eetbaarrotterdam.nl)

<sup>18</sup> Zie de verwijzingen onder voetnoot 16 en het boek: Ontdek de stadsbodem. Wel, N. van der, 2010. In opdracht van de TCB. NatuurMedia, Amsterdam.

### **Algemeen**

Bodemverdichting in de landbouw is het gevolg van het samenpersen van de bodem door de hierop uitgeoefende druk<sup>19</sup>. Deze druk leidt tot verdichting van de bovenste laag van de bodem tot ongeveer 20 centimeter diepte. Deze laag wordt in dit advies verder aangeduid als de toplaag. In de periode 1976 – 1993 zijn in Nederland verschillende onderzoeken uitgevoerd gericht op het voorkómen van verdichting van de toplaag, vooral omdat bleek dat deze bodemverdichting negatieve effecten had op de gewasopbrengsten<sup>20</sup>. Uit deze onderzoeken zijn vuistregels voortgekomen over de maximale bodemdruk die kan worden uitgeoefend zonder dat deze leidt tot problematische toplaagverdichting.

Toplaagverdichting is vooral een probleem van de korte termijn omdat de verdichting vaak bij een volgende grondbewerking weer herstelt. Ook kan de verdichting van de toplaag op natuurlijke wijze herstellen door zwel en krimp (droogte en vorst), door beworteling en door activiteit van bodemdieren zoals regenwormen.

Naast toplaagverdichting kan ook verdichting optreden op grotere diepte, als de druk hier de weerstand van de bodem overschrijdt. Deze ondergrondverdichting, in akkerbouwgebieden de verdichting dieper dan de bouwvoor, is moeilijk te herstellen en natuurlijk herstel treedt niet of traag op. Zoals in de voorgaande probleembeschrijving is aangegeven, is volgens de Europese bodemstrategie met name deze ondergrondverdichting een belangrijke bodemaantasting.

### **Ondergrondverdichting**

#### *Waar komt het voor?*

Sterk verdichte ondergronden zijn vooral gemeten op lichte gronden, zoals zandgronden met een hoog gehalte aan fijn zand en lichte zavelgronden<sup>21</sup>. Veel zandgronden hebben bovendien natuurlijk verdichte ondergronden, die door landbouwgebruik ernstiger verdicht kunnen raken<sup>20</sup>. Ook in lössgronden en kleihoudende gronden kan sterke ondergrondverdichting optreden<sup>22</sup>. Een veel voorkomende vorm van ondergrondverdichting in akkerbouwgebieden is een zogenoemde ploegzool. Dit is een relatief harde en weinig doorlatende laag die wordt aangetroffen net onder de bouwvoor. De ploegzool is ontstaan door samendrukken van de bodem door de zool van de ploeg, als

---

<sup>19</sup> Bodemverdichting treedt op bij voldoende bovenbelasting op de bodem. Deze verdichting is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de textuur, het organisch stofgehalte en het vochtgehalte van de bodem. Deze bodemeigenschappen kunnen variëren over het diepteprofiel, waardoor ook de verdichting op diepten verschilt. De verdichting kan worden beschreven aan de hand van de precompressiesterkte en de schuifsterkte van de bodem. Met de precompressiesterkte van de bodem wordt aangeduid hoe groot verticale spanningen op de bodem mogen zijn alvorens blijvende vervorming optreedt. Bij verticale belasting vervormt de grond voornamelijk door schuifdeformaties. De schuifsterkte betreft de maximaal te verdragen zijwaartse spanningen. Bodemverdichting is het gevolg van te hoge verticale of zijwaartse spanningen.

<sup>20</sup> Van den Akker J.J.H., G.D. Vermeulen, P.H.M. Dekker en A.P. Phillipsen, 2006. Bodemverdichting. Leidraad Bodembescherming, afl. 77, Sdu Uitgevers.

<sup>21</sup> Boels D., 1982. Physical soil degradation in the Netherlands. In: Boels, D., Davies, D.B., Johnston, A.E. (eds.). Soil degradation: proceedings of the land use seminar on soil degradation, Wageningen, 13-15 October 1980, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 47-65.

<sup>22</sup> Van den Akker, J.J.H., W.J.M. De Groot, 2008. Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavel. Wageningen, Alterra-rapport 1450.

jaar na jaar op dezelfde diepte wordt geploegd, of door tractorbanden die tijdens het ploegen in de bouwvoor rijden.

### ***Bodembelasting***

Het probleem van ondergrondverdichting is in Nederland in beeld gekomen door effecten op de gewasproductie van maïs en bieten in de 80-er en 90-er jaren. Inmiddels zijn technische verbeteringen doorgevoerd bij landbouwmachines. Er worden meer lage drukbanden toegepast, waardoor de druk op de bodem in principe afneemt en er mogelijk geen sprake meer zou zijn van een bodembelasting die leidt tot een verdere ondergrondverdichting. Uit een verkennend onderzoek naar de ontwikkeling van de bodembelasting door landbouwmachines in Nederland komt echter als voorlopig resultaat naar voren dat de bandendruk weliswaar is afgenomen, maar dat de grondspanningen in de ondergrond zijn gestegen, vooral door het toegenomen gewicht van de voertuigen (hogere aslasten). Dit is een aanwijzing dat de druk op de ondergrond door landbouwvoertuigen juist is toegenomen<sup>23</sup>. De TCB beveelt aan om deze aanwijzing verder te onderzoeken en te onderbouwen. Er is onvoldoende zicht op het actueel gebruik van landbouwmachines in Nederland, met het oog op de druk op de bodem. De TCB adviseert het machinegebruik nader te inventariseren. Dit is belangrijk om gericht beleid te kunnen voeren ter voorkoming van bodemverdichting.

### ***Schattingen en metingen***

Er zijn verschillende methoden om het risico van bodemverdichting in te schatten. In het Europese project RAMSOIL<sup>24</sup> zijn zeventien verschillende methoden geïnventariseerd die in dertien landen worden gebruikt. In deze paragraaf worden vier toepassingen van risicobeoordelingen beschreven: voor Europa<sup>25</sup>, voor Nederland<sup>26</sup>, voor Duitsland<sup>27</sup> en voor Vlaanderen<sup>28</sup>. De beoordelingen leiden tot de conclusie dat aanzienlijke arealen landbouwgrond gevoelig zijn voor ondergrondverdichting (zie tabel 1).

---

<sup>23</sup> Vermeulen B. en J.J.H. van den Akker. Ontwikkeling van bodembelasting door landbouwmachines 1980 – 2010. Presentatie 24 december 2010 aan de begeleidingsgroep bodem van het Ministerie van EL&I.

<sup>24</sup> <http://www.ramsoil.eu/uk>.

<sup>25</sup> Jones *et al.*, 2003. Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. Soil and tillage research 73.

<sup>26</sup> Van den Akker J.J.H. en T. Hoogland, 2011. Comparison of risk assessment methods to determine the subsoil compaction risk of agricultural soils in The Netherlands. Soil and tillage research 114 (2).

<sup>27</sup> Lebert M., 2010. A method to assess the vulnerability of Agricultural subsoils to compaction. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia.

<sup>28</sup> Van de Vreken, P. L. van Holm, J. Diels en J. van Orshoven, 2009. Bodemverdichting in Vlaanderen en afbakening van risicogebieden voor bodemverdichting: eindrapport van een verkennende studie. K.U. Leuven, België.

Tabel 1. Schattingen van het percentage landoppervlak dat gevoelig is voor ondergrondverdichting. De kwalificaties (hoog, zeer hoog, wel/niet kwetsbaar) zijn gedefinieerd in de genoemde bronnen.

Land/regio	Schatting gevoeligheid voor ondergrondverdichting
Europa <sup>25</sup>	Op 36% van het landoppervlak hoge tot zeer hoge gevoeligheid voor ondergrondverdichting
Nederland <sup>26</sup>	Ongeveer de helft van het landoppervlak is kwetsbaar voor ondergrondverdichting
Vlaanderen <sup>28</sup>	Op 18-50% van het landoppervlak heeft hoge tot zeer hoge gevoeligheid voor ondergrondverdichting (range wordt bepaald door de vochttoestand)
Duitsland <sup>27</sup>	30% van de landbouwgronden heeft een hoge tot zeer hoge kwetsbaarheid voor ondergrondverdichting

De genoemde risicobeoordelingen brengen de gevoeligheid van de bodem in beeld voor bodemverdichting. Belangrijke grootheden die de gevoeligheid op basis van de bodemeigenschappen weergeven zijn de pakkingsdichtheid (*packing density*) en de precompressiesterkte (*precompression stress*). De pakkingsdichtheid is een maat voor de compactheid van de bodem en werd oorspronkelijk visueel bepaald aan de hand van het waargenomen bodemprofiel in een profielkuil. Later zijn rekenregels ontwikkeld om de pakkingsdichtheid te schatten. De precompressiesterkte is een maat voor de weerstand van de bodem tegen verdichting. Deze weerstand kan worden gemeten of geschat met behulp van functies die de relatie tussen de bodemeigenschappen en de weerstand van de bodem beschrijven (zogenaamde pedotransferfuncties).

Op Europese schaal zijn verschillende bodemverdichtingskaarten geproduceerd waarop de gevoeligheid van de bodem voor ondergrondverdichting in beeld is gebracht. De gegevens die hiervoor worden gebruikt zijn de eigenschappen van de bodem en aanvullende gegevens over bijvoorbeeld klimaat en bodemgebruik<sup>29</sup>. De gehanteerde methoden zijn verschillend, evenals de resulterende schattingen van de gevoeligheid van de bodem. In bijlage 3 zijn twee bodemverdichtingskaarten opgenomen (figuur 4 en 5). De in tabel 1 genoemde schatting is weergegeven in figuur 5 en is gebaseerd op de geschatte pakkingsdichtheid van de ondergrond en de bodemtextuur<sup>25</sup>.

Voor de schatting van de gevoeligheid van de Nederlandse ondergrond voor verdichting zijn verschillende methoden gebruikt<sup>26</sup>. De eerste methode is net als de Europese methode gebaseerd op de geschatte pakkingsdichtheid van de ondergrond, de bodemtextuur en klimaatgegevens. De tweede methode maakt gebruik van de precompressiesterkte en geeft een schatting van de maximaal toelaatbare wiellast waarbij nog geen ondergrondverdichting optreedt. Op basis van beide methoden zijn op de schaal van Nederland kaarten gemaakt die de gevoeligheid voor ondergrondverdichting weergeven. Beide kaarten komen voor de zandige bodems met elkaar overeen. Klei- en lössgronden worden verschillende beoordeeld. De kaarten zijn opgenomen in bijlage 3 van dit advies (figuur 1 en figuur 2). De resultaten van de beide risicobeoordelingsmethoden zijn vergeleken met meetdata van de dichtheid van de ondergrond uit de database BIS<sup>30</sup>. Dit zijn ongeveer 500 metingen uit te periode tussen 1961 en 2008, genomen op een diepte van circa 30 centimeter. De metingen zijn hoofdzakelijk van vóór 1988. Op basis van statistische bewerkingen is een kaart gemaakt met schattingen van de mate van ondergrondverdichting en de nauwkeurigheid van de schatting in het jaar 2000. Ook is op

<sup>29</sup> JRC (Joint Research Centre of the European Commission) (2008). Maps for Soil Susceptibility to Compaction.

Beschikbaar op: <http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/compaction/Data.html>.

<sup>30</sup> Bodem Informatie Systeem van Alterra, Wageningen.



basis van een trendanalyse geschat wat de kans op ondergrondverdichting is in 2010. Deze laatste kaart is opgenomen in bijlage 3 bij dit advies (figuur 3).

De resultaten van de risicobeoordelingen en de schatting van de ondergrondverdichting op basis van meetgegevens komen niet overeen. Het belangrijkste verschil is dat de zand- en zandige leemgronden op basis van de extrapolatie van de meetgegevens een relatief geringe kans op verdichting hebben, terwijl zij wel gevoelig zijn voor ondergrondverdichting in de schattingen van beide risicobeoordelingsmethoden. De auteurs schrijven dit toe aan de gebrekkige meetgegevens<sup>26</sup>.

De schatting dat zand- en zandige leemgronden kwetsbaar zijn voor bodemverdichting (zie tabel 1) wordt wel ondersteund door een inventariserend onderzoek op acht locaties naar lokale bodemverdichting op zavel- zand- en lössgrond. Hierin werd geconcludeerd op basis van de resultaten van metingen aan vijf verschillende indicatoren voor bodemverdichting dat op alle locaties sprake was van sterke verdichting van de ondergrond<sup>22</sup>.

Voor Vlaanderen is de gevoeligheid voor verdichting van de ondergrond geschat op basis van de geschatte precompressiesterkte van de ondergrond. Het resultaat is genoemd in tabel 1. Hierbij is uitgegaan van beschikbare gegevens over de bodemtextuur op een diepte van 41 centimeter. Ook heeft een beperkte validatie met metingen plaatsgevonden. Op zeventien locaties zijn metingen verricht om de voorspellingen op basis van de schattingen te valideren. De berekende en de gemeten waarden bleken slecht te correleren. Wel werd in veel gevallen een sterk verdichte ondergrond gemeten, dat wil zeggen dat sprake was van een droog volumegewicht van meer dan 1,6 gram per kubieke centimeter. Overschrijding van deze grenswaarde is een indicatie dat de wortelgroei van planten door de verdichting ernstig wordt geremd<sup>20</sup>.

Voor Duitsland is de gevoeligheid voor ondergrondverdichting in beeld gebracht op basis van de precompressiesterkte en een combinatie van structuurkenmerken, waaronder de pakkingsdichtheid, de luchtcapaciteit en de verzadigde doorlatendheid<sup>31</sup>. Ook beschikbare gegevens over de luchtcapaciteit en de verzadigde waterdoorlatendheid zijn bij de beoordeling betrokken. De meetgegevens waren afkomstig van 1300 locaties, grotendeels over de periode 1990-2007. Op basis van deze methode is bepaald dat éénderde van de Duitse landbouwgronden een hoog tot zeer hoog risico op ondergrondverdichting heeft, uitgaande van een vochtgehalte dat representatief werd geacht bij berijden van landbouwgrond (80 procent van de veldcapaciteit).

De genoemde methoden geven een schatting van de gevoeligheid voor ondergrondverdichting; in hoeverre ondergrondverdichting in werkelijkheid optreedt is hiermee niet bepaald. Voor de Nederlandse situatie vormen de meetresultaten van het genoemde inventariserend onderzoek, in combinatie met de resultaten van de risicoschattingen, een aanwijzing dat ondergrondverdichting in Nederland mogelijk op grotere schaal voorkomt.

### *Trends*

In verschillende studies is de toename van ondergrondverdichting in de loop van de tijd op regionale of landelijke schaal aangetoond. Deze toename is het gevolg van een langzaam proces dat alleen bij langdurige monitoring met ruime tijdsintervallen waar te nemen is. In een Duits onderzoek

---

<sup>31</sup> Lebert M., 2010. Entwicklung eines Prüfkonzeptes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Förderkennzeichen 370771202. Dessau-Roszlau.

(Nedersaksen) van 144 akkerbouwpercelen nam de gemiddelde droog volumegewicht van de bodem ter hoogte van de ploegzool in de periode 1952 tot 1982 toe met 4,4% ofwel gemiddeld 0,14% per jaar<sup>32</sup>. In ander Duits onderzoek bleek een snellere toename van de verdichting op lössgronden door belasting met bietenrooimachines; het droog volumegewicht rond de ploegzool nam tussen 1988 en 2002 toe met 10% ofwel gemiddeld 0,7% per jaar<sup>20</sup>.

### *Effecten*

Het onderzoek naar de effecten van ondergrondverdichting richt zich vooral op effecten op de landbouwproductie. De lange termijn productieafname door ondergrondverdichting bleek in verschillende buitenlandse experimenten te liggen tussen 2,5 en 6%. In proeven op Nederlandse zandgronden met sterk verdichte ondergrond varieerde de verminderde droge stof opbrengst van snijmaïs van 0 tot 38%<sup>20</sup>.

Er is weinig onderzoek verricht waarin een oorzakelijk verband is aangetoond tussen een verminderd infiltratievermogen van de bodem door ondergrondverdichting en problemen met de waterafvoer<sup>20</sup>. Mogelijke ongewenste gevolgen van ondergrondverdichting zijn <sup>33</sup>:

- verhoogd risico op erosie en toename van de laterale stroming door de bodem, waardoor organische afvalstoffen (drijfmest en slib), landbouwchemicaliën en nutriënten zoals fosfor sneller het oppervlaktewater bereiken;
- verkleining van het bodemsysteem dat beschikbaar is om te fungeren als een bufferzone voor afbraak en filter voor verontreinigingen;
- een versnelling van waterafvoer uit en binnen stroomgebieden;
- een toename van de productie van broeikasgassen en grotere stikstofverliezen door denitrificatie vanwege nattere omstandigheden.

### *Maatregelen*

In het licht van de eerdergenoemde oorzaken van ondergrondverdichting zijn het verminderen van de druk door machines en de timing van het berijden van het land de meest voor de hand liggende en effectieve preventieve maatregelen. De volgende maatregelen verminderen de druk op de bodem <sup>4, 20, 34, 35</sup>:

- Lage drukbanden en rupsbanden;
- Lichtere machines;
- Aanpassing van de wijze van ploegen;
- Goed waterbeheer;
- Grondbewerking aanpassen aan het vochtgehalte van de bodem;
- Beweiding door vee aanpassen aan het vochtgehalte van de bodem;
- Begrazing afstemmen op de draagkracht van de bodem;

---

<sup>32</sup> Lebert et al., 2004. Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 20071245. Berlin.

<sup>33</sup> Hack-ten Broeke M.J.D. et al., 2009. Kaderrichtlijn bodem: basismateriaal voor eventuele prioritaire gebieden. Alterra-rapport 2007. Wageningen.

<sup>34</sup> Kuhlman T. et al., 2010. Kosten en baten van bodembeheer. Maatregelen tegen winderosie, veenafbraak en ondergrondverdichting. LEI-rapport 2010-58.

<sup>35</sup> Zwart K.B. et al., 2011. Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt. Alterra rapport 2177.

- Vruchtwisseling (o.a. met diepwortelende gewassen als granen);
- Rijpadenteelt;
- Op afstand aangedreven systemen;
- Niet kerende grondbewerking;
- Akkerrandenbeheer ter voorkoming van afstroming naar het oppervlaktewater.

Zoals eerder aangegeven ligt het accent van dit advies niet op de maatregelen maar op de beoordelingsmethoden. Voor een uitgebreider overzicht van preventieve maatregelen wordt daarom naar de genoemde literatuurbronnen verwezen.

De werkzaamheid van een aantal curatieve maatregelen tegen ondergrondverdichting is beperkt onderzocht. Van enkele diepwortelende gewassen is aangetoond dat zij ondergrondverdichting kunnen verminderen. De door deze gewassen gecreëerde wortelkanalen en grote poriën kunnen door andere gewassen worden gebruikt voor hun doorworteling. Lucerne (*Medicago sativa*) kan door een diepe beworteling de verdichting van de bodem verminderen en bij teeltwisseling de productie van maïs verhogen<sup>20</sup>. Diep ploegen of woelen kan tijdelijk de verdichting van de ondergrond opheffen. Na diep ploegen of woelen zal echter vaak herverdichting van de grond optreden die soms ernstiger is dan de oorspronkelijke verdichting, doordat de structuur van de bodem is veranderd. Zo raakten natuurlijk verdichte lichte zavelgronden herverdicht na het losmaken van deze gronden voor landbouwgebruik. Door aantasting van de structuur van de bodem moeten deze gronden nu elke drie tot vier jaar worden gewoeld<sup>20</sup>. Het woelen van deze gronden heeft ze dus kwetsbaarder gemaakt voor verdichting.

De TCB benadrukt dat een curatieve maatregel alleen zinvol is wanneer aansluitend maatregelen in de preventieve sfeer worden getroffen. De kans is immers groot dat anders opnieuw verdichting optreedt.

### *Natuurlijk herstel*

Er is weinig uit onderzoek bekend over natuurlijk herstel van ondergrondverdichting. Informatie is met name beschikbaar voor kleigronden, waar soms wel en soms geen herstel optreedt door bijvoorbeeld vorstwerking. Op zandige en lemige gronden wordt in het algemeen weinig herstel verwacht<sup>20</sup>.

## BEOORDELEN VAN BODEMVERDICHTING IN LANDBOUWGEBIEDEN

### **Algemeen**

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de vraag naar een kosteneffectieve methode om bodemverdichting te beoordelen. Onder kosteneffectief verstaat de TCB: tegen redelijke kosten zo goed mogelijk beoordelen van de bodemverdichtingssituatie. De TCB richt zich in dit advies op de problematiek op regionaal niveau. Dit sluit naar haar inschatting het beste aan bij mogelijkheden van provincies beleid te ontwikkelen om bodemverdichting tegen te gaan, waarbij de uitvoering voor een deel ook de verantwoordelijkheid zal zijn van gemeenten en waterschappen.

De TCB vindt het van belang onderscheid te maken tussen de gevolgen van bodemverdichting voor de agrarische bedrijfsvoering (met name opbrengstderving) en de gevolgen van bodemverdichting die raken aan het algemeen belang, zoals effecten op de waterhuishouding en milieueffecten. Dit advies is gericht aan de overheid (rijk en provincie) en richt zich daarom primair op de gevolgen die raken aan het algemeen belang. Deze gevolgen van bodemverdichting zijn in onderzoeken vooral kwalitatief beschreven, in termen van aannemelijkheid van optreden. Om de urgentie van het probleem van

bodemverdichting onder de aandacht te brengen en de noodzaak van preventieve maatregelen en preventief beleid te ondersteunen vindt de TCB onderzoek van belang naar het oorzakelijk verband tussen ondergrondverdichting en de hieraan toegeschreven effecten.

Bij maatregelen gericht op het tegengaan van bodemverdichting is ook onderscheid tussen toplaagverdichting en ondergrondverdichting van belang. De TCB meent dat toplaagverdichting minder 'ernstig' is omdat dit binnen de agrarische bedrijfsvoering voor een belangrijk deel wordt opgelost. De prioriteit van het beleid moet liggen bij ondergrondverdichting.

### **Voorstel voor een stapsgewijze werkwijze**

De TCB stelt een werkwijze voor, waarbij op regioniveau aandachtsgebieden in beeld worden gebracht op basis van de aannemelijkheid dat ondergrondverdichting hier tot problemen leidt, aangevuld met een beperkte verificatie van de veronderstelde ondergrondverdichting door eenvoudige veldmetingen.

### ***Inventariseren van aandachtsgebieden***

Een eerste stap is het op provinciaal niveau in beeld brengen van de aandachtsgebieden voor ondergrondverdichting. De TCB heeft geconstateerd dat het aantal meetgegevens dat gebruikt kan worden om op landelijke of provinciale schaal ondergrondverdichting in beeld te brengen gering is<sup>26,36</sup>. Het aanvullen van deze kennisbasis door het uitvoeren van metingen kan de schatting van de kwetsbaarheid van de bodem sterk verbeteren.

De TCB vindt daarom dat de landelijke database BIS moet worden uitgebreid (ten aanzien van het aantal meetpunten) en aangevuld. Het gaat hierbij, naast meting van het droog volumegewicht, ook om meting van andere indicatoren zoals de waterdoorlatendheid.

De problemen van bodemverdichting worden ook in sterke mate bepaald door het bodemgebruik en -beheer. Een inventarisatie van het bodemgebruik is daarom nodig. Het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland<sup>37</sup> beschrijft het grondgebruik tot op teeltniveau. Idealiter kan informatie worden verzameld over historisch, huidig en toekomstig (voorzien) bodemgebruik en kan dit gekoppeld worden aan een te verwachten druk op de bodem. Een dergelijke verfijning is uitgevoerd in een verkennende studie voor Drenthe<sup>35</sup>. In deze studie is het verdichtingsrisico van bodemgebruik in de landbouw als volgt kwalitatief geschaald: permanente akkerbouw 'hoog', wisselbouw (bedoeld: akkerbouw – grasland) en grasland 'middel' en overig 'laag'. Een verdere verfijning tot op teeltniveau binnen akkerbouwgewassen is moeilijk te maken, omdat ploegen en oogsten in alle teelten met zware voertuigen kan plaatsvinden. Een mogelijkheid tot verfijning is een onderscheid tussen wortel- en knolgewassen (zoals bieten en aardappelen) en andere akkerbouwgewassen. Vooral de oogst van wortel- en knolgewassen is een kritische activiteit, omdat deze in vergelijking met bijvoorbeeld de oogst van granen onder relatief ongunstige vochtcondities plaatsvindt<sup>20</sup>.

---

<sup>36</sup> Bakker G. et al., 2010. Basismateriaal voor eventuele prioritaire gebieden. Quick scan voor Drenthe. Alterra-rapport 1964.

<sup>37</sup> <http://www.alterra.wur.nl/NL/onderzoek/Werkveld+Geoinformatie/LGN>. Het LGN6 bestand van het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland heeft 45 grondgebruiksklassen. Voor landbouw zijn dit: agrarisch gras; mais; aardappelen; bieten; granen en overige gewassen.

*Remote sensing* kan in de toekomst wellicht worden gebruikt om de probleemgebieden te identificeren. Uit een eerste verkenning van de mogelijkheden<sup>38</sup> lijken bodemtemperatuur en bodemvocht geschikte grootheden voor het lokaliseren van ondergrondverdichting. Ook luchtfoto-interpretatie biedt mogelijkheden (plasvorming). Er is echter nog geen bruikbare en niet te dure methode voor de inzet van *remote sensing* ontwikkeld. De TCB ondersteunt het principe om met gebruik van *remote sensing* technieken informatie over bodemkwaliteit van grotere ruimtelijke arealen in beeld te brengen. Zij pleit er daarom voor om nauwkeuriger de mogelijkheden van *remote sensing* voor het vaststellen van bodemverdichting te onderzoeken.

In hoeverre bodemverdichting in werkelijkheid optreedt en tot problemen leidt, kan uit de hiervoor genoemde algemene informatie over de geschatte kans op bodemverdichting, het bodemgebruik en waarnemingen vanuit *remote sensing* niet worden afgeleid. Om de problemen door bodemverdichting in de regio goed in beeld te krijgen vindt de TCB het daarom belangrijk om gebruik te maken van ervaringskennis van boeren en andere bodem- en waterbeheerders uit de private en publieke sectoren. Ter verificatie kunnen tenslotte eenvoudige veldmetingen worden uitgevoerd, zoals genoemd in bijlage 2, paragraaf 2.2.2. Het voorgestelde stappenplan bestaat dan uit het in beeld brengen van kwetsbare gebieden (een theoretische verkenning), het verzamelen van ervaringsgegevens en het doen van waarnemingen.

#### *Kwetsbare gebieden in beeld brengen*

- 1) Een oriëntatie op kwetsbare gebieden op basis van bodemkarakteristieken, klimaat en meetgegevens van ondergrondverdichting. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de bestaande risicobeoordelingsmethoden, die gebruik maken van beschikbare bodemtextuurgegevens en regionale gegevens over de vochttoestand van de bodem en van (extrapolaties van) de gegevens over ondergrondverdichting uit het verbeterde BIS;
- 2) Een verdere verfijning door het bodemgebruik in landbouwgebieden in kaart te brengen, vergelijkbaar met de werkwijze voor Drenthe, zoals hiervoor beschreven.
- 3) Zo mogelijk inzet van *remote sensing* technieken.

#### *Verzamelen van ervaringen:*

- 4) Inventariseren van ervaringen. Het gaat dan bijvoorbeeld om geconstateerde plasvorming, waarbij het vermoeden bestaat dat bodemverdichting een rol speelt, bijvoorbeeld door middel van interviews met personen die een goed zicht hebben op de bodemkwaliteit in de regio via contacten met bodemgebruikers en -beheerders. Ook ervaringen van waterbeheerders zijn van belang, bijvoorbeeld als het gaat om afspoeling. De informatie 'vanuit het veld' neemt toe als informatievoorziening aan boeren over bodemverdichting de alertheid op mogelijke problemen vergroot.

#### *Waarnemingen doen:*

- 5) Verificatie in het veld op locaties waar problemen zijn geconstateerd, door het uitvoeren van eenvoudige veldmetingen van bodemverdichting (zie bijlage 2.2.2).

Om gericht beleid in te zetten is het belangrijk de gebieden te kennen waar ondergrondverdichting mogelijk een probleem is. De in beeld gebrachte aandachtsgebieden vormen een belangrijk gegeven hierbij. Bij de begrenzing spelen echter meer factoren een rol dan de betreffende bodembedreiging alleen, zoals bijvoorbeeld de landschappelijke samenhang, de gewenste ruimtelijk ontwikkeling en de bestuurlijke eenheid.

---

<sup>38</sup> Notitie 'bodemverdichting en remote sensing'. Alterra. Zwart *et al.*, 2011

### *Uitvoeren van preventieve maatregelen*

De TCB vindt dat het beleid vervolgens primair gericht moet zijn op preventie. Het opheffen van bestaande ondergrondverdichting zal, door het ontbreken van effectieve curatieve maatregelen, maar op beperkte schaal mogelijk zijn. In een recent onderzoek in opdracht van het IPO<sup>4</sup> zijn de in te zetten maatregelen geïnventariseerd. De maatregelen variëren van eenvoudig zonder grote kosten door de bodemgebruiker in te zetten maatregelen tot omschakeling naar een ander type bedrijfsvoering. Daarnaast worden maatregelen onderkend met een zodanig maatschappelijk belang, dat aanvullend overheidsbeleid gewenst is.

De TCB bepleit dat het beleid tegen ondergrondverdichting wordt ontwikkeld in samenhang met andere aspecten van bodemkwaliteit, met name bodemfysische aspecten als slemp, bodemerosie, organische stofgehalten en biodiversiteit van de bodem. Door de ecosysteemdiensten van de bodem in het beleid voorop te stellen, zoals die eerder in dit advies zijn beschreven, komen deze verschillende aspecten automatisch in beeld. Hierbij kan een integrale visie van een provincie op bodemkwaliteit een belangrijke rol spelen.

### *Monitoring van de effectiviteit van de maatregelen*

Vervolgens is monitoring nodig van de mate waarin binnen de aandachtsgebieden maatregelen worden ingezet en van de effectiviteit van deze maatregelen. Hiertoe kan onderscheid worden gemaakt in toestandsindicatoren en gebruiksindicatoren. Toestandsindicatoren zijn bijvoorbeeld metingen aan de biologische en fysische bodemkwaliteit. In bijlage 2, paragraaf 2.2.1 worden toestandsindicatoren genoemd die in het Europese project Envasso zijn geselecteerd. De TCB adviseert om voor de keuze van toestandsindicatoren hierop aan te sluiten. Gebruiksindicatoren hebben betrekking op handelingen. Voor bodemverdichting kan het bijvoorbeeld gaan om veranderingen in landgebruik en hieraan gerelateerde belasting van de bodem. De monitoring stelt dan vast in hoeverre de eerder in dit advies genoemde maatregelen worden toegepast. Omdat ondergrondverdichting een langzaam voortschrijdend proces is, zijn zeker voor de kortere termijn (binnen 1 – 5 jaar) gebruiksindicatoren zinvoller dan toestandsindicatoren.

### **Meetinstrumenten**

Er worden verschillende meetmethoden gebruikt om bodemverdichting in de landbouw vast te stellen. Een aantal eenvoudige veldmetingen zijn beschreven in bijlage 2, paragraaf 2.2.2 van dit advies. De meetmethoden richten zich op de verdichting zelf of op de gevolgen van de verdichting. De TCB constateert dat voor een onderbouwde uitspraak van de aanwezigheid van ondergrondverdichting en hierdoor veroorzaakte problemen, niet volstaan kan worden met een enkele meting. De combinaties van metingen die in bijlage 2 worden genoemd zijn hiervoor geschikt. Voor het verkrijgen van een *indicatie* van ondergrondverdichting kan de indringweerstand worden bepaald met een penetrometer. Er zijn een aantal factoren waarmee dan goed rekening gehouden moet worden bij de interpretatie, zoals de vochttoestand van de bodem en van nature aanwezige minder doordringbare lagen. Aanvullend op deze metingen kan in een eenvoudige veldproef de infiltratiecapaciteit worden gemeten<sup>39</sup>.

---

<sup>39</sup> Bij dijken is recent onderzoek gedaan naar het infiltratievermogen van de toplaag in verband met wateroverslag. Hierbij is een eenvoudige veldproef ontwikkeld geschikt voor de toplaag en ondergrond (boven het grondwaterniveau). Van Hoven, A. en F.B.J. Barends, 2010. A practical approach for infiltration tests. FiSST TUDelft, CDROM.

TENSLOTTE

Ondergrondverdichting is een bodemprobleem dat zich aan het oog onttrekt. Het is alleen indirect waarneembaar en dan gaat het om effecten, zoals plasvorming en verminderde gewasgroei, die ook andere oorzaken kunnen hebben. Kortom, het probleem is moeilijk te vatten. Des te belangrijker is het om via metingen de feitelijke situatie aan te tonen en daarmee de noodzaak van de inzet van beleid te motiveren. De TCB hoopt dat dit advies bijdraagt aan het scherper in beeld krijgen van het probleem.

Een afschrift van dit advies heb ik gestuurd naar uw ambtgenoot, de staatssecretaris van Economische zaken, Landbouw en Innovatie.

Met de meeste hoogachting,

Het origineel van dit advies is gestuurd aan de verantwoordelijke bewindspersoon/personen.
--

Ali Edelenbosch  
Voorzitter Technische commissie bodem

BIJLAGE 1.

De adviesaanvraag





> Retouradres Postbus 20951 2500 EZ Den Haag

de voorzitter van de TCB  
Mw. A. Edelenbosch - van Houten  
Postbus 30947  
2500 GX Den Haag

**Directoraat-Generaal Milieu**  
Directie Duurzaam Producteren  
Natuurlijke hulpbronnen

Rijnstraat 8  
Postbus 20951  
2500 EZ Den Haag  
Interne postcode 625  
[www.vrom.nl](http://www.vrom.nl)

**Contactpersoon**  
Dr. M.N.E. Nelemans  
T 3394105  
F 3391336

Datum 15 DEC. 2009  
Betreft adviesaanvraag Bodemverdichting

**Kenmerk**  
DP2009063121

Geachte voorzitter,

Hierbij verzoek ik u mij, mede namens de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, te adviseren over mogelijke kosteneffectieve methoden om bodemverdichting vast te stellen. Daarnaast verzoek ik in uw advies tevens in te gaan op de maatregelen om de verdichting zoveel mogelijk te voorkomen en waar deze toch is opgetreden over mogelijke maatregelen om deze structureel op te heffen. Daarbij stel ik een indicatie van de kosten en baten van de maatregelen op prijs.

Dit verzoek vloeit voort uit een verzoek van het Interprovinciaal Overleg. Ik stel het op prijs uw advies binnen een jaar na deze aanvraag te ontvangen.

#### Aanleiding

Zoals u bekend is het streven van het kabinet om het gebruik van de bodem door burgers en bedrijven duurzaam te doen zijn. In de Beleidsbrief Bodem (2003) staat het vermogen centraal om voor de toekomst de maatschappelijke functies van de bodem te behouden.

In de Beleidsbrief is de aandacht voor de bodem verbreed. Bij handelingen op of in de bodem moet – naast het chemische aspect – tevens rekening worden gehouden met de fysische en de biologische consequenties. Bodemverdichting is een aantasting van de bodemstructuur en raakt daarom aan het fysische bodemaspect.

Daarnaast wordt in het kader van de EU Bodemstrategie en de ontwerp EG Kaderrichtlijn Bodem nadrukkelijk aandacht gevraagd voor bodemverdichting. Bodemverdichting kan de bodemfuncties – de ecosysteemdiensten – negatief beïnvloeden en heeft relaties met de VN-thema's woestijnvorming, klimaatverandering en biodiversiteit.

In het kader van de ontwerp EG Kaderrichtlijn Bodem moeten onder meer gebieden worden aangewezen waar verdichting is opgetreden, dan wel waar deze

aantasting zeer waarschijnlijk in de nabije toekomst zal optreden. Ambities en maatregelprogramma's moeten vervolgens worden vastgesteld. In de richtlijn is verdichting omschreven als: een toename van de volumieke massa en een afname van de porositeit van de bodem.

De provincies oriënteren zich momenteel op de maatregelen en instrumenten voor de potentieel aan te wijzen prioritaire gebieden. In dat kader en naar aanleiding van uw advies over de Gevolgen van afdekken, TCB S25(2009), heeft het Interprovinciaal Overleg mij verzocht om aan u advies te vragen over bodemverdichting. Deze adviesaanvraag is in samenwerking met het IPO opgesteld.

Directoraat-Generaal Milieu  
Directie Duurzaam Produceren  
Natuurlijke hulpbronnen

Kenmerk  
DP2009063121

#### Adviesaanvraag

Voor een beoordeling van de verdichtings situatie van de bodem zijn nog geen goede kosteneffectieve methoden beschikbaar. Een en ander bemoeilijkt de communicatie over het onderwerp, maar ook de mogelijke inzet van welk soort beleid dan ook.

Verder is het van belang meer inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden om bodemverdichting te voorkomen, dan wel te verminderen. Het is van belang daarbij vooral te kijken naar een goede aansluiting bij het reeds bestaande beleid op de diverse terreinen.

In de praktijk blijkt dat nog geen geschikte maatregelen beschikbaar zijn om verdichting en met name de verdichting van de ondergrond (inclusief de ploegzool) langdurig op te heffen. Ik zou het op prijs stellen op dit punt een nadere verkenning en aanbevelingen van u te ontvangen.

Mijn vragen sluiten aan bij het rapport Duurzaam bodemgebruik in de landbouw, waarin geconstateerd wordt dat 'Kennis ontbreekt over de omvang van de verdichtingsproblematiek en hoe dit te voorkomen en te herstellen.'

#### Tenslotte

In de bijlage doe ik u een overzicht toekomen van de mij bekende relevante literatuur rond het thema verdichting. De lijst is zeker niet uitputtend, maar geeft een indicatie over de problematiek.

Als contactpersoon zal mw. dr. M.N.E. Nelemans fungeren (tel. 070 - 3394105, [maartje.nelemans@minvrom.nl](mailto:maartje.nelemans@minvrom.nl)). Namens het IPO is dat de heer drs. A.H. Smits (tel. 0592 - 365455, [a.smits@drenthe.nl](mailto:a.smits@drenthe.nl)).

Hoogachtend,

de minister van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,



dr. Jacqueline Cramer

## BIJLAGE

### Referenties

- Technische commissie bodem (TCB), 2009 Gevolgen afdekken van bodem, TCB S25(2009)
- Mededeling van de Commissie aan de Raad, het Europees Parlement, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's "Thematische Strategie Voor Bodembescherming" Com(2006)231 definitief
- Voorstel voor een Richtlijn 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, COM(2006) 232 definitief
- Beleidsbrief Bodem; Tweede Kamer, 2003/04, 28 663 en 28 199, nr. 13
- Wet Bodembescherming (Stb. 1986, 374)
- Richtlijn 2006/118/EG van het Europees Parlement en de Raad van 12 december 2006 betreffende de bescherming van het grondwater tegen verontreiniging en achteruitgang van de toestand (Grondwaterrichtlijn)
- Vlaamse Milieumaatschappij (december 2007): Milieurapport Vlaanderen MIRA; Achtergrond document Thema Bodem,
- Alterra Wageningen UR (2008): Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zaveln (J.J.H. van den Akker en W.J.M. de Groot)
- RIVM (en Alterra Wageningen UR) (wordt waarschijnlijk in najaar 2009 gepubliceerd): Prioritaire gebieden in de Kaderrichtlijn Bodem: afname van bodembiodiversiteit en prestaties van ecosysteemdiensten (RIVM rapport 607370001/2009; M. Rutgers, G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, J. Bloem, A.J. Schouten en A.M. Breure)
- European Commission (2005): Soil Atlas of Europe
- SPADE
- Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Geographisches Institut:: Bodenverdichtung und Tieflockerung (2006)
- Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection, Volume VI Research, Sealing & Cross-cutting issues (2004)
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie: Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern Bodenverdichtung
- Europees Milieuagentschap: Europe's environment: the third assessment; 9. Soil degradation
- Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau: Vermeidung von Bodenverdichtungen und Bodenabträgen, Robert Brandhuber (2004)
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft; Bodendruck und Bodenbelastbarkeit (2005)
- Leidraad Bodembescherming, onderdeel 5720. Sdu, Den Haag: Bodemverdichting, 51 p (Akker, J.J.H. van den, G.D. Vermeulen, P.H.M. Dekker en A.P. Phillipsen, 2006).
- Special Issue Soil and Tillage Res. 73: 1-185: Experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union.. (Van den Akker, J.J.H., Arvidsson, J. and Horn, R., (Eds.), 2003).
- Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon, UK. pp. 163-184. Van den Akker, J.J.H. and

Directoraat-Generaal Milieu  
Directie Duurzaam Producteren  
Natuurlijke hulpbronnen

Kenmerk

DP2009063121

Schjønning, P., 2004. Subsoil compaction and ways to prevent it. Chapter 10  
in: Schjønning, P., Elmholt, S., Christensen, B.T. (eds).

- Risk Assessment Methodologies for Soil Threats (RAMSOIL); Risk Assessment  
Methods of Compaction (J.J.H. van den Akker and C. Simota)

**Directoraat-Generaal Milieu**  
Directie Duurzaam Produceren  
Natuurlijke hulpbronnen

**Kenmerk**  
DP2009063121

## BIJLAGE 2. BEGRIPPEN EN INDICATOREN

### 2.1 TOELICHTING BIJ BEGRIPPEN

#### *Indringweerstand*

Betekenis. De weerstand van de bodem bij een verticale penetratie waarbij een object (meestal een conus) in de bodem wordt geduwd. De metingen vinden plaats met een penetrometer.

Toelichting. De heterogeniteit is groot. De weerstand van de bodem wordt, behalve door de dichtheid, de grondsoort en de structuur, ook sterk bepaald door het vochtgehalte.

Door Rutgers *et al.*<sup>40</sup> worden de ervaringen beschreven met het meten van de indringweerstand met een penetrometer op agrarische locaties tot een diepte van 80 centimeter. Het blijkt hierbij moeilijk om de resultaten van de metingen éénduidig te koppelen aan de verdichtingstoestand van de bodem. De waargenomen variatie is, door de heterogeniteit van de bodem, groot. Metingen zijn zeer gevoelig voor het vochtgehalte van de bodem. Er is nog géén methodiek ontwikkeld om het gehele dichtheidsprofiel (een grafische weergave van de gemeten weerstanden over de diepte) om te zetten naar één of meer indicatiegetallen voor verdichting.

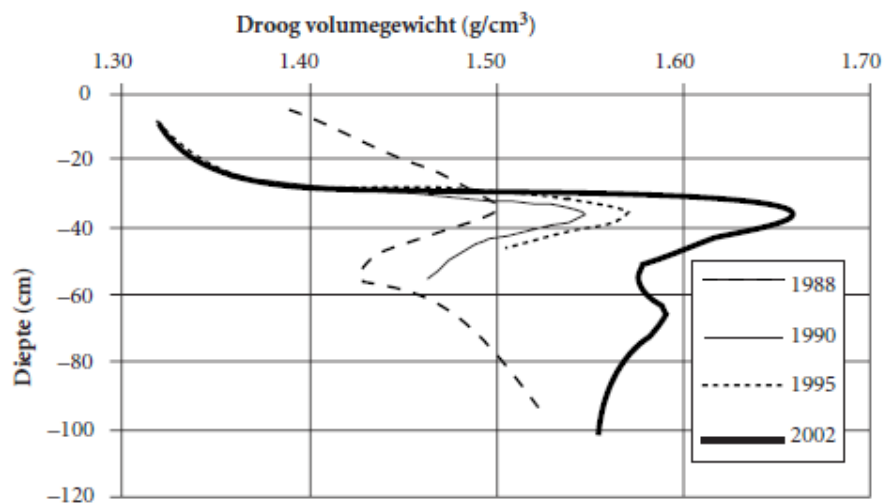
#### *Penetrometer*

Zie indringweerstand.

#### *Droog volumegewicht*

Betekenis. De massa van het gedroogde materiaal gedeeld door het volume.

Toelichting. De toename van het droog volumegewicht van de bodem kan een goede indicator zijn van bodemverdichting. Zie **figuur 1**.



Figuur 1. toename van het droge volumegewicht van een lössgrond door toename van de wielbelastingen in de loop van de tijd (1988-2002). In 2002 werden de monsters genomen op vooraf gekozen locaties met de hoogste indringweerstand. Volumegewichten van meer dan 1,6 g/cm<sup>3</sup> resulteren in een sterke afname van de bewortelbaarheid en waterdoorlatenheid.

<sup>40</sup> Rutgers M. *et al.*, 2009. Prioritaire gebieden in de kaderrichtlijn bodem: belang van bodembiodiversiteit en ecosystemendiensten. RIVM rapport 607370001. Bilthoven.

(Overname, inclusief bijschrift, uit: Van den Akker *et al*, 2006)<sup>20</sup>.

### ***Verzadigde doorlatendheid***

**Betekenis.** Maat voor het gemak waarmee water door een verzadigde bodem kan stromen.

**Toelichting.** De verzadigde doorlatendheid kan op verschillende manieren worden gemeten. Bijvoorbeeld: in een gestandaardiseerde test in het laboratorium wordt het doorstroomdebiet bepaald door een kolom waterverzadigde grond. De kolom is gestoken in het veld met een ring van 10 centimeter hoog en 19 centimeter diameter (Van den Akker, Alterra, pers. med.).

### ***Profielbeschrijving***

**Betekenis.** Beschrijving van het bodemprofiel. Het bodemprofiel is de verticale doorsnede van de grond door al zijn horizonten en lagen.

**Toelichting.** De profielbeschrijving geeft informatie over de mate van verdichting en doorworteling. Om het profiel te bepalen is het nodig om eerst de bodem verticaal tot een bepaalde diepte af te graven (profielkuil).

### ***Luchtgevuld poriënvolume***

**Betekenis.** Het luchtgevuld poriënvolume van de bodem bij een gegeven onderdruk.

### ***Pedotransferfunctie***

**Betekenis.** Functie (formule) die een bepaalde eigenschap van de bodem beschrijft (zoals bijvoorbeeld de weerstand bij uitgeoefende druk) op basis van andere, meestal makkelijker meetbare eigenschappen.

### ***Pakkingsdichtheid***

**Betekenis.** Maat voor de compactheid van de bodem.

**Toelichting.** De pakkingsdichtheid werd oorspronkelijk visueel bepaald aan de hand van een bodemprofiel. Later zijn rekenregels ontwikkeld om de pakkingsdichtheid te schatten.

Rekenregel:

$$PD = Db + 0,009 \times C$$

Waarbij: PD = pakkingsdichtheid; Db = droog volumegewicht ( $\text{g cm}^{-3}$ ); C = kleigehalte (in gewichtsprocenten).

### ***Precompressiesterkte (PCS)***

**Betekenis.** Maat voor de weerstand van de bodem tegen verdichting.

**Toelichting.** Indicator voor de gevoeligheid van de bodem voor verdichting. Uitgangspunt is dat zolang de PCS niet wordt overschreden, de bodem elastisch op verticale spanning in de bodem reageert. Wanneer de PCS wordt overschreden dan treedt vervorming op. De PCS kan direct worden gemeten (met een zogenaamde 'oedometer') of worden berekend met behulp van regressievergelijkingen (pedotransferfuncties). Voor deze berekeningen zijn gegevens nodig over onder andere de textuur, het vochtregime en het droog volumegewicht.

## 2.2 INDICATORSETS

### 2.2.1 Indicatoren voor monitoring

In het Europese project ENVASSO<sup>41</sup> zijn tien indicatoren geselecteerd die gebruikt kunnen worden bij de beoordeling van bodemverdichting in het kader van monitoring. Deze indicatoren zijn hierna kort aangeduid en uitgebreider beschreven in bijlage 2. De in dit project geadviseerde monitoringsfrequentie is in alle gevallen om de 5 – 10 jaar. De criteria voor de selectie waren: - wetenschappelijke onderbouwing; - beschikbaarheid van een praktische meetmethode; - relevantie voor beleid en bodemgebruikers.

De geselecteerde criteria zijn hierna weergegeven. De toevoeging B, G of O geeft aan waar de indicator zich op richt:

[B]: indicatoren van bodemverdichting in de bestaande situatie;

[G]: indicatoren voor de gevoeligheid van de bodem voor bodemverdichting;

[O]: indicatoren met betrekking tot de oorzaken van bodemverdichting.

#### *Nationale en Europese schaal:*

1. Dichtheid (droog volumegewicht, pakkingsdichtheid, totale porositeit) [B]
2. Luchtgevuld poriënvolume [B]
3. Geschatte gevoeligheid voor verdichting (methode Jones, zie tabel 1 hoofdstekst advies) [G]
4. Drainage conditie (klasse) [G]

#### *Lokale en regionale schaal:*

5. Doorlatendheid [B]
6. Indringweerstand [B]
7. Visuele beoordeling (structuur, wortels) [B]
8. Gronddruk [O]
9. Bodemgebruik en bodembewerking [O]

#### *Lokale schaal:*

10. Precompressiesterkte [G]

#### **Selectie van top 3:**

In het ENVASSO project zijn als belangrijkste indicatoren voor de kwetsbaarheid voor bodemverdichting benoemd:

- indicatoren voor kwetsbaarheid afgeleid van textuur, dichtheid, klimaat en landgebruik;
- de drainage omstandigheden;
- de stevigheid van de bodem (precompressiesterkte).

---

<sup>41</sup> Huber S. *et al.*, (eds), 2008. ENVASSO: Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume I Indicators & Criteria. EUR 23490 EN/1, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 339 pp.

## 2.2.2 Indicatoren voor eenvoudige veldmetingen

*Indicatorset van Lebert et al.*

Een andere selectie van indicatoren voor bodemverdichting is gepresenteerd door Lebert *et al.*<sup>42</sup>. Uit een totaal van 15 indicatoren is een beperkte set geselecteerd om op eenvoudige en kosteneffectieve wijze ondergrondverdichting vast te stellen. De indicatorset is samengevat in tabel B2.1.

De criteria voor de gekozen parameters zijn:

- een directe relatie met de bodemfuncties;
- enkelvoudige eigenschap (niet geaggregeerd);
- beschikbaarheid van een eenvoudige meetmethode;
- beschikbaarheid van een onderbouwde drempelwaarde voor de ondergrond.

Tabel B2.1. Indicatoren voor schadelijke bodemverdichting volgens Lebert *et al.*, 2004.

Luchtgevuld poriënvolume
Verzadigde waterdoorlatendheid
Visuele beoordeling bodemdichtheid
Visuele classificatie van de pakkingsdichtheid
Spadediagnose (beoordeling van in veld gestoken grond)

Naast deze indicatorset voor de toestand van de bodem, beschrijven Lebert *et al.* ook indicatoren voor de oorzaken van verdichting (meten of berekenen van de druk) en de gevoeligheid van verdichting (op basis van de berekende precompressiesterkte). De uiteindelijke beoordeling vindt plaats op basis van een combinatie van deze indicatorset en een beoordeling van de belasting van de bodem en de gevoeligheid.

*Indicatorset van Van den Akker en De Groot.*

Van den Akker en De Groot<sup>43</sup> pasten 5 verschillende indicatoren toe in hun verkennend onderzoek naar lokale bodemverdichting op zavel- zand- en lössgrond. Deze indicatoren zijn:

- Dichtheid van de bodem (droog volumegewicht; pakkingsdichtheid)
- Luchtgevuld poriënvolume
- Verzadigde waterdoorlatendheid
- Indringweerstand

Op grond hiervan werd geconcludeerd dat bij alle acht locaties sprake was van sterke verdichting van de bodem onder de bouwvoor (ondergrond). Op locaties waar de indringweerstand hoger was dan de drempelwaarde, bleken andere indicatoren (zoals de doorlatendheid) beneden de geldende drempelwaarden te blijven. Het gebruik van één enkele indicator zou onvoldoende zijn geweest.

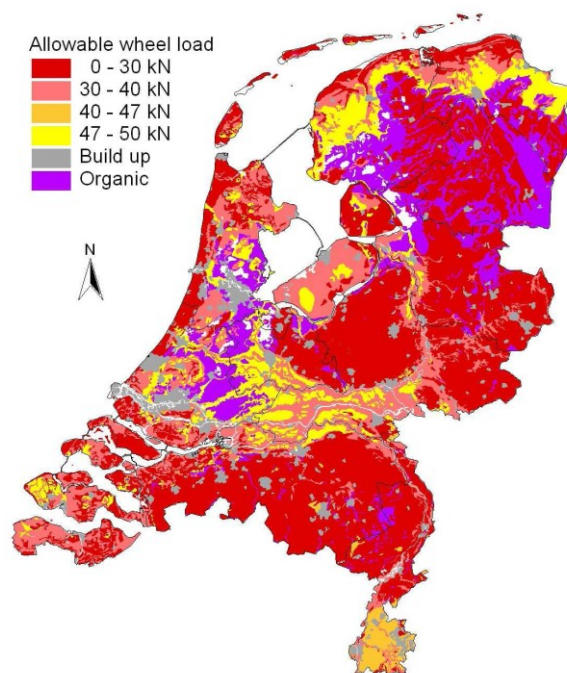
---

<sup>42</sup> Lebert M. *et al.*, 2004. Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr. Forschungsbericht 200 71 245. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

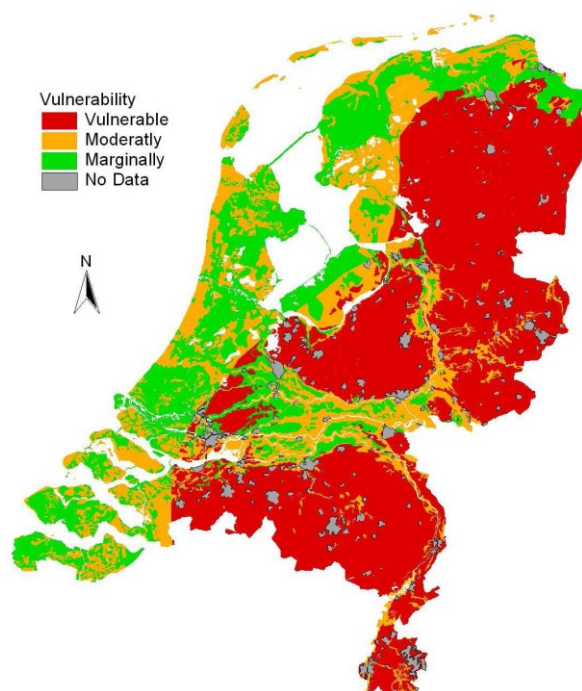
<sup>43</sup> Van den Akker, J.J.H. en W.J.M. De Groot, 2008. Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zaveln. Wageningen, Alterra-rapport 1450.



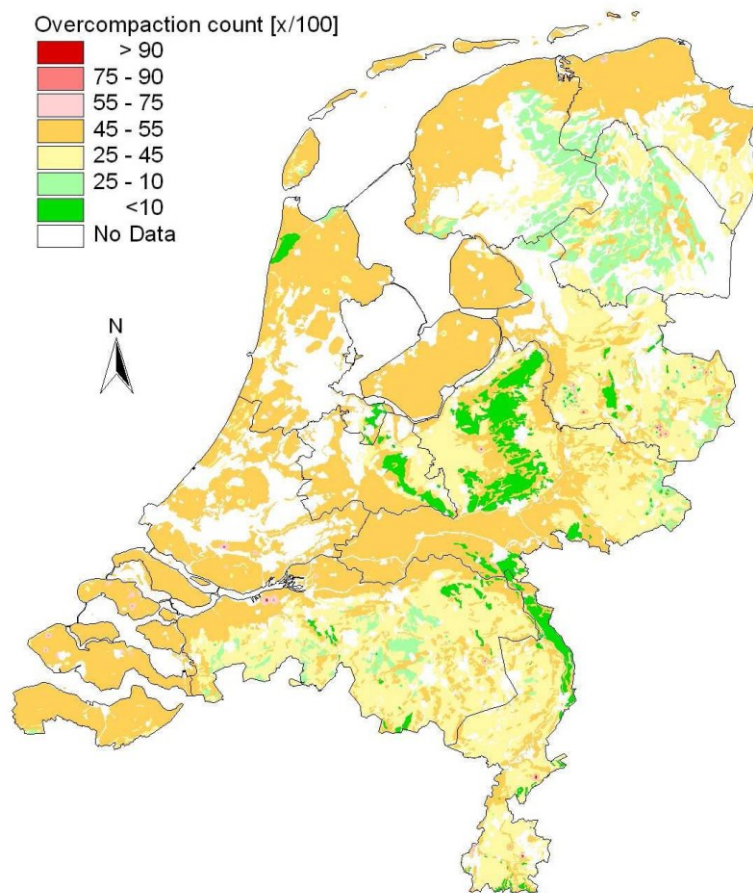
### BIJLAGE 3. BODEMVERDICHTINGSKAARTEN



Figuur 1. Maximaal toelaatbare wiellast voor een Terra Tire 73x44.00-32 bij een zuigspanning van 30 kPa, pF 2,5. (Van den Akker en Hoogland, 2011)<sup>26</sup>.

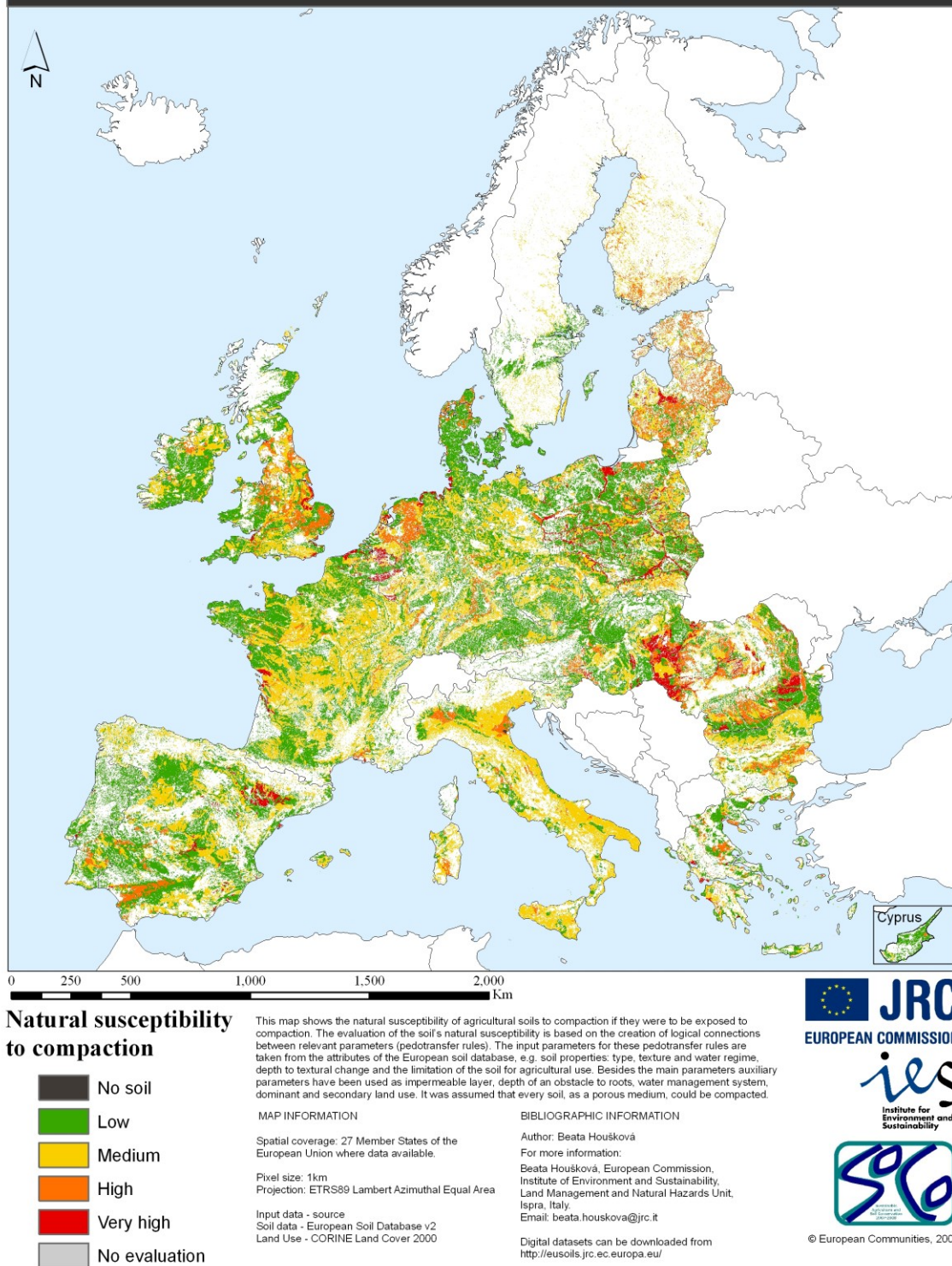


Figuur 2. Kwetsbaarheid voor ondergrondverdichting, geschat op basis van bodemeigenschappen en klimaatgegevens (Van den Akker en Hoogland, 2011)<sup>26</sup>.

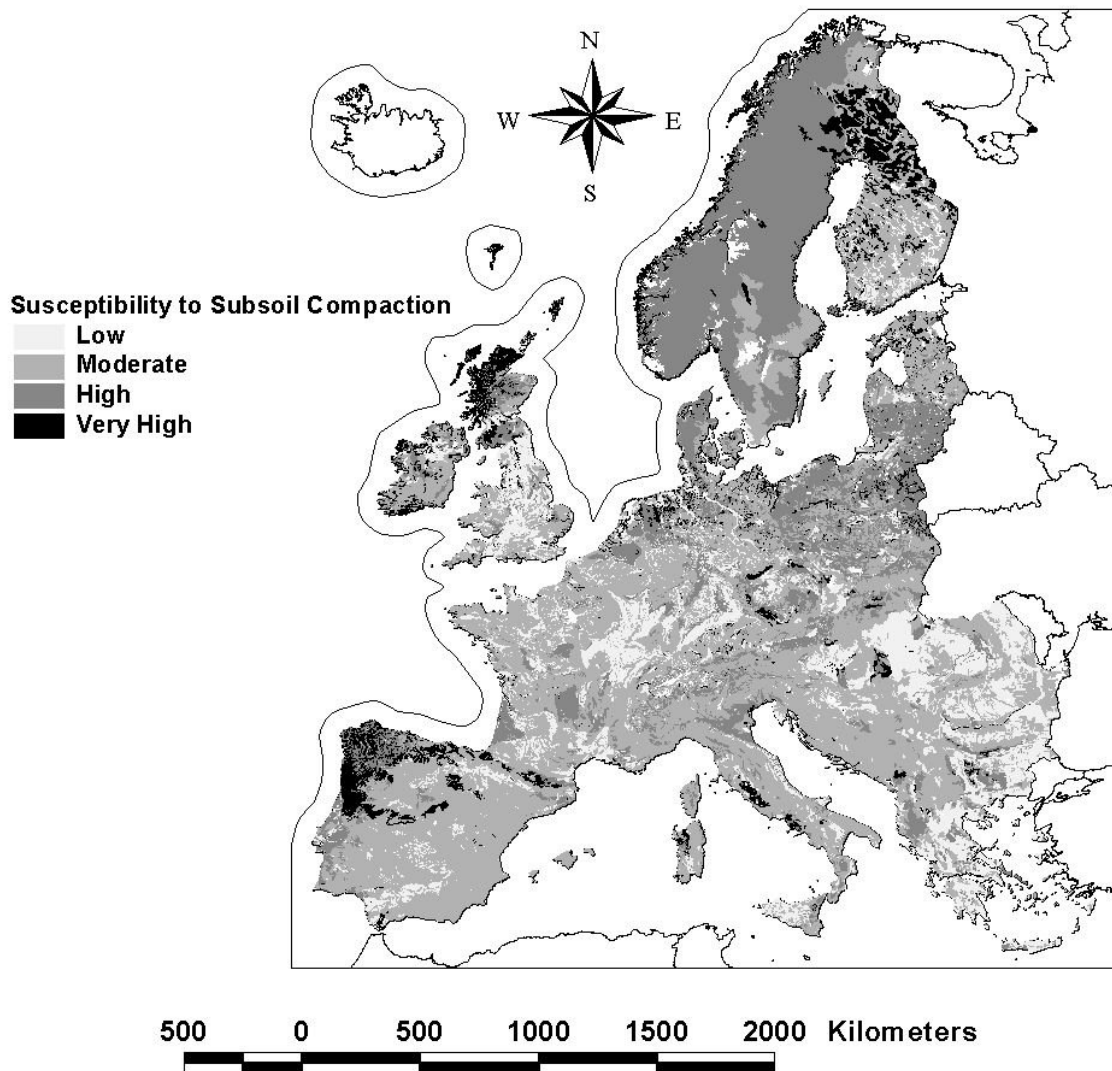


Figuur 3. Schatting van de mate van ondergrondverdichting in 2010. Verwacht aantal waarnemingen per 100 waarnemingen waarin in 2010 ondergrondverdichting is opgetreden (Van den Akker en Hoogland, 2011)<sup>26</sup>.

# The natural susceptibility of soils to compaction



Figuur 4. De gevoeligheid van landbouwbodems in Europa voor verdichting. (JRC, 2008)<sup>29</sup>.



Figuur 5. Provisorische kaart voor de inherente gevoeligheid voor verdichting van ondergronden in Europa (Jones, 2003)<sup>25</sup>.

*TCB adviezen gerelateerd aan dit advies:*

Advies Duurzamer bodemgebruik in de landbouw, A036(2005)

Advies Gevolgen afdekken bodem, A048(2009)

Advies Randvoorwaarden afdekken bodem in stedelijk gebied, A063(2010)

*De commissieleden van de TCB zijn:*

**Mevr. A. Edelenbosch**, voorzitter TCB

**Prof.dr. P.C. de Ruiter**, vicevoorzitter TCB, hoogleraar Theoretische Ecologie aan het instituut *Biometris* en waarnemend leerstoelhouder Landdynamiek, beide onderdeel van Wageningen UR

**Prof.dr.ir. F.B.J. Barends**, hoogleraar Grondwatermechanica aan de TU Delft, lid wetenschapsteam bij Deltares (Geo-Engineering)

**Dr. J. Griffioen**, milieugeochemicus bij Deltares/TNO Geological Survey of the Netherlands

**Drs. C. Hegger**, arts maatschappij en gezondheid bij GGD Rotterdam-Rijnmond

**Dr.ir. J.J. Neeteson**, manager business unit Agrosysteemkunde van Plant Research International, WUR en waarnemend leerstoelhouder van de leerstoelgroep Biologische Landbouwsystemen van Wageningen Universiteit

**Prof.dr. J.G.M. Roelofs**, hoogleraar Aquatische Ecologie en Milieubiologie aan de Radboud Universiteit Nijmegen

**Prof.dr. J.C.H.M. Vangronsveld**, hoogleraar Milieukunde aan de Universiteit van Hasselt

**Prof.dr. J.A. van Veen**, hoogleraar Microbiële Ecologie aan de Universiteit Leiden, hoofd van de afdeling Microbiële Ecologie bij het NIOO te Wageningen

**Prof.dr. W.P. de Voogt**, bijzonder hoogleraar Milieuchemie van opkomende watercontaminanten aan de Universiteit van Amsterdam, principal scientist bij KWR Nieuwegein

**Dr. A.P. van Wezel**, ecotoxicoloog, teamleider Chemische waterkwaliteit en gezondheid bij KWR Nieuwegein

**Dr. C.M. Plug**, ministerieel vertegenwoordiger, directeur Duurzaam Producteren, Ministerie van Infrastructuur en Milieu

*Het secretariaat van de TCB:*

**Dr. J. van Wensem**, algemeen secretaris

**Dr.ir. A.E. Boekhold**, plaatsvervangend algemeen secretaris

**Drs. J. Tuinstra**, senior adjunct secretaris

**Drs. M. ten Hove**, adjunct secretaris

**Drs. J.L.M. Oomes**, adjunct secretaris

**S.I. Sewnarain**, administratief medewerker

Dit advies is opgesteld door Jaap Tuinstra