

# Kosten en baten van bodembeheer

Maatregelen tegen winderosie, veenafbraak  
en ondergrondverdichting



LEI

WAGENINGEN UR

# Kosten en baten van bodembeheer

Maatregelen tegen winderosie, veenafbraak  
en ondergrondverdichting

Tom Kuhlman  
Rolf Michels  
Bas Groot

LEI-rapport 2010-058  
Augustus 2010  
Projectcode 2221287000  
LEI, onderdeel van Wageningen UR, Den Haag

Het LEI kent de volgende onderzoeksvelden:



Sector & Ondernemerschap



Regionale Economie & Ruimtegebruik



Markt & Ketens



Internationaal Beleid



Natuurlijke Hulpbronnen



Consument & Gedrag

## **Kosten en baten van bodembeheer; Maatregelen tegen winderosie, veenafbraak en ondergrondverdichting**

Kuhlman, T., R. Michels en B. Groot

LEI-rapport 2010-058

ISBN/EAN: 978-90-8615-448-7

Prijs € 15,25 (inclusief 6% btw)

64 p.

In 2006 is door de Europese Commissie een Kaderrichtlijn Bodem voorgesteld. In dit rapport wordt onderzocht wat de gevolgen van dit voorstel voor Nederland zouden zijn (tenminste voor landbouwgronden). Drie processen van bodemdegradatie zijn in dit verband relevant: winderosie, afbraak van veen en ondergrondverdichting. Van deze processen wordt onderzocht welke gevolgen ze hebben voor de landbouw en voor de samenleving als geheel, en wat de kosten en baten van eventuele maatregelen ertegen zijn.

In 2006 the European Commission proposed a Soil Framework Directive. This report examines the potential consequences of such legislation for the Netherlands - at least on agricultural lands. Three soil threats are relevant in this country: wind erosion, peat degradation and subsoil compaction. The impact of these processes on both agriculture and society at large is explored as well as the effects of possible measures to counteract them. An attempt is made to quantify and value these effects so as to arrive at a social cost-benefit analysis of the proposed policy.

Project BO-11-002-01-008, 'Europese Bodemstrategie'

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het LNV-programma  
Beleidsondersteunend Onderzoek; Domein: Natuur, Thema: Bodem, Water  
en Klimaat.

Foto: Marcel Bekken

### **Bestellingen**

070-3358330

publicatie.lei@wur.nl

© LEI, onderdeel van stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2010  
Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.



Het LEI is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>6</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
	<b>Summary</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>15</b>
	1.1 Achtergrond	15
	1.2 Doel van het onderzoek	16
	1.3 Bodemfuncties en bodembedreigingen	16
	1.4 Methode	20
	1.5 Leeswijzer	23
<b>2</b>	<b>Winderosie</b>	<b>24</b>
	2.1 Het probleem	24
	2.2 Maatregel: heggen en houtwallen	27
	2.3 Maatregel: minimale grondbewerking	28
	2.4 Overige maatregelen	32
<b>3</b>	<b>Afbraak van veengronden</b>	<b>35</b>
	3.1 Het probleem	35
	3.2 Maatregel: verhoging slootpeil	40
	3.3 Maatregel: onderwaterdrains	43
<b>4</b>	<b>Ondergrondverdichting</b>	<b>45</b>
	4.1 Het probleem	45
	4.2 Maatregel: vermindering van druk op de bodem	47
	4.3 Overige maatregelen	50
<b>5</b>	<b>Evaluatie van de kosten en baten</b>	<b>53</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>57</b>

# Woord vooraf

De Europese Commissie heeft in 2006 een voorstel voor een Kaderrichtlijn Bodem het licht doen zien, waarin een aantal bedreigingen wordt geïdentificeerd waartegen bodems in Europa beschermd zouden moeten worden. Hoewel dit voorstel tot nu toe niet door de Europese Ministerraad is aangenomen, acht het ministerie van LNV het toch van belang om onderzoek te doen naar wat deze Kaderrichtlijn eventueel voor Nederland zou betekenen. Daarom wordt door Wageningen UR sinds 2006 een project Europese Bodemstrategie uitgevoerd, als onderdeel van het programma Beleidsondersteunend Onderzoek (BO). Het meeste hiervan wordt door Alterra uitgevoerd (met Mirjam Hack-Ten Broeke als projectleider), maar in de periode 2007-2008 is door het LEI een studie gedaan naar vruchtbare landbouwgronden in Europa, waarover onder andere een symposium in Brussel is georganiseerd.

Verder stond in 2009 een deelproject op het programma waarin de kosten en baten van de Kaderrichtlijn in beeld worden gebracht. Dit rapport is daarvan het resultaat. Het onderzoek is uitgevoerd door Tom Kuhlman, met medewerking van Rolf Michels en Bas Groot. Het werk is kritisch gevolgd door de Begeleidingscommissie BO Bodem, waarin behalve het ministerie van LNV ook het ministerie van VROM en het Interprovinciaal Overleg vertegenwoordigd zijn. Zij allen worden bedankt voor hun bijdrage.

Veel dank gaat uit naar André Smits van het IPO, Jan Huinink van LNV, en naar Jan van den Akker, Kor Zwart en Simone Verzandvoort van Alterra, die met hun deskundige commentaar een belangrijke bijdrage aan dit rapport hebben geleverd.



Prof.dr.ir. R.B.M. Huirne  
Algemeen Directeur LEI

# Samenvatting

---

Dit rapport bevat een studie naar de kosten en baten (zowel maatschappelijk als privaat-economisch) van maatregelen die deel zouden uitmaken van de EU-Kaderrichtlijn Bodem - zo deze van kracht zou worden. Als zodanig is het onderdeel van een onderzoeksproject van Wageningen UR (in opdracht van het ministerie van LNV) dat zich bezighoudt met diverse aspecten van de Europese Bodemstrategie.

De concept-Kaderrichtlijn identificeert een aantal bedreigingen voor bodems in Europa:

- erosie;
- verlies van organische stof;
- verontreiniging;
- verzilting;
- verdichting;
- verlies van biodiversiteit;
- afdekking;
- aardverschuivingen en overstromingen.

Niet al deze bedreigingen doen zich voor in Nederland, of tenminste niet in de zin zoals bedoeld in de Kaderrichtlijn. Verder richt deze studie zich op bedreigingen die zich specifiek voordoen op landbouwgronden. Met dit voor ogen is gekozen voor de volgende drie thema's:

- winderosie, met name in de veenkoloniën;
- afbraak van veengronden, met name in het westelijk veenweidegebied (verlies van organische stof);
- ondergrondverdichting.

In het onderzoek wordt bekeken (a) in welke mate deze processen zich voordoen; (b) welke effecten ze hebben, enerzijds voor de landbouw en anderzijds voor de samenleving als geheel; (c) welke maatregelen mogelijk zijn; en (d) wat de kosten van deze maatregelen zijn, zowel rechtstreekse kosten als gederfde opbrengsten. Bij het in kaart brengen van de diverse kosten en baten worden de verschillende effecten geïdentificeerd, waar mogelijk gekwantificeerd en vervolgens omgezet in geldwaarden. In de praktijk is het echter nog niet mogelijk om



alle kosten en baten te kwantificeren. Daarom is deze studie van verkennende aard.

Niettemin kan een aantal conclusies worden getrokken betreffende de drie degradatieprocessen.

1. Winderosie: er is nog veel onzekerheid over de ernst van dit verschijnsel. Schattingen komen op schade voor de landbouw van gemiddeld € 70-80 per hectare per jaar. De maatschappelijke schade is waarschijnlijk een veelvoud daarvan, met een mogelijke waarde van € 300.ha<sup>1</sup>.jr<sup>-1</sup>.

Een methode die in andere landen veel wordt gebruikt ter voorkoming van winderosie is minimale grondbewerking. Deze methode is ook effectief tegen andere vormen van bodemdegradatie, zoals verlies van organisch materiaal en verdichting. Voor de belangrijkste vorm van akkerbouw in de getroffen gebieden (aardappelteelt) is deze methode echter onrendabel.

Het planten van bomen als windvangers is effectief, maar zeer duur. Echter, wanneer naast de baten van het tegengaan van winderosie ook waarde wordt gehecht aan deze windsingels uit een oogpunt van landschapsbeheer, kan deze methode maatschappelijk rendabel zijn.

Andere methoden zijn het opbrengen van organisch materiaal, het bedekken van de bodem, en het ruw maken van het bodemoppervlak. Deze methoden worden tot op zekere hoogte al toegepast, de eerste twee gesteund door beleidsmaatregelen. De maatschappelijke kosten van winderosie lijken echter hoog genoeg om intensievere bodembescherming te rechtvaardigen.

2. Afbraak van veengronden: de afbraak van veengrond staat als zodanig niet ter discussie, maar de gevolgen ervan wel - zowel voor de landbouw als voor de samenleving. Voor de landbouw zijn de directe kosten van veenafbraak op korte termijn beperkt tot de noodzaak van diepere bemaling, en deze kosten zijn te verwaarlozen; op de langere termijn zijn er risico's als toename van kwel en verzilting, maar die zijn omstrede en door ons niet gekwantificeerd. De maatschappelijke kosten zijn veel hoger: toename van de uitstoot van broeikasgassen, schade aan funderingen, extra eutrofiëring van het oppervlaktewater, verdroging van natuurgebieden, en toename van het overstromingsrisico. De schade aan natuurgebieden en het klimaat effect schatten wij op € 87 miljoen per jaar; de andere effecten hebben wij niet kunnen kwantificeren, maar zijn vermoedelijk groter.

De meest voor de hand liggende maatregel is verhoging van het slootpeil. De kosten hiervan voor de landbouw zijn echter zeer hoog: bij een verhoging tot 40 cm onder het maaiveld treedt voor de melkveehouderij al een

verlies op van € 257.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>; een peil van 20 cm-mv zou dit verlies meer dan verdubbelen en een rendabele melkveehouderij (tenminste onder het huidige systeem) onmogelijk maken. De maatschappelijke baten liggen waarschijnlijk in dezelfde orde van grootte, maar omdat die baten onzeker zijn is een drastische verhoging van het grondwaterpeil voor het veengebied als geheel niet te rechtvaardigen. Een gebiedsgerichte aanpak met diverse slootpeilen op basis van compromissen tussen belanghebbenden ligt meer voor de hand.

Een andere mogelijkheid is het aanleggen van onderwaterdrains, waarmee het grondwaterpeil gestabiliseerd kan worden: lager in de winter en hoger in de zomer. Ondanks zekere voordelen voor de landbouw blijken onderwaterdrains echter tot lagere grasopbrengsten te leiden. Ook de maatschappelijke baten zijn niet onverdeeld positief, onder andere door de aanvoer van gebiedsvreemd water van mogelijk lagere kwaliteit.

3. Ondergrondverdichting: in het geval van ondergrondverdichting lijkt de kloof tussen de maatschappelijke en de privaat-economische kosten minder breed dan bij winderosie en veenafbraak. Hoe groot het probleem in Nederland is, is nog niet gekwantificeerd. Onze schatting is dat de kosten voor de landbouw kunnen uiteenlopen van € 80.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> voor melkveehouderij op zandgrond tot € 300.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> voor akkerbouw op lichte zavel. De effecten buiten de landbouw zijn divers: waterhoudend vermogen, biodiversiteit en broeikasgassen; alleen dat laatste effect is gekwantificeerd en wordt op € 3-13.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> geschat.

De belangrijkste maatregel om ondergrondverdichting te voorkomen is het verminderen van druk op de grond, waarvoor diverse technische mogelijkheden zijn. De meerkosten van deze technieken zijn vrij laag, al vergen ze wel investeringen.

Een tweede mogelijkheid, vooral ter aanvulling op de eerste, is het verhogen van de weerstand van de bodem tegen verdichting, door verbetering van de afwatering of door het opbrengen van organisch materiaal. De kosten van deze laatste maatregel, uitgevoerd met behulp van oogstresiduen, worden geschat op € 60.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>.

Herstel van de structuur van eenmaal verdichte ondergrond is niet onmogelijk, maar er is grote twijfel aan het effect ervan op lange termijn.

Naast deze conclusies betreffende de drie bestudeerde degradatieprocessen kunnen nog enkele algemene opmerkingen worden gemaakt:

- Het feit dat de maatschappelijke baten van maatregelen in de meeste gevallen hoger zijn dan de private geeft bodembescherming het karakter van een publiek goed. Dit kan een goede reden zijn voor overheidsinterventie, hetzij in de vorm van het opleggen van regels, hetzij in de vorm van compensatie voor boeren die de benodigde maatregelen vrijwillig willen uitvoeren;
- Er is nog een tweede argument voor overheidsinterventie in de bodem. Degradatieprocessen hebben vaak een cumulatief effect op de bodemfuncties, inclusief de agrarische productiviteit. Op korte termijn ondervindt de boer weinig hinder van de degradatie, en is het dus niet aantrekkelijk om te investeren in bodembeheer - tenzij hij een zeer lage discontovoet aanhoudt (en in dat geval zal de bank hem problemen geven). Bij ondergrondverdichting is herstel slechts gedeeltelijk mogelijk en zeer kostbaar. De gevolgen van veenafbraak en winderosie zijn permanent en praktisch onomkeerbaar.

# Summary

---

## Costs and benefits of soil conservation; measures to counteract wind erosion, peat degradation and subsoil compaction

This report is the result of an inquiry into the costs and benefits (social as well as private) of measures that would presumably be part of the proposed EU Soil Framework Directive if this directive were to be implemented. This inquiry is part of a research project on various aspects of the EU Thematic Strategy on Soils, of which the proposed directive is one element. The project is carried out by Wageningen UR and commissioned by the Netherlands Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality.

The draft Framework Directive identifies a number of threats to European soils:

- Erosion;
- Loss of organic matter;
- Contamination;
- Salinisation;
- Compaction;
- Loss of biodiversity;
- Soil sealing;
- Landslides and floods.

Not all of these threats affect the Netherlands, at least not in the form intended in the Framework Directive. Also, the present study is concerned with threats that specifically occur on farmland. With those considerations in mind, our focus is on the following three issues:

- Wind erosion, particularly in the *Veenkoloniën* (a region of excavated peat in the Northeast, now sandy soils used for arable farming)
- Erosion of peat lands, especially in the dairy zone in the western part of the country (loss of organic matter);
- Subsoil compaction.

Another component of the project is aimed at identifying priority areas for intervention. The present study is concerned with the costs and benefits per hec-

ture of the various possible measures. By combining the results of both studies an overall picture can be obtained of the costs and benefits of implementing the Soil Framework Directive in the Netherlands - at least in principle. In reality it is not yet possible to quantify all costs and benefits, which makes the present study an exploratory one.

Nevertheless some conclusions concerning the three forms of degradation can be drawn.

1. Concerning wind erosion: there is still considerable uncertainty on the seriousness of this phenomenon in the Netherlands. Estimates arrive at agricultural damage of €70-80 per hectare per year. The social costs of wind erosion are a multiple of that amount, perhaps € 300.ha<sup>1</sup>.yr<sup>-1</sup>.

Minimum tillage and other forms of conservation tillage have proven highly effective and successful in other countries against erosion by wind and water as well as against other forms of soil degradation, notably loss of organic matter and compaction. However, arable farming in the Netherlands is dominated by potatoes, and in this culture (on ridges) it is not feasible.

Planting shelterbelts is effective, but expensive - both in terms of establishment and maintenance and because of the sacrifice in area it entails. However, they do provide additional social benefits such as landscape improvement, and these may make them attractive.

Other methods include adding organic matter, covering the soil and roughening the soil surface. To a certain extent these methods are applied already, the former two with policy support. However, the social costs of wind erosion seem high enough to warrant more intensive soil conservation.

2. The extent of peat degradation is itself beyond doubt, but its impact - both on agriculture and on society at large - is hotly debated. For farmers, the direct cost of peat degradation in the short term is limited to the need to drain ever more deeply; that cost is negligible. In the longer term, there are risks of increased seepage and salinity, but these are controversial and unquantifiable. Social costs are much higher: increased emission of greenhouse gases, damage to foundations of buildings and infrastructure, additional eutrophication of surface water, drying up of adjacent wetlands, and increased risk of flooding. We estimate the damage to nature areas and the climate effect at €87m per year; the other effects have not been quantified but are probably larger.

The most obvious measure is raising the water level in the drainage ditches. However, this is very costly for farmers: a rise in the water level to 40 cm below ground - which is actually still too deep - would lead to a loss of

€257.ha<sup>1</sup>.yr<sup>-1</sup> for dairy farmers. Raising it to a depth of 20cm would more than double that loss and make dairying uneconomical (at least with the present system). The social benefits of the measure are probably of the same order of magnitude. However, those benefits are uncertain, and this makes it unjustifiable to apply such a measure across the entire peat zone indiscriminately. An area-based approach with various water levels based on compromises between stakeholders would be more appropriate.

An alternative is the laying of drains below the average groundwater level. Such drains can lower the groundwater level in winter (when soils are often waterlogged) and raise it in summer (when drought threatens). In spite of certain advantages of these drains, experiments have shown lower grass yields. The social benefits, too, are not undividedly favourable, for instance because the drains may bring in low-quality surface water from outside.

3. In the case of subsoil compaction, the gap between social and private costs seems less wide than in the case of wind erosion and peat degradation. However, the extent of the problem in the Netherlands cannot yet be quantified. Our estimate is that the costs to agriculture may vary from €80.ha<sup>1</sup>.yr<sup>-1</sup> for dairy farming on sandy soil to €300.ha<sup>1</sup>.yr<sup>-1</sup> for arable farming on sandy clay. The non-agricultural impact is varied: water retention, biodiversity and greenhouse gases; only the effect has been quantified and is estimated at €3-13.ha<sup>1</sup>.yr<sup>-1</sup>.

The principal measure for preventing subsoil compaction is reducing the pressure on the soil, for which there are various technical possibilities. The costs of these techniques are fairly minor, although they do require investments.

A second possibility, complementing the first one, is increasing the resistance of the soil to compaction. This can be done by improving drainage or by adding organic matter. The costs of this latter measure, by means of crop residues, are estimated at €60.ha<sup>1</sup>.yr<sup>-1</sup>.

Restoring compacted subsoil is not impossible, but there is much doubt concerning its long-term effect.

Besides these conclusions concerning the three processes of soil degradation studied here, some general remarks on soil conservation may be made:

- The fact that the social benefits of soil conservation measures are generally higher than the private ones makes soil conservation into a public good. This makes a case for public intervention, whether by imposing regulations or by

compensating farmers willing to implement the necessary measures voluntarily;

- There is a second argument for public intervention in soil protection. Degradation processes often have a cumulative effect on soil functions, including agricultural productivity. In the short term the farmer experiences little trouble, and this makes it unattractive to invest in soil protection - unless he uses a very low discount rate (in which case he will be in trouble with the bank). In the long run it will be too late to do anything about degradation. Recovery from subsoil compaction can be only partial and very costly. The consequences of peat degradation and wind erosion are permanent and, for practical purposes, irreversible.

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Achtergrond

In 2006 publiceerde de Europese Commissie haar Thematische Strategie voor Bodembescherming (EC, 2006), evenals een voorstel tot een Kaderrichtlijn Bodem die de uitvoering van de Strategie door de lidstaten moet ondersteunen (EC, 2006a). Voor het van kracht worden van deze kaderrichtlijn is een gezamenlijk besluit van de Europese Ministerraad en het Europees Parlement nodig. Een dergelijk besluit is er nog niet. Wel heeft het Europees Parlement, zij het met een groot aantal wijzigingsvoorstellen, ingestemd met de richtlijn. Diverse lidstaten, waaronder Nederland, verzetten zich echter hiertegen in de Europese Ministerraad. Niettemin is de Nederlandse regering (met name LNV, maar ook VROM) geïnteresseerd in de mogelijke gevolgen van een dergelijke kaderrichtlijn voor Nederland. Het onderzoeken daarvan is het doel van het BO-project in kwestie.

Dit rapport is het resultaat van een deelproject dat zich specifiek richt op de kosten en baten van de Kaderrichtlijn Bodem, en daarmee worden uiteraard de maatschappelijke kosten en baten bedoeld. In de vergadering van de Begeleidingscommissie van het project op 30 september 2009 is de onderzoeksvraag nader geconcretiseerd: het gaat niet om de geaggregeerde kosten en baten van een eventueel door te voeren richtlijn in Nederland, maar om een vergelijking van de kosten en baten van diverse mogelijke maatregelen, die op basis van de richtlijn zouden moeten worden genomen.

In de Europese Bodemstrategie wordt een aantal bedreigingen voor bodems genoemd, waarvan onderzocht moet worden of deze zich structureel in een geografisch beperkt gebied voordoen. Als dat zo is, zouden deze gebieden aangewezen kunnen worden als zogenoemde prioritaire gebieden. Daarbij dient een programma te worden opgesteld met maatregelen om de bedreigingen op te heffen en de gevolgen zoveel mogelijk teniet te doen. Van de in de Kaderrichtlijn genoemde bedreigingen zijn er drie met name van belang voor Nederland: erosie, verlies van organische stof en verdichting. Deze worden in de gegeven studie toegepast op

- winderosie;
- afbraak van veengronden;
- verdichting van de ondergrond.



## 1.2 Doel van het onderzoek

Het onderzoek identificeert een aantal maatregelen die geschikt zijn voor het tegengaan van winderosie, veenafbraak en/of ondergrondverdichting, en vergelijkt de maatschappelijke kosten en baten van elke maatregel. Dit heeft als doel de keuze van de meest geschikte maatregelen voor bodembescherming in het kader van de Kaderrichtlijn Bodem te ondersteunen.

Het onderzoek beperkt zich tot degradatieprocessen (of processen van bodemaantasting, zoals ze in de Kaderrichtlijn worden genoemd) op landbouwgrond - verreweg de belangrijkste categorie, maar zeker niet de enige. In het vervolg spreken we van bodembedreigingen of bodemdegradatie.

## 1.3 Bodemfuncties en bodembedreigingen

De Kaderrichtlijn Bodem en de Thematische Strategie voor Bodembescherming van de EU (Europese Commissie, 2006b, p. 2-3), hierna aangeduid als de Kaderrichtlijn Bodem) noemt 8 vormen van bodemdegradatie waarmee ze zich wil bezighouden:

- erosie;
- verlies van organisch materiaal (waardoor de vruchtbaarheid achteruitgaat en de uitstoot van broeikasgassen toeneemt);
- verdichting (het ontstaan van compacte lagen in de ondergrond, waardoor onder andere de waterhuishouding verslechtert);
- verzilting (toename van het zoutgehalte in de bodem);
- aardverschuivingen;
- verontreiniging;
- afdekking (het bedekken van de grond met een ondoorlatende laag, vooral door bebouwing);
- achteruitgang van de biodiversiteit.

Deze processen worden geduid als bedreigingen voor de functies die de bodem voor de mens heeft. Deze functies zijn door Blum (1993) als volgt benoemd:

1. Bron van biomassa (voedsel, energie, grondstoffen);
2. Opslag en omwerking van mineralen, organisch materiaal (koolstofcyclus) en water;
3. Woonplaats voor organismen, en genetisch reservoir (biodiversiteit);

4. Fundering van gebouwen en civiele kunstwerken;
5. Leverancier van grondstoffen (klei, zand, grind en dergelijke); en
6. Basis van het landschap (culturele, archeologische, historische en aardkundige waarden).

Deze formulering van bodemfuncties is overgenomen als basis voor de Kaderrichtlijn Bodem (EC, 2006a, p. 14), met enige kleine herformuleringen. We mogen hierbij aantekenen dat Blum de bodem enigszins anders ziet dan gebruikelijk onder bodemwetenschappers: niet alleen de laag waarin bodemvormende processen zich afspelen (wisselwerking van lithosfeer, atmosfeer, hydrosfeer en biosfeer), maar ook de gehele regoliet (dat wil zeggen al het ongeconsolideerd materiaal tot aan het harde gesteente). Verder valt op dat de functies van bodem nauw overeenkomen met de functies van landschappen (zie bijvoorbeeld De Groot en Hein, 2007). Dit is van belang bij het bepalen van de baten van bodembescherming.

Het spreekt vanzelf dat deze functies elkaar in de weg kunnen zitten: de bodem als fundering van gebouwen of wegen gebruiken betekent dat de afdekking diverse andere functies onmogelijk maakt. Gebruik van de grond voor de productie van voedsel (dat vervolgens wordt afgevoerd) is onmogelijk zonder afbreuk te doen aan biodiversiteit. Gelet hierop zullen we van bedreigingen spreken wanneer de bodem primair voor landbouw wordt gebruikt (functie 1) op zodanige wijze dat de agrarische productiefunctie zelf op lange termijn negatief wordt beïnvloed ofwel dat de functies 2, 3 en 6 meer dan strikt noodzakelijk worden aangetast. Dit 'strikt noodzakelijk' is uiteraard een rekbaar begrip. In de kosten-batenanalyse kan hiermee echter worden omgegaan door waarden aan deze functies toe te kennen en die te vergelijken met de agrarische opbrengsten, uitgaande van het meest gangbare agrarisch grondgebruik.

Functies 4 en 5 zijn voor ons doel minder relevant en spelen vooral een rol wanneer een oordeel moet worden gevormd over stedelijke ontwikkeling, respectievelijk delfstoffenwinning. Stedelijke ontwikkeling en landbouwproductie sluiten elkaar in de meeste gevallen uit, en vaak geldt dit ook voor de winning van delfstoffen, tenminste wanneer die aan de oppervlakte worden gewonnen. Verder zullen we ons niet bezighouden met bodembedreigingen in natuurgebieden en in de bosbouw.

Terug naar de degradatieprocessen. Ze zijn niet alle van even groot belang voor deze studie. Daarom, zoals in paragraaf 1.1 al kort is aangegeven, zijn er drie geselecteerd voor analyse: erosie, verlies van organisch materiaal en verdichting. Hieronder enige toelichting:

- Watererosie, in Europa als geheel de belangrijkste vorm, komt in Nederland alleen plaatselijk voor (het meest op de lössgronden van Zuid-Limburg). Maatregelen hiertegen bestaan al<sup>1</sup>, en daarom wordt watererosie niet meegenomen in deze studie. Winderosie is echter met name in Noordwest-Europa een probleem: open, vlakke landschappen met veel wind (Riksen en De Graaff, 2001). Deze studie richt zich daarom op winderosie;
- Verlies van organisch materiaal is om twee redenen van belang: ten eerste verslechtert hierdoor de kwaliteit van de bodem, met mogelijk gevolgen voor biodiversiteit (Rutgers et al., 2009), waterhuishouding en landbouwproductie; en ten tweede draagt het verlies van organisch materiaal bij aan het broeikas-effect. In Nederland is het eerste geen groot probleem, behalve in specifieke gevallen zoals de lelieteelt op esgronden (Jungerius, 2005). Het tweede speelt echter een grote rol op veengronden: door oxidatie, klink en krimp wordt de veenlaag voortdurend dunner (Van den Akker, 2005), waardoor een groot deel van de veengronden al verdwenen is. De gronden moesten - in het kader van de grondsoortenkaart - worden geherclassificeerd tot zandgrond (De Vries en Brouwer, 2005). Daarom wordt de afbraak van veengronden meegenomen in dit onderzoek;
- Bodemverdichting is niet zo'n groot probleem in de bovenlaag, omdat die door bodembewerking gemakkelijk ongedaan kan worden gemaakt. Echter, structuurbederf door verdichting van de ondergrond (de ploegzool en daaronder) is een groeiend probleem doordat in toenemende mate zware machines worden gebruikt. Ook dit proces wordt hier dus onderzocht;
- Verzilting is een probleem voor sommige Nederlandse bodems, dat mogelijk grotere vormen zal aannemen als gevolg van de klimaatverandering (Ter Voorde en Velstra, 2009). Het gaat hier om zoute kwel, een hoger zoutgehalte in oppervlaktewater en om infiltratie van zout in riviermonden. Echter, in de EU-Kaderrichtlijn Bodem wordt met deze bedreiging bedoeld op een accumulatie van oplosbare zouten in de bodem. Deze wordt veroorzaakt door de capillaire opstijging van zouten als gevolg van suboptimaal gebruik van irrigatiewater. Dit probleem doet zich in Noordwest-Europa niet voor. In dit rapport wordt daarom deze bodembedreiging als zodanig niet nader onderzocht. Wel wordt aandacht besteed aan zoute kwel als aspect van de veenproblematiek;

---

<sup>1</sup> De verordeningen van de productschappen Akkerbouw en Tuinbouw voor Zuid-Limburg, van respectievelijk 2008 en 2009.

- Met aardverschuivingen houdt dit onderzoek zich niet bezig. De vorm waarin dit probleem zich in Nederland plaatselijk voordoet is verzakking van (veen)kades; afslag van rivier- en beekoevers bij vrije meandering; en uiterst trage, maar wel grootschalige aardverschuivingen op Limburgse hellingen bestaande uit löss op ondiepe kalkondergrond. Dit zijn weliswaar reële bedreigingen, maar de noodzakelijke maatregelen liggen niet op het terrein van de landbouw;
- Voor bodemverontreiniging geldt in feite hetzelfde. Het gaat hier voornamelijk om (voormalige) stortplaatsen en industrieterreinen. Weliswaar vervuult de landbouw de bodem ook, maar de maatregelen hiertegen vallen onder andere EU-regels, zoals de Nitraatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water;
- Afdekking van de bodem is uiteraard een grote bedreiging, met name ook voor de waterhuishoudingsfunctie van de bodem en vooral in een al zo dicht bebouwd land als Nederland. Dit is echter meer een overweging die in de ruimtelijke ordening een rol moet spelen dan een bron van maatregelen voor agrarisch grondgebruik. Overigens vindt bij glastuinbouw en in de bouw van stallen voor de intensieve veehouderij ook afdekking van de bodem plaats;
- Achteruitgang van de biodiversiteit komt aan de orde bij de bespreking van de gevolgen van reeds genoemde bodembedreigingen.

De laatste drie thema's (bodemverontreiniging, afdekking en bodembiodiversiteit) zijn geen onderwerpen waarvoor de noodzaak van de aanwijzing van prioritaire gebieden moet worden gezien.

Twee andere vormen van bodemdegradatie, die niet in de Kaderrichtlijn staan maar voor Nederland wel van belang zijn, kwamen in de discussie rond het onderzoek aan de orde, maar zijn uiteindelijk niet meegenomen in de analyse:

- Slemp is een watererosieprobleem in de akkerbouw op löss en lichte zavel. Evenals verdichting is het een vorm van structuurbederf, zij het van geheel andere aard. De schade die door slemp ontstaat is voornamelijk van belang voor de boer zelf: alleen in Limburg zijn er neveneffecten in de vorm van modderstromen. De provinciale overheid heeft samen met Productschappen hier reeds maatregelen tegen getroffen (noot 3). Het onderwerp blijft daarom hier buiten beschouwing;
- Tarra (het bodemmateriaal dat aan knolgewassen blijft kleven) kan als een vorm van bodemdegradatie worden beschouwd. In principe keert tarra vanuit de aardappel- en suikerindustrie terug naar landbouwgronden, maar een deel gaat uiteraard verloren. In de discussies rond de totstandkoming van de

Europese Bodemstrategie is het wel besproken, maar niet opgenomen in de lijst van bodembedreigingen. Het is een vaak onderschat probleem (Ruyschaert et al., 2008). Besloten is echter dat dit onderzoek zich beperkt tot de bedreigingen die expliciet in de Bodemstrategie worden genoemd.

Daarom worden in dit rapport drie degradatieprocessen onderzocht: winderosie, veenafbraak en ondergrondverdichting.

## 1.4 Methode

Allereerst is voor elk van de in paragraaf 1.1 genoemde bedreigingen een aantal mogelijke maatregelen geïdentificeerd, op basis van literatuur en met behulp van advies van deskundigen. Voor elk van de bedreigingen is geïnventariseerd welke schade ze kunnen toebrengen aan de landbouw (on-site effecten) en aan derden (off-site effecten). Deze inventarisatie is in eerste instantie kwalitatief. Vervolgens wordt getracht deze effecten te kwantificeren, bijvoorbeeld in termen van daling van de productiviteit of extra uitstoot van broeikasgassen. Tenslotte worden deze kwantiteiten zoveel mogelijk omgerekend naar euro's (monetarisering). Daarmee wordt de basis gelegd voor het inschatten van de baten van de mogelijke maatregelen: naarmate de maatregel in staat is bodemdegradatie te verminderen ontstaan immers baten. De kwalitatieve en kwantitatieve beschrijving van de effecten van bodemdegradatie en van de bestrijdingsmaatregelen is ontleend aan technische gegevens. Voor de monetarisering zijn diverse methoden beschikbaar, die hieronder kort worden aangegeven.

Daarna worden de maatregelen zelf onder de loep genomen. Bekeken worden, voor elke maatregel:

- de directe kosten van toepassing voor de betrokken boer;
- de gevolgen voor de optimale landbouwproductie;<sup>1</sup> hierbij wordt, waar relevant, rekening gehouden met de gevolgen van toepassing voor andere boeren;
- de mate waarin de maatregel het desbetreffende proces van bodemdegradatie kan verminderen (de effectiviteit);

---

<sup>1</sup> Bij optimale productie wordt rekening gehouden met de gevolgen van het milieu. Dit leidt in het algemeen tot een mindere opbrengst, maar gaat veelal gepaard met lagere kosten.

- de gevolgen voor bodembiodiversiteit, de uitstoot van broeikasgassen, de waterhuishouding en het landschap; deze onderwerpen spelen ook een rol bij de aanwijzing van prioritaire gebieden.

Voor elk van deze gevolgen wordt (evenals bij de bodembedreigingen) bekeken in hoeverre deze kwantificeerbaar zijn. Zijn ze dat, dan komt de waardering aan de orde: hoe moeten de verschillende effecten met elkaar vergeleken worden? Dit is de kern van de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA), en deze wordt hieronder beschreven.

#### *Waardering van kosten en baten*

De MKBA-methode heeft als doel om het totale effect op welvaart van alternatieve handelwijzen in kaart te brengen, om te kunnen bepalen welk alternatief de voorkeur verdient. Ze wordt met name gebruikt voor publieke investeringen, waar de privaat-economische KBA geen uitsluitsel kan geven of een investering de moeite waard is. Die laatste vergelijkt namelijk alleen kosten en opbrengsten in geld; de aanleg van nieuwe natuur ten koste van landbouwgrond kan daarmee niet worden beoordeeld.<sup>1</sup>

Hoewel de MKBA in principe niet over geld gaat maar over welvaart, wordt er wel met euro's gerekend. Dat is omdat de verschillende effecten van bijvoorbeeld een project onder één noemer moeten worden gebracht om met elkaar vergeleken te kunnen worden. Ook zaken die normaliter niet in geld worden uitgedrukt, zoals vrije tijd, gezondheid of het genieten van natuur, moeten dus op de een of andere manier gemonetariseerd worden. Hiervoor zijn verschillende methoden beschikbaar; enkele voorbeelden:

- *directe kosten*  
Een effect op gezondheid kan gemonetariseerd worden door te berekenen hoe hoog de medische kosten zijn die door een verslechtering van de gezondheid worden veroorzaakt;
- *productiviteitseffect*  
Hierbij wordt geschat hoeveel productie of inkomen verloren gaat door bijvoorbeeld files of ziekte;
- *contingente waardering*  
Men kan mensen enquêteren om ze te vragen hoeveel geld ze bereid zouden zijn te betalen voor een bepaald goed, bijvoorbeeld het behoud van een bedreigde diersoort of ecosysteem;

---

<sup>1</sup> Voor meer informatie over MKBA, zie bijvoorbeeld Ruijgrok et al. (2004).

- *reiskostenmethode*

De behoefte van mensen aan een bepaald goed (dat niet op de markt wordt verhandeld) wordt gemeten door te kijken hoever men bereid is te reizen om dat goed te verkrijgen; dit kan goed gebruikt worden voor recreatie;

- *hedonische prijzen*

De marktprijs van een goed (bijvoorbeeld een huis) is een uitdrukking van verschillende baten die aan dat goed ontleend kunnen worden: comfortabel wonen, maar ook een gunstige locatie, een mooi uitzicht of een hoge status. Met hedonische prijsanalyse kan geschat worden hoeveel welvaart een mooi uitzicht oplevert.

Er zijn overigens ook aspecten aan MKBA waarbij marktprijzen worden gebruikt als indicatie voor welvaartseffecten. Een voorbeeld is het hierboven genoemde effect van een aantrekkelijke omgeving op huizenprijzen. Een ander voorbeeld is dat verbetering van de kwaliteit van een gebied kan leiden tot hogere omzetten bij horeca- of andere recreatiebedrijven.

In dit rapport is de vraagstelling enigszins anders dan gebruikelijk. Het gaat om maatregelen op landbouwgrond die de bodembedreiging beogen op te heffen, en die zijn voor boeren nuttig - soms op de kortere termijn, vaak vooral op langere termijn. Om dat nut te waarderen kunnen we een conventionele privaateconomische KBA gebruiken. Daarnaast hebben die maatregelen algemeen nut. De gedachte nu is dat we erachter moeten komen hoe de kosten en baten voor de boer zich verhouden tot die voor de samenleving als geheel. Als er maatschappelijke baten zijn waaraan de boer niets verdient zal hij de maatregel minder ruim toepassen dan de samenleving graag zou zien. De samenleving kan dan iets doen om de boer ertoe te bewegen meer te doen om de bodem te verbeteren: hem ertoe dwingen via wettelijke maatregelen of het gewenste gedrag belonen met een financiële prikkel.

Het zal duidelijk zijn dat de MKBA haar beperkingen heeft. Sommige kosten en baten zijn zeer moeilijk te kwantificeren en nog moeilijker te moneteriseren. De gebruikte waarderingen zijn soms subjectief. Het is daarom van belang om rekening te houden met het adagium 'Not everything that counts can be counted'. Daarom benoemen we de verschillende effecten, ook als we ze niet kunnen kwantificeren of moneteriseren. Het is ook voor ons doel ook lang niet altijd nodig om een precieze waardering in euro's te geven: het is voldoende om vast te stellen (a) of een maatregel voordeel biedt boven een andere; (b) hoe de kosten en baten voor de samenleving zich verhouden tot die voor de boer.

## 1.5 Leeswijzer

De volgende hoofdstukken zijn gewijd aan de drie processen van bodemdegradatie en de maatregelen die ertegen genomen kunnen worden. In elk hoofdstuk wordt eerst het degradatieproces zelf behandeld, en vervolgens - overeenkomstig de in paragraaf 1.4 beschreven methode - de gevolgen die het heeft voor de landbouw en voor de samenleving als geheel. Daarna komen de verschillende mogelijke maatregelen aan de orde, en voor elke maatregel wordt aangegeven in welke mate hij het degradatieproces kan tegengaan, hoe de kosten van uitvoering in beeld gebracht kunnen worden. De baten bestaan uiteraard voornamelijk uit de vermindering van degradatie, maar ook wordt nagegaan welke neveneffecten (positief of negatief) kunnen optreden.

In hoofdstuk 5 worden tenslotte de merites van de verschillende maatregelen samengevat en worden aanbevelingen gedaan voor de afweging van de diverse kosten en baten.



## 2 Winderosie

---

### 2.1 Het probleem

De uitgestrekte vlakke zandgebieden van Noordwest-Europa zijn bij uitstek kwetsbaar voor winderosie. Het verschijnsel doet zich vooral voor als de bodem niet is bedekt (voor- en najaar), de grond niet vochtig is en de grond een beperkte hoeveelheid organische stof bevat. In East Anglia bijvoorbeeld ligt de gemiddelde mate van bodemverlies door winderosie tussen 0,1 en 2 t.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> (NSRI, 2006). In Nederland is het probleem het grootst in de Veenkoloniën, waar gemiddeld 3-7 t.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> wordt weggeblazen (Chardon en Van der Hoek, 2002). Het leeuwendeel komt echter op de naburige percelen terecht. Daarmee is het een probleem van lagere orde dan watererosie, tenminste op Europese schaal: alleen die gebieden met een risico van meer dan 5 t.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> worden als kwetsbaar beschouwd (en daaronder valt maar liefst 42% van alle landbouwgrond). Wel is het een groeiend probleem. Door schaalvergroting neemt het aantal windremmende obstakels (houtwallen en andere perceelscheidingen) af (Riksen et al., 2003).

#### 2.1.1 Gevolgen voor de landbouw

Het directe gevolg van winderosie is uiteraard het verlies van bodemmateriaal. Doordat de wind de fijnste organische stof en de kleine zandfracties wegblaast (lutum en leem blijven vast in de bodem gebonden) wordt het verlies aan bodemvruchtbaarheid (organische stof) deels gecompenseerd. De schade in de landbouw treedt vooral op doordat de bodemdeeltjes vlak boven de grond langs de gewassen schuren en daardoor de jonge plantjes beschadigen. Daarnaast treedt schade op doordat de bodemdeeltjes en doordat ze soms jonge planten bedekken en verstikken, terwijl andere jonge planten juist bloot komen te liggen en zelfs wegwaaien. Deze problemen doen zich vooral voor bij bieten: aardappelen liggen hoger op ruggen (J.T.M. Huinink, pers. meded.). Ook zaad, kunstmest en pesticiden kunnen verloren gaan, afhankelijk van de ernst van de erosie (Riksen en De Graaff, 2001). Dit kan leiden tot herinzaai, opnieuw bemesten en nieuw gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Verder kunnen ziektekiemen door de winderosie worden verspreid. Dit kan leiden tot grote schade bij andere

agrariërs, bij voorbeeld in de vorm van een meerjarig teeltverbod<sup>1</sup> van bepaalde gewassen.

Volgens Bakker et al. (2004) leidt een verlies door erosie van  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$  tot een productiviteitsverlies van 0,4% per decennium. Voor het Nederlands gemiddelde van  $5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$  betekent dit een verlies van 0,2% per 10 jaar. Dan houden we nog geen rekening met het feit dat het grootste deel van het geërodeerde materiaal niet verloren gaat voor de landbouw maar op andere akkers neerkomt. De uiteindelijke productiviteitsdaling door verlies van bodemmateriaal zal dus zeer laag zijn en alleen op zeer lange termijn meetbaar.

Wat betreft de directe schade aan gewassen geven Riksen en De Graaff (2001) cijfers voor een gebied in Engeland waar veel winderosie voorkomt; deze schade loopt uiteen van jaar tot jaar en afhankelijk van het gewas van € 10-500 per hectare, met een gemiddelde van € 61. We zullen dit cijfer gebruiken als een zeer globale schatting van het effect van winderosie op akkerland. Het moet echter gecorrigeerd worden voor inflatie. Aannemend dat de gebruikte cijfers betrekking hebben op 1998 komen we dan op ongeveer  $€ 74.\text{ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ , variërend van € 12-600.<sup>2</sup>

### 2.1.2 Externe effecten

Het effect op de bodemstructuur heeft gevolgen voor bodemfuncties 2 (buffer voor water en dergelijke), 3 (biodiversiteit) en 6 (landschap) uit paragraaf 1.3. Er zijn echter ook externe effecten die niet direct onder bodemfuncties vallen. Bodemdeeltjes komen terecht als afzettingen op wegen en in sloten (Riksen en De Graaff, 2001). Landbouwchemicaliën die in de lucht terechtkomen kunnen bijdragen tot eutrofiëring of vervuiling van naburige watergangen en natuurgebieden (ibid.). De fijnere deeltjes komen als fijnstof in de lucht.

Winderosie veroorzaakt in Nederland naar schatting 10-20 kiloton fijnstof per jaar (Chardon en Van der Hoek, 2002). Van alle fijnstof, gedefinieerd als deeltjes met een diameter van minder dan  $10\mu\text{m}$  (PM10), is naar schatting 23% afkomstig uit de landbouw (Velders et al., 2009, p. 53<sup>3</sup>); volgens de schattingen van

---

<sup>1</sup> Op grond van de Verordening PA wratziekte 2008 kan voor besmette percelen in principe een teeltverbod van aardappelen voor 20 jaar worden opgelegd. Daarnaast gelden er beperkingen in bufferzones langs de besmette percelen.

<sup>2</sup> Huinink (pers. meded.) komt tot een vergelijkbare schatting: gemiddeld zal eens in de 10 jaar schade aan bieten optreden (die om de 3 jaar worden geteeld) à  $€ 700.\text{ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ .

<sup>3</sup> Dit percentage betreft het in Nederland veroorzaakte fijnstof; het merendeel van het fijnstof in Nederland is afkomstig uit het buitenland.

Chardon en Van der Hoek wordt daarvan tussen de eenderde en tweederde veroorzaakt door winderosie, wat dus overeenkomt met 7-15% van het fijnstof.<sup>1</sup> Overigens moet wel worden opgemerkt dat alle grondbewerking, ook buiten erosiegevoelige gebieden, fijnstofemissies veroorzaakt. Bij de schatting van het effect van maatregelen tegen winderosie moet hiermee rekening worden gehouden.

Er bestaan analyses voor de kosten van fijnstof voor de volksgezondheid. In Vlaanderen zijn de directe medische kosten geschat op € 4,7 miljoen; echter, wanneer we het verlies aan gezonde levensjaren en arbeidsproductie en dergelijke meenemen komen we op 170 miljoen (Franckx et al., 2009). Vlaanderen heeft een bevolking van ruim 6 miljoen en een gemiddelde PM10-concentratie van 34,3 mg.m<sup>-3</sup>. Voor Nederland, met een bevolking van 16,5 miljoen en een PM10-concentratie van 27 mg.m<sup>-3</sup> in 2006 (Beijk et al., 2007, p. 59) moeten we rekenen op directe medische kosten van € 10 miljoen en een totale schade van 362 miljoen. Daarvan zou dan minimaal 25 miljoen toe te schrijven zijn aan winderosie.

De gevolgen voor de volksgezondheid via fijnstof maken vermoedelijk het grootste deel uit van de externe kosten van winderosie. In een Australische studie over dit onderwerp werd dit aandeel geschat op 85% van het totaal (Williams en Young, 1999). De overige kosten, zoals schade aan machines en de kosten van het schoonmaken van wegen en huizen zijn relatief bescheiden. Een conservatieve schatting voor de totale externe kosten van winderosie in Nederland zou dan € 30 miljoen per jaar bedragen. Bij een oppervlak van stuifgevoelige gronden van 97.000 ha (Riksen en De Graaff, 2001) betekent dit zo'n € 300 per

---

<sup>1</sup> Chardon en Van der Hoek baseren hun schatting deels op winderosieonderzoek gedaan bij Oldenburg (Nedersaksen). De erosie in dat gebied bedraagt gemiddeld 7 t.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>. Op een hoogte van 0,5-5m boven de grond bedroeg het gemiddelde percentage fijnstof 22%, waarmee de emissie van fijnstof op 1500 kg.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> wordt geschat. In de Veenkoloniën is de erosie wat lager, zodat we met ruim 1.000 kg.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> mogen rekenen. Bij 97.000 ha stuifgevoelige landbouwgrond zou dat 100 kiloton voor heel Nederland betekenen. Daar komt bovenop de lagere emissies van minder stuifgevoelige gronden, maar over een groter oppervlak (900.000 ha). Op een discussiedag over dit thema kwam men tot schattingen variërend van 45-200 kiloton. Hoever dit fijnstof zich verspreidt weten we dan nog niet.

Het probleem kan ook op een andere manier benaderd worden: door onderzoek naar de *samenstelling* van fijnstof. Verschillende onderzoeken leiden onafhankelijk van elkaar tot een schatting van 10% van het fijnstof dat afkomstig is van bodemmateriaal; dat komt overeen met 30 kiloton per jaar. Chardon en Van der Hoek nemen aan dat daarvan een derde tot twee derde uit de landbouw afkomstig is, dus 10-20 kiloton. De andere bronnen van fijnstof in de landbouwsector zijn voornamelijk stalemisaties (9,3 kiloton) en daarnaast de toediening van kunstmest, bestrijdingsmiddelen, krachtvoer, hooi (buiten stalemisaties), oogst, en rijden op onverharde wegen; deze leveren samen 0,4 kiloton op (cijfers voor 1998).

hectare.<sup>1</sup> Dat is 4 keer zo hoog als de schatting van de kosten voor de landbouw.

Voorzichtigheid is geboden bij de interpretatie van deze cijfers, die sterk afhangen van de berekeningsmethode. Bovendien is het meest kwetsbare gebied in Nederland, de Veenkoloniën, nu niet direct dicht bevolkt; en hetzelfde geldt voor het gebied waar de stofdeeltjes naartoe waaien. Echter, dat de maatschappelijke kosten van winderosie aanzienlijk hoger zijn dan de kosten voor de boer lijkt toch wel aannemelijk. Ook andere onderzoekers zijn tot deze conclusie gekomen (Bakker et al., 2007, Huszar en Piper, 1986).

## 2.2 Maatregel: heggen en houtwallen

In principe zijn er twee mogelijkheden om winderosie te verminderen:

1. Het vertragen van de wind; dit kan door middel van het planten van bomen of het plaatsen van andere obstakels om de percelen. Een variant hierop is tijdelijke of permanente gedeeltelijke bebossing van gevoelige gronden met laag agrarisch potentieel.
2. Het verhogen van de weerstand van de bodem tegen winderosie

In deze paragraaf behandelen we de eerste mogelijkheid: het vertragen van de wind. Het planten van bomen of struiken in rijen haaks op de heersende windrichting is vanouds een belangrijk en effectief middel om winderosie tegen te gaan. De *kosten voor de boer* zijn aanzienlijk: een deel van de grond wordt aan de agrarische productie onttrokken, er zijn kosten van aanplant en onderhoud, en de wallen vormen obstakels voor landbouwmachines. Economische gegevens hiervoor zijn er niet (Gay et al., 2009b).

Echter, in de Impact Assessment voor de Europese Bodemstrategie is een schatting gemaakt voor de omzetting van akkerland in bos. In deze schatting zijn de investerings- en onderhoudskosten plus het verlies aan inkomen meegenomen. Deze kosten komen, gemiddeld voor Europa, op € 288 per hectare per jaar: € 88 directe kosten en € 200 inkomstenverlies (European Commission, 2006b: 75). Als we aannemen dat op elke 100 m een bomenrij staat van 2 m breed - windsingels zijn effectief over een afstand gelijk aan 10 maal de hoogte - dan is er per hectare 200 m<sup>2</sup> bomen nodig. De kosten per hectare zijn uiteraard

---

<sup>1</sup> Met per hectare wordt hier bedoeld de schade die optreedt voor heel Nederland voor elke hectare erosiegevoelige landbouwgrond.

veel hoger dan wanneer het hele gebied werd omgezet in bos. Nemen we aan dat de kosten van aanleg en onderhoud van bomenrijen het drievoudige zijn van die van bos, en dat de inkomsten per hectare in de akkerbouw ongeveer € 1.000 per jaar belopen. De kosten van deze maatregel kunnen we dan schatten op € 200.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>. Dit bedrag ligt hoger dan de schade door winderosie die we in subparagraaf 2.1.1 berekenden. Bovendien zijn er nog meer kosten, die moeilijker te kwantificeren zijn: de lagere opbrengsten in de buurt van de bomen (die licht en nutriënten wegnemen van het gewas) en de hinder die machines ondervinden van de bomen. Het is duidelijk dat deze maatregel voor boeren niet aantrekkelijk is.

*Maatschappelijke baten* zijn, behalve de sterke vermindering van winderosie en haar gevolgen, ook een aantrekkelijker landschap. Verder draagt het planten van bomen uiteraard bij aan de mitigatie van klimaatverandering.

### **2.3 Maatregel: minimale grondbewerking**

Het tweede type maatregel is gericht op het verminderen van de erosiviteit van de bodem. Dit kan door:

- de bodem zo weinig mogelijk te verstoren;
- het toevoegen van organisch materiaal;
- de bodem zoveel mogelijk bedekt te houden, bijvoorbeeld door het planten van groenbemesters, het inzaaien van een tussengewas dat later weer wordt geruimd (rogge in aardappels bijvoorbeeld), het laten staan van gewasstoppels, of het opbrengen van mulch in de vorm van compost, cellulose of stro; hieronder valt ook het inplaatsen van veehouderijen in erosiegevoelige gebieden. Hierdoor neemt immers het oppervlak permanent grasland toe; of
- de bodem ruw te houden of maken: hoe vlakker het oppervlak, des te groter de gevoeligheid voor winderosie.

In deze paragraaf bespreken we een complex van technieken om de verstoring van de bodem te verminderen. Deze technieken worden in de ons omringende landen veel toegepast onder de verzamelnaam conservation tillage. Het doel ervan is voornamelijk om erosie tegen te gaan, maar ook helpt het om organisch materiaal in de bovenste horizon vast te houden. De structuur van de bodem wordt hierdoor verbeterd, ten voordele van de waterhuishouding en de biodiversiteit. Ook verdichting wordt erdoor verminderd, omdat zware machines minder over het land rijden. Deze technieken zijn in de graanteelt in de Verenig-

de Staten uitgeprobeerd sinds de jaren dertig, maar vooral sinds de jaren zestig hebben ze in veel landen een hoge vlucht genomen, ook in Europa bij continue graanteelt.

Belangrijke elementen in minimale grondbewerking zijn het niet keren van de grond, het bedekt houden van de bodem en onkruidbestrijding langs chemische of licht mechanische weg. Het eerste wordt bereikt door het opnemen van een groenbemester of ander tussengewas in het bouwplan, of door oogstresiduen op het land te laten staan. Het tweede is noodzakelijk als vervanging van ploegen en mechanisch wieden (en met name om de resten van de vorige oogst of de groenbemester te doden).

In Nederland worden dit soort systemen echter weinig toegepast in de akkerbouw, behalve in de biologische sector (Prins et al., 2008). Hetzelfde geldt voor veldonderzoek (Van der Weide et al., 2008). In deze paragraaf gaan we na of dit terecht is.

### 2.3.1 Kosten en baten voor de landbouw

Uiteraard betekent de vermindering van grondbewerking dat de grondbeweringskosten lager zijn - tenminste de variabele kosten (energie, onderhoud van machines, arbeid). Omdat deels andere machines nodig zijn (voor direct zaaien bijvoorbeeld) moet natuurlijk wel rekening gehouden worden met initiële investeringen. De besparing op energie bedraagt typisch zo'n 10-20% bij minimale grondbewerking, en 25-35% bij zero tillage (geen grondbewerking behalve direct zaaien). Deze besparingen zijn nog hoger op zware gronden, tot 50, respectievelijk 60% (Gay et al., 2009). Arbeidsbesparingen worden door dezelfde bron op 30-40% geschat, tenminste in Noord-Europa (inclusief Nederland).

Hogere kosten zijn er vooral in de chemische onkruidbestrijding. Economische analyses over dit onderwerp zijn niet al te dik gezaaid; een bron uit 1983 noemt de kosten bijna 40% hoger (Van der Weide et al., 2008: 23). Er bestaan overigens ook systemen van minimale grondbewerking waarbij mechanische onkruidbestrijding wordt toegepast zonder de bodem te keren (ibid: 24). Verder moet de eerste jaren extra stikstof aan de bodem worden toegevoegd:  $60 \text{ kg.N.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$  over 5 jaar.

Er zijn echter hoge investeringskosten. Ten eerste moeten andere machines worden aangeschaft; ten tweede gaat het hier om complexe veranderingen in het akkerbouwsysteem - de boeren moeten zich nieuwe kennis eigen maken; en ten derde duurt het enkele jaren voordat de bodem zich heeft aangepast en het nieuwe systeem zijn baten afwerpt (Van der Weide et al., 2008).

De opbrengsten bij minimale grondbewerking kunnen aanzienlijk hoger zijn, niet alleen op langere termijn (door het effect op erosie en verdichting), maar ook op korte termijn. Dit laatste komt dan vooral door de betere vochthuishouding in de bodem. Dat effect is vooral van belang in gebieden waar droogte een bedreiging is, zoals in Zuid-Europa. In de VS wordt in zulke gebieden bij minimale grondbewerking een 64% hogere opbrengst van zomertarwe bereikt; bij bodems met voldoende vocht is de opbrengst slechts 8% hoger, en bij te natte grond is de opbrengst zelfs iets lager (MANDAK, 1997). Ook Gay et al. (2009a) stellen dat in Noord-Europa de opbrengsten bij minimale grondbewerking lager kunnen zijn, vooral tijdens de overgangperiode (gezien de hoge investeringskosten).

In Nederland is in de jaren zeventig onderzoek gedaan naar minimale grondbewerking op zeeklei, in Westmaas. Een economische analyse van die experimenten is gemaakt door Preuter (1984). Hij concludeert dat de graanopbrengsten iets hoger zijn dan bij conventionele bewerking, maar de opbrengst van aardappelen en bieten veel lager. Dit komt doordat bij de teelt van rooivruchten op kleigrond aardappelruggen moeten worden gemaakt. Dat brengt om de paar jaar grondbewerking met zich mee, waarna het enkele jaren duurt voor de bodemstructuur zich daarvan heeft hersteld (Bert Vermeulen, pers. meded., december 2009; Westmaas, 1980). In de experimenten in Westmaas waren de kosten per hectare netto 4% hoger dan bij conventionele bewerking, en de bruto toegevoegde waarde was 9% lager (Preuter, 1984). Het lijkt er dus op dat voor de meeste akkerbouwers in Nederland, waar bieten, aardappels en uien een belangrijke rol in het bouwplan spelen, minimale grondbewerking op dit moment geen aantrekkelijke optie is. Van der Weide et al. (2008: 21) wijzen er echter op dat in Amerika technieken voor minimale grondbewerking zijn ontwikkeld voor aardappelteelt waarmee wel goede resultaten zijn behaald. Het zou dus de moeite waard kunnen zijn om deze technieken experimenteel in Nederland uit te proberen. Voor bouwplannen met bovengronds geoogste gewassen, zoals de maïsteelt, kan minimale grondbewerking echter wel rendabel zijn.

### 2.3.2 Externe kosten en baten

Minimale grondbewerking heeft uiteraard allereerst een sterk effect op de bodembedreigingen winderosie en ondergrondverdichting, zoals die beschreven zijn in subparagrafen 2.1.2 en 4.1.2. hoe sterk dit effect is hangt af van welke technieken precies worden toegepast. Bij de verst doorgevoerde vorm - zero til-

lage met maximale bodembedekking zal winderosie tot een minimum worden teruggebracht en ondergrondverdichting zal sterk verminderen (Prins et al., 2008). Meer organisch materiaal, een betere bodemstructuur (waarbij ook een betere waterhuishouding), hogere biodiversiteit, minder verstuing van bodemdeeltjes (waaronder fijnstof), lagere uitstoot van broeikasgassen door lager energieverbruik evenals door de opslag van koolstof in de bodem zijn maatschappelijke baten van deze methode. De mineralisatie van stikstof verloopt langzamer (Prins et al., 2008), waardoor minder bemesting nodig is en minder lachgas wordt uitgestoten door de bodem.

Er is echter ook een negatief effect op biodiversiteit, door het hogere gebruik van herbiciden. Hoe ernstig dit is hangt af van de breedte van het werkzame spectrum. De laatste 40 jaar is veel vooruitgang geboekt op dit terrein: er bestaan middelen die slechts een beperkt scala aan planten doden. Het meest gebruikte middel is echter glyfosaat, dat een breed spectrum heeft. Het is de werkzame stof in het middel Roundup, waarin ook nog andere zeer schadelijke chemicaliën zitten. Glyfosaat zelf is niet sterk toxisch voor dieren en biologisch afbreekbaar, maar na lang gebruik is er meetbaar effect op micro-organismen, invertebraten, vissen en amfibieën (De Andréa et al., 2003). Toch lijkt per saldo dit effect niet op te wegen tegen het positieve effect van minder verstoring door bodembewerking: vooral regenwormen hebben hier veel baat bij, maar ook op nematoden, schimmels, bacteriën en micro-arthropoden is het effect van niet-ploegen gunstig (Van der Weide et al., 2008: 27-28). Bovendien kan op de langere termijn het gebruik van herbiciden mogelijk verminderd worden (Gay et al., 2009:95).

Men zou kunnen denken dat hiermee ook voor de landbouw schadelijke organismen worden bevorderd, maar dat lijkt niet altijd zo te zijn; dit komt vermoedelijk ten dele doordat ook de natuurlijke vijanden van deze organismen in aantal toenemen. Bovendien kunnen, ondanks het feit dat grondbewerking in eerste instantie zuurstof toevoegt aan de grond, door korstvorming gronden ontstaan met een zuurstofniveau beneden 16%, waardoor juist schadelijke anaerobe micro-organismen zoals *Phytophthora* opbloeien (ibid.). Er zijn echter ook plagen die wel degelijk kunnen toenemen, afhankelijk van de omstandigheden.

Verdichting kan een probleem zijn, vooral in de bovengrond, als de grond niet meer wordt gekeerd en daarbij gebroken en losgemaakt. Echter, bodemorganismen gaan dit tegen; of dit gebeurt hangt mede af van de vruchtwisseling en de bodembedekking (Van der Weide et al., 2008: 36), evenals van technieken die verdichting tegengaan (zie hoofdstuk 4).



## 2.4 Overige maatregelen

Zoals aan het begin van de vorige paragraaf werd aangegeven, zijn er nog diverse andere mogelijkheden om de erosiviteit van de bodem te verminderen: het bedekt houden van de bodem (dit heeft enige verwantschap met de maatregelen in de vorige paragraaf), het toevoegen van organisch materiaal, of het ruw maken van het oppervlak. Deze alternatieven worden hier besproken.

Sommige maatregelen die onder deze categorie vallen worden ook nu al toegepast. In het Besluit Gebruik Meststoffen is een aantal bepalingen opgenomen die winderosie beperken. Het gaat om:

- vrijstelling ten aanzien van het emissiearm aanwenden van dierlijke meststoffen op zand- en lössgronden waar een veenkoloniaal bouwplan wordt uitgeoefend, evenals op bouwland op Texel (toevoegen van organisch materiaal);
- het verbod - behoudens uitzonderingen - om graszoden te vernietigen (bedekt houden van de bodem);
- de verplichte teelt van een nagewas na de teelt van maïs op zand- en lössgronden (bedekt houden van de bodem).

Daarnaast geldt de zorgplicht bodem, verwoord in artikel 13 van de Wet Bodembescherming. De zorgplicht richt zich ook op het voorkomen van (fysieke) aantasting van de bodem.

### 2.4.1 Bodem bedekt houden door vruchtwisseling, vanggewassen of groenbemesters

Het gebruikelijke teeltplan in een kwetsbaar gebied als de Veenkoloniën is aardappelen-bieten/graan-aardappelen. De bodem is dan vaak onbedekt in seizoenen waar winderosie optreedt, met name in het voorjaar (Brouwer et al., 2003). In de praktijk komt het vooral voor bij bieten (die laat gezaaid worden en niet op ruggen worden geteeld) in de maand mei (omdat dan de combinatie van droge grond en harde wind het meest voorkomt) (J. Huinink, pers. meded.). Een bodembedekker in die periode zou dus soelaas kunnen bieden.

In de bietenteelt wordt dit ook wel gedaan: men zaait dan in onder het graangewas, dat al eerder opkomt. Gezien echter de inschatting dat winderosie toch voorkomt en gezien onze inschatting dat de externe baten hoger zijn dan de agrarische (paragraaf 2.1) lijken additionele maatregelen opportuun. Daarvoor is dan een prikkel van buitenaf nodig: ofwel het verplicht stellen ofwel een betaling aan de boer, bijvoorbeeld in de vorm van groenblauwe diensten. Verplicht stellen is moeilijk: in principe zou men kunnen denken aan cross compli-

ance, maar in Nederland is ten aanzien van cross compliance tot nu toe niets geregeld. Zo is bij de teelt van aardappelen-bieten/graan-aardappelen de teelt van vanggewassen en groenbemesters niet verplicht. De Impact Assessment van de Europese Bodemstrategie schatte de kosten van een beschermend gewas op gemiddeld € 57.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> (Europese Commissie, 2006b: 77). Voor Nederland zijn de kosten waarschijnlijk een veelvoud daarvan, mogelijk € 200.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>.

#### 2.4.2 Organisch materiaal opbrengen: mest, mulch, compost

Zoals hierboven al aangegeven is het opbrengen van mest (vooral drijfmest) - zonder emissiearme aanwending - toegestaan bij een veenkoloniaal bouwplan, dat wil zeggen met eens in de drie jaar zetmeelaardappelen en op Texel; het wordt vrij veel toegepast (Brouwer et al., 2003). Dit is toegestaan omdat voor zetmeelaardappelen alternatieve maatregelen te duur zijn. Vanuit het standpunt van de boer is dit duidelijk een aantrekkelijke optie.

De mogelijkheid van het afzetten van mest ter bestrijding van winderosie trekt additionele veeteelt aan, met name intensieve veehouderij. In de Veenkoloniën is dan ook het aantal varkens in de periode 1985-99 met 83% toegenomen, en het aantal kippen met 124% (Brouwer et al., 2003). Dit mag beschouwd worden als een maatschappelijke baat van erosiebestrijding: het is immers een extern effect vanuit het standpunt van de akkerbouwers.

De enige kosten van deze maatregel zijn de maatschappelijke kosten van additionele belasting van het milieu (ammoniak, zware metalen, en dergelijke). Blijkbaar worden deze door de wetgever als lager gezien dan de kosten van winderosie.

Voor akkerbouwers die deze maatregel niet kunnen toepassen is er de mogelijkheid om mulch of compost op het land te brengen. Dit wordt toegepast in de bietenteelt: in stro planten, of in graanstoppel zaaien. Ook wordt (of werd - er zijn geen publicaties over te vinden later dan 1991) Cellocol LZX wel gebruikt, een celluloseproduct gemaakt van papierafval, waarmee bodemdeeltjes aan elkaar blijven plakken tot grotere aggregaten (ook drijfmest heeft overigens die functie, naast het vormen van een beschermende korst). De kosten van mulch kunnen geschat worden op € 60/ha (zie paragraaf 4.3).

#### 2.4.3 Zaaibed aandrukken

Deze maatregel verhindert vooral dat zaadjes verloren gaan. We nemen aan dat de maatschappelijke baten niet uitstijgen boven de privaat-economische.

#### 2.4.4 Ruw maken van het bodemoppervlak

Het opruwen van de grond kan winderosie behoorlijk verminderen. De maatregel is echter alleen geschikt wanneer het bodemmateriaal niet alleen uit fracties bestaat die gemakkelijk wegwaaien (Chepil en Woodruff, 1963). Deze techniek zal dus niet geschikt zijn voor löss, maar mogelijk wel voor dalgrond (Veenkoloniën) en keileem (Texel). We hebben geen informatie over de kosten ervan kunnen vinden.

# 3 Afbraak van veengronden

---

## 3.1 Het probleem

In de afgelopen 40 jaar is het slootpeil verlaagd van de voorheen gebruikelijke 20 cm onder het maaiveld naar gewoonlijk 60 cm-mv in het Westelijk veenweidegebied en nog dieper elders in Nederland. Dit is gedaan om de melkveehouderij, de dominante agrarische bedrijfstak in veengebieden, te kunnen moderniseren. Hierdoor zijn de grasopbrengsten verhoogd en kunnen machines gemakkelijker op het land opereren. Ook is de teelt van snijmaïs mogelijk geworden; deze komt overigens niet zeer veel voor op veengronden (11.000 ha in 2008, ofwel ongeveer 4% van alle veengronden). Zoals al in paragraaf 1.3 kort is aangegeven leidt het ontwateren van veengronden in het belang van de land- en tuinbouw tot oxidatie, inklinking en krimp van het veen. De mate waarin dit gebeurt hangt uiteraard af van de diepte van het slootpeil, en verder van de dikte van de veenpakketten en de diepte waarop ze zich bevinden. De daling bij een hoog slootwaterpeil ligt in de orde van enkele millimeters per jaar; in de polder Zegveld, op veengrond zonder kleidek, neemt die daling bij een peil van 35 cm-mv toe tot 6,7 mm per jaar, en bij een peil van 70 cm-mv tot 15,8 mm (Jansen et al., 2007, p. 46). Nog hogere waarden, van enkele centimeters per jaar, komen voor op zeer kwetsbare gronden bij droogleggingen van 120 cm en meer.

Deze maaiveldddaling betekent dat het slootpeil van tijd tot tijd nog verder verlaagd moet worden om het land droog te houden. Nemen we aan dat dat gebeurt, dan wordt geschat dat gedurende deze eeuw het maaiveld in het onderzochte gebied van Zegveld zal dalen met 66-111 cm, afhankelijk van de klimaatverandering - hoe hoger de temperatuur, des te sterker de maaiveldddaling (Jansen et al., 2007, p. 74).

Afbraak van veen wordt in principe versterkt door bemesting en bekalking (Lamers, 2001). Vergelijkbare effecten zouden dus ook optreden als gebiedsvreemd water wordt ingelaten dat eutroof dan wel kalkrijk is - of allebei. De afbraak van het veen zelf brengt overigens ook organischestofdeeltjes, stikstof- en fosforverbindingen en sulfaat in het oppervlaktewater, door mineralisatie van organische verbindingen en door uitloging. Daarnaast neemt de wegzijging af en de (vaak nutriëntenrijke) kwel toe. De afbraak van veen wordt dus enerzijds versterkt door bemesting, en anderzijds draagt deze afbraak bij aan eutrofiëring

(Hendriks et al., 2008). Bij de afbraak van veen komt per hectare per mm maaiveld-daling circa 2,2 ton CO<sub>2</sub> vrij (Van den Akker, 2005).

### 3.1.1 Gevolgen voor de landbouw

Op de korte en middellange termijn is het belangrijkste gevolg van de maaiveld-daling de noodzaak om dieper te bemalen. Dit betekent hogere kosten voor de waterschappen die door de ingelanden moeten worden opgebracht. De boeren betalen hieraan mee, al komen de kosten voor een deel op de hoofden van niet-agrariërs terecht. De jaarlijkse watersysteemheffing waaruit deze kosten worden gedekt bedraagt bijvoorbeeld in Delfland ongeveer € 100 per huishouden en € 137 per hectare agrarisch land. In Hollands Noorderkwartier zijn deze bedragen respectievelijk € 72 en € 75 per hectare, en in Rijnland € 68 en € 53. De kosten voor diepere bemaling zullen hoogstens enkele euro's per hectare per jaar verschil kunnen maken.

Op de lange termijn komen er andere gevolgen om de hoek kijken, die veel ingrijpender zijn voor de landbouw: (a) door de bodemdaling neemt de kwel dusdanig toe dat het droog houden niet langer rendabel is; (b) het veen verdwijnt, en de onderliggende klei- of zandlaag komt aan de oppervlakte; of (c) verzilting neemt onrustbarende vormen aan. Het eerste betekent uiteraard het einde van de landbouw in het betreffende gebied. Op sommige plaatsen wordt deze mogelijkheid al serieus overwogen; de polder Groot-Mijdrecht is een voorbeeld (Van Rooy, 2007). Het is echter onmogelijk te zeggen waar en wanneer zich dat zal voordoen, en in onze analyse wordt hiermee geen rekening gehouden. De tweede mogelijkheid is reëel, tenminste in Oost-Nederland, waar de veenpakketten relatief dun zijn. Het effect op de landbouw is echter betrekkelijk: ook op de onderliggende zand- of kleilagen is nog steeds veehouderij mogelijk, zij het dat landbouw op klei of zand wezenlijk andere kennis, vaardigheden en werktuigen vereist dan op veengrond. Op de dikkere laagveenpakketten in West-Nederland, in Friesland en in Noordwest-Overijssel hoeft met deze mogelijkheid voorlopig geen rekening te worden gehouden (Hack-Ten Broeke et al., in voorbereiding).

Bodemdaling leidt onvermijdelijk tot een toename van kwel, omdat het drukverschil tussen zeeniveau en maaiveld groter wordt. Of deze kwel zout zal zijn hangt af van de locatie en de diepte van bemaling. Zowel opbarsten van de deklaag als geleidelijke infiltratie van zout water in het oppervlaktewater zijn plaatselijk reële mogelijkheden, die door het dalen van de bodem versterkt worden (Velstra, 2007, Ter Voorde en Velstra, 2009). De kans op het op grotere schaal opbarsten van de deklaag (de ondoorlaatbare aardlagen die het zoute water in

de ondergrond tegenhouden) is vermoedelijk gering, maar als het gebeurt zijn de gevolgen zeer groot (Deltares, 2008:62-64). Geleidelijke infiltratie van zout in het oppervlaktewater is moeilijk kwantitatief te voorspellen; een studie voor Noord-Hollands Noorderkwartier stelt dat zout water met een snelheid van 10m per jaar het systeem binnenkomt, en dat dit zal leiden tot een voortdurende toename van de zoutconcentratie in de bodem (Oude Essink, 2000). Hierbij is echter uitgegaan van een autonome ontwikkeling zonder rekening te houden met bodemdaling door veenafbraak. Toch geven zijn berekeningen een aanknopingspunt voor het effect van bodemdaling. Er valt uit af te leiden dat het chloridegehalte toeneemt met 16% bij een zeespiegelstijging van 50 cm (ibid.: 19). Welnu, de metingen in Zegveld wijzen op een extra maaiveld daling van veengrond van ongeveer 2,6 mm per jaar bij een slootpeilverlaging van 10 cm. Dat zou een toename van het chloridegehalte inhouden van ruwweg 0,08%. Als we aannemen dat het waterpeil permanent 40 cm lager staat dan de 20 cm-mv die vanuit duurzaamheidsoverwegingen gewenst zou zijn, dan is het chloridegehalte over 50 jaar 16% hoger dan wanneer het hoge slootpeil was gehandhaafd (de totale stijging is meer, omdat de autonome zeespiegelstijging erbij komt).

Hogere zoutgehaltes in het oppervlaktewater zijn in principe te bestrijden door het doorspoelen met zoet water. Dit kan problematisch zijn, zowel kwalitatief (gebiedsvreemd water van lagere kwaliteit) als kwantitatief (te weinig water beschikbaar in droge zomers). Nu reeds is in een groot deel van het westelijk veenweidegebied in een gemiddelde zomer meer dan de helft van het oppervlaktewater gebiedsvreemd. In een extreem droog jaar zoals 2003 geldt dit voor bijna geheel laag Nederland (Ter Voorde en Velstra, 2009:9).

Hoe ernstig is die toename voor de landbouw? Volgens het Cultuurtechnisch Vademecum (1988: 643) is de drempelwaarde voor gras 600 mg.l<sup>-1</sup>.Cl<sup>-</sup>; Van Bakel et al. (2009) hanteren een tolerantie van 950 mg.l<sup>-1</sup>. Dat is de toegelaten concentratie in het oppervlaktewater. Voor het gehalte in de bodem zelf gelden veel hogere waarden: 3600 mg.l<sup>-1</sup>.Cl<sup>-</sup>. Daarboven daalt de opbrengst met 0,008% per mg (Van Bakel et al., 2009). Het ene getal is echter niet zonder meer te herleiden tot het andere, en hierbij speelt ook de grondsoort een grote rol; helaas behandelen Van Bakel et al. de veengronden niet. Het enige dat we kunnen stellen is dat men tegenwoordig meent dat gewassen beter tegen zout kunnen dan vroeger gedacht werd, onder meer doordat neerslag het zout wegspoelt uit de wortelzone. Gras heeft bovendien een tamelijk hoge zouttolerantie (Ter Voorde en Velstra, 2009:21). Op die basis lijkt de situatie in de meeste veengebieden op dit moment niet zorgwekkend te zijn; en een toename met 16% (zie boven) kan hoogstens tot 4 à 5% opbrengstdaling leiden; zolang de

drempelwaarde niet wordt overschreden zal die daling zelfs in het geheel niet optreden. Berekening met slootwater vindt in veengebieden weinig plaats, en in de veehouderij is veedrenking met oppervlaktewater reeds grotendeels vervangen door leidingwater.

### 3.1.2 Externe effecten

Veenafbraak heeft aanzienlijke maatschappelijke gevolgen. De belangrijkste gevolgen voor de samenleving zijn:

- de kosten van diepere bemaling (hierboven al aangestipt);
- de additionele uitstoot van broeikasgassen doordat het veen oxideert;
- meer fosfaat en nitraat in het oppervlaktewater;
- schade aan gebouwen doordat houten funderingen boven water komen en gaan rotten; en ook schade aan infrastructuur door verzakking van rioolbuizen en dergelijke;
- verandering van natuurkwaliteit in natuurgebieden, waar ontwatering en verdroging optreedt doordat het grondwater wegzijgt naar de steeds dieper wordende landbouwgebieden;
- toename van de kwel, die vaak rijk aan nutriënten is en eventueel ook aan zout;
- toenemend risico van overstromingen, mede door oxidatie in veenkaden.

Daarmee kunnen we stellen dat bodemfuncties 2 (buffer), 3 (biodiversiteit), 4 (fundering voor menselijke activiteiten) en 6 (landschap) worden aangetast.

In principe zijn al deze kosten in te schatten. De extra uitstoot van broeikasgassen belooft naar schatting 4,2 miljoen ton kooldioxide en 1.025 ton lachgas per jaar (Van den Akker, 2005). Dit komt neer op 4,6 miljoen ton CO<sub>2</sub>-equivalent. Bij een gemiddelde prijs van ongeveer € 13,50 per ton eind 2009 betekent dit een kostenpost van ongeveer € 62 miljoen. Dit is de prijs op de markt, die niet noodzakelijkerwijs de maatschappelijke waarde weergeeft; gezien het feit dat de Europese landen de neiging hebben om zichzelf een grote hoeveelheid emissierechten toe te kennen zal de maatschappelijke kostenpost eerder hoger dan lager dan het bovengenoemde bedrag liggen. Bemalingskosten kunnen worden berekend op basis van de watersysteemheffingen van de waterschappen (waarvoor we helaas geen cijfers hebben kunnen verkrijgen); schade aan gebouwen door de kans te vermenigvuldigen met de potentiële schade; overstromingsrisico's op dezelfde manier; en de schade aan de natuur kan worden berekend door een geschatte kwaliteitsdaling (met een percentage) te vermenigvuldigen

met een bedrag dat mensen bereid zijn voor natuur te betalen en met het aantal mensen dat belang heeft bij het natuurgebied in kwestie.

Dat bedrag is uit eerdere onderzoeken vrij goed bekend en ligt in de orde van € 11 per jaar (Bos en Vogelzang, 2009). De inschatting van het aantal mensen is echter veel moeilijker te maken. Nemen we een maaiveld daling aan van 5 cm per jaar, en veronderstellen we dat de natuurkwaliteit met 10% daalt bij een daling van 50 cm (een zeer voorzichtige schatting), dan betekent dit een welvaartseffect van € 0,11 per inwoner per jaar. Als we dan het inwonertal van de provincies nemen waar veel veen ligt (Noord- en Zuid-Holland, Utrecht, de drie noordelijke provincies en Overijssel) als maatstaf voor het aantal betrokken inwoners, dan hebben we te maken met 10 miljoen mensen en is de totale schade aan natuur te waarderen op € 1,1 miljoen per jaar, dat echter cumulatief toeneemt. In de kosten-batenanalyse gebruiken we in zo'n situatie het begrip contante waarde<sup>1</sup> om de totale schade nu en in de toekomst aan het heden toe te rekenen. Bij een discontovoet van 3,5% en een totale periode van 50 jaar is die contante waarde ruim € 25 miljoen.

We kunnen dus stellen dat de veenafbraak door het broeikaseffect en de schade aan natuur de samenleving ongeveer 87 miljoen kost, plus de onbekende kosten van diepere bemaling en de risico's op schade aan gebouwen en op overstromingen. Die laatste posten zijn vermoedelijk hoger dan de berekende, dus de totale schade kan enkele honderden miljoenen euro's per jaar bedragen.

Voor de betrokken boeren daarentegen bestaat de schade zoals we zagen uit een deel van de kosten van diepere bemaling, plus een beperkt risico op opbrengstdaling door zoute kwel en een kleine kans op verlies van de landbouwgrond op de zeer lange termijn. De kosten van het tegengaan van bodemdaling daarentegen zijn hoog voor de boer, daarover spreken we bij het behandelen van de maatregelen. Overigens moge hier opgemerkt worden dat nu juist in het veenweidegebied de schade door een hoger zoutgehalte in grond- en oppervlaktewater niet al te hoog is; de tuinbouw (vooral de bollenteelt) heeft veel meer te lijden van verzilting.

---

<sup>1</sup> Contante waarde wordt gebruikt (zowel in de privaateconomische als in de maatschappelijke KBA) om de toekomstige opbrengsten van investeringen te waarderen. Men gaat ervan uit dat een baat in de toekomst minder waard is dan diezelfde baat nu. Voor die waardevermindering wordt een discontovoet gebruikt, die hoger is naarmate men minder waarde hecht aan de toekomst en meer aan het heden. Een discontovoet van 3,5% is gebruikelijk voor overheidsinvesteringen. De maatregelen die hier worden besproken zijn vaak geen investeringen: er zijn jaarlijkse kosten en jaarlijkse baten. Als een maatregel echter cumulatieve baten oplevert (bijvoorbeeld doordat het nalaten ervan tot een onomkeerbare verslechtering leidt), dan is het zinvol om die toekomstige baten te verdisconteren.



### 3.2 Maatregel: verhoging slootpeil

Verreweg het grootste deel van de veengronden in Nederland is in gebruik als weidegebied. Hierop zal zich dan ook het beleid voornamelijk moeten richten. Echter, akkerbouw komt ook voor: in totaal 20.600 van de 267.000 hectare veen is in gebruik voor akkerbouwgewassen (gemeten met gegevens van de Basisregistratie Percelen 2009). Een groot deel hiervan bevindt zich overigens niet in het westelijk veenweidegebied, maar in de veenkoloniale gebieden. Daar gaat het vooral om de broeikaseffecten van veenafbraak, minder om de waterstaatkundige aspecten. Binnen het westelijk veenweidegebied gaat het vrijwel uitsluitend om snijmaïs. Het effect van deze teelten op veenafbraak is echter zeer groot, omdat nog lagere slootpeilen nodig zijn dan voor grasland. Een aankoop en verplaatsingsregeling ligt dan voor de hand. Hierbij zou de WILG, of het instrument van vrijwillige kavelruil mogelijk kunnen helpen.

De meest voor de hand liggende maatregel om verdere afbraak in het veenweidegebied tegen te gaan is het verhogen van het waterpeil, bijvoorbeeld van de nu gebruikelijke 60 cm onder het maaiveld tot 20 cm, zoals in het verleden gebruikelijk was. Dit zou echter op grote bezwaren vanuit de landbouw stuiten; alleen extensieve beweiding, met andere veetypen dan nu, zou dan mogelijk zijn. Een mogelijke alternatieve oplossing is onderwaterdrains, die we als tweede mogelijke maatregel behandelen. Een derde maatregel kan zijn de vermindering van bemesting en bekalking van veenweidegebieden. Deze laatste wordt hier echter niet besproken, omdat de controle op naleving ervan praktisch moeilijk uitvoerbaar is; ze is wel zinvol voor landeigenaren die op vrijwillige basis de erosie van het veen willen verminderen.

Een 'ecologisch duurzaam' slootpeil bestaat in feite niet. Oxidatie van het veen (de belangrijkste factor in het proces van veenafbraak) zal altijd plaatsvinden wanneer het veen niet met water verzadigd is. Een terugkeer naar een veenmoeras zou echter leiden tot een ruig bebost landschap in plaats van het historische cultuurlandschap; dat landschap zou bovendien sterk afwijken van de oorspronkelijke situatie vóór de ontginning van het veen.

Een verhoging tot 20 cm-mv leidt tot een situatie waarin de maaiveld daling wordt teruggebracht tot misschien 1,5 à 2 mm per jaar (Jansen et al., 2007). Dat was tenminste de historische daling; experimenteel onderzoek in Zegveld, waar het slootpeil van 50 cm-mv naar 30 cm werd gebracht, deed de jaarlijkse maaiveld daling afnemen van 15 mm naar 5,8 mm (Holshof en Van Houwelingen, 2008).

### 3.2.1 Kosten en baten voor de landbouw

De kosten bestaan uit opbrengstderving. Uit een onderzoek van De Vos et al. (2004) blijkt dat een verhoging van het peil van 60 cm-mv naar 40 cm-mv (nog altijd te laag voor duurzaam beheer) tot een daling van het netto bedrijfsresultaat in de melkveehouderij leidt van € 222 per ha (hierin is niet alleen rekening gehouden met de lagere grasopbrengst, maar ook met de lagere opname van weidegras door de koe, en met de verliezen die ontstaan doordat koeien en machines soms niet het land op kunnen); gecorrigeerd voor inflatie zou dat nu op ongeveer € 257/ha neerkomen. Dat bedrag is 8 à 9% van het nettobedrijfsresultaat. Laten we het slootpeil verder stijgen tot 20 cm-mv, dan is de extra opbrengstderving nog aanzienlijk hoger - meer dan evenredig hoger zelfs. Een verhoging tot 20 cm-mv zal dit verlies dan ook meer dan verdubbelen: naar 20-25%, misschien meer. Daar komt nog bij dat de schommelingen tussen goede en slechte jaren bij een hoog slootpeil groter zijn: meer risico. De veronderstelling dat een dergelijke verhoging een rendabele landbouw onmogelijk zou maken lijkt dan ook gewettigd. Tot een vergelijkbare conclusie komen Van Bommel et al. (2007): volgens hen is de opbrengstderving van een peilverhoging van GWT-V naar GWT-II zodanig hoog dat het meestal goedkoper is de betreffende grond aan te kopen.

Er zijn ook baten voor de landbouw door peilverhoging: lagere bemalingskosten, minder zoute kwel; maar zoals aangegeven in subparagraaf 3.1.1 zijn die niet groot.

### 3.2.2 Externe kosten en baten

Indien we onze gekozen maatregel formuleren als het verhogen van het slootpeil tot 20 cm-mv, dan moeten we het verlies van de landbouwproductie in het veenweidegebied als onderdeel nemen van de maatschappelijke kosten. De waarde van die productie (bruto toegevoegde waarde) stellen we op € 366 miljoen per jaar.<sup>1</sup> Van die kosten mogen we aftrekken de te verwachten opbrengst-

---

<sup>1</sup> Berekend met behulp van BINetnet (LEI)-cijfers als de gemiddelde bruto toegevoegde waarde in de melkveehouderij over 2005/6 en gecorrigeerd voor inflatie; van de totale productie in deze sector hebben we 16% genomen - dat is het percentage grasland dat op veen ligt (Bron: Basisregistratie Percelen 2008). De bedrijven kleiner dan 16 nge zijn in het BINetnet niet meegenomen, en de schaphouderij evenmin. We veronderstellen dat deze bedrijven kunnen blijven bestaan. Overigens moet worden bedacht dat we bij de privaat-economische analyse (dus vanuit het standpunt van de boer) kijken naar het effect op netto-inkomen. Bij de maatschappelijke analyse kijken we echter naar de totale productie, die immers verloren gaat.

daling die zou optreden als de landbouw op de huidige voet doorgaat. We zagen in subparagraaf 3.1.1 dat die daling niet al te groot is, maar wel met de jaren toeneemt. Inmiddels treedt er ook een jaarlijkse productiviteitsstijging op door technische vooruitgang. Die laatste is waarschijnlijk op de korte termijn hoger dan de daling door veenafbraak, op de lange termijn misschien niet. We houden daarom een verlies van 366 miljoen aan.

Daartegenover staan de vermeden kosten van extra bemaling. Die zijn moeilijk in te schatten, maar een zeer grove schatting gaat als volgt: de totale kosten om droge voeten te houden in het gedeelte van Nederland dat onder de zeespiegel ligt bedragen ongeveer € 1 miljard per jaar (schatting op basis van CBS-cijfers). Het veen omvat circa 20% hiervan. Als we nu aannemen dat de kosten van bemaling voor die gebieden door de bodemdaling met 1% per jaar stijgen, dan kost dat 2 miljoen per jaar; een schijntje.

Hoe hoger het slootpeil, des te lager de natuurlijke uitspoeling van nitraten en fosfaten uit het veen (subparagraaf 3.1.2). Echter, Hendriks et al. (2008: 585) vonden dat deze stoffen uit (kunst)mest juist sterker uitspoelen bij een hoger waterpeil. Het netto-effect is dat bij een laag waterpeil vooral veel fosfaat in het water terecht komt, en bij een hoog waterpeil meer nitraat. Als we aannemen dat deze effecten tegen elkaar kunnen worden weggestreept, dan levert een hoger slootpeil dus geen vermindering van de eutrofiëring op - tenzij het slootpeil zo hoog wordt dat de landbouw verdwijnt; in dat geval is er geen bemesting meer en zal de eutrofiëring van het oppervlaktewater sterk verminderen. Voor de baten daarvan maken we gebruik van een MKBA die is uitgevoerd om de gevolgen van de Europese Kaderrichtlijn Water te berekenen. Daar wordt de constante waarde van maatregelpakketten om de waterkwaliteit te verbeteren geschat op € 1,7-5,0 miljard, naargelang van het pakket. De vermindering van eutrofiëring stellen we gelijk aan het pakket 'Fors Plus', met een contante waarde van 4,6 miljard (ministerie van V&W, 2006: 35). Ze hebben betrekking op een gebied van 162.000 ha, ofwel 5% van het totale landoppervlak van Nederland. De baten komen dan op € 200 miljoen - misschien iets meer, omdat de bijdrage van veen aan de waterkwaliteit hoger dan gemiddeld zal zijn. Dit zijn jaarlijkse baten van ruim 10 miljoen; deze schatting is echter zeer ruw.

Verdere maatschappelijke baten, voor natuur en voor vermeden uitstoot van broeikasgassen,<sup>1</sup> hebben we eerder geschat op 87 miljoen plus de risico's op schade door overstromingen en schade aan funderingen van gebouwen en in-

---

<sup>1</sup> Bij een hoog waterpeil ontstaat wel uitstoot van methaan, dat ook een krachtig broeikasgas is; volgens Hendriks et al. (2004: 585) is dat effect echter te verwaarlozen.

frastructuur (zie subparagraaf 3.1.2), geschat op in totaal enkele honderden miljoenen. Dat lijkt niet voldoende om deze maatregel te rechtvaardigen, temeer daar het verdwijnen van de melkveehouderij uit het gebied ook het einde zou betekenen van een waardevol landschap, waarmee een groot deel van de veronderstelde maatschappelijke baten teniet zou worden gedaan.

Een meer bescheiden peilverhoging, zoals onderzocht door De Vos c.s., zou niet noodzakelijkerwijs leiden tot het verdwijnen van de landbouw. De maatschappelijke baten schatten we op 20% reductie van broeikasgassen in vergelijking met het lage peil (gebaseerd op Hendriks et al. (2008), die een reductie van 40% voorspellen bij een peilverhoging van 70 naar 30 cm-mv); op de helft van de baten voor natuur zoals geschat in subparagraaf 3.1.2; verder wordt het risico van schade door bodemdaling aan gebouwen en infrastructuur ook navenant verminderd. We komen dan op een bedrag in de orde van grootte van € 50-100 miljoen, ofwel € 300-600/ha. Dit is hoger dan de maatschappelijke kosten: die bestaan uit het verlies van landbouwproductie ter waarde van ruim 30 miljoen (8 à 9% van de totale productie van melkveehouderij op veen). Dit compromis lijkt dus aantrekkelijk.

### **3.3 Maatregel: onderwaterdrains**

Onderwaterdrains zijn drainagebuizen die onder het slootpeil liggen; ze draineren dus wanneer de grondwaterspiegel boven het slootpeil ligt (als de grond erg nat is, in de winter), terwijl ze onder droge omstandigheden juist helpen om water uit de sloot in de bodem te laten infiltreren (wat normaliter bemoeilijkt wordt door de hoge stromingsweerstand van veen). Het algehele effect is dus nivellering van het grondwaterpeil. Dat blijft weliswaar op een lager niveau dan vanuit een oogpunt van behoud van het veen wenselijk zou zijn, maar de droge perioden waarin de meeste veenafbraak gebeurt worden vermeden, en zo is de afbraak uiteindelijk toch lager dan zonder onderwaterdrains. Op de proefboerderij Zegveld zijn vier jaar lang experimenten uitgevoerd met deze techniek, en het bleek dat de maaiveldddaling bij een slootpeil van 35-40 cm-mv 5 mm per jaar bedroeg, wat gelijk was aan die bij een slootpeil van 15-20 cm-mv (Hoving et al., 2008).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Dit is toch nog een aanzienlijke daling, gezien de hierboven genoemde getallen (zie paragraaf 2.3). Vergelijkbare waarden worden echter gemeten door Holshof en Van Houwelingen (2008); mogelijk heeft het verschil met de eerdergenoemde cijfers van Jansen et al. (2007) te maken met de lan-

### 3.3.1 Kosten en baten voor de landbouw

De kosten van onderwaterdrains worden gecijferd op € 165 per jaar (2006), inclusief afschrijving en onderhoud (Hoving et al., 2008: 35). Dat is minder dan het verlies dat verhoging van het slootpeil oplevert. De vraag is echter in hoeverre onderwaterdrains voor hogere opbrengsten zorgen. Het effect van minder bodemdaling is voor de landbouw van beperkte betekenis, zoals we zagen in subparagraaf 3.1.1. Echter, onderwaterdrains hebben twee belangrijke effecten: ze helpen om droogteschade in de zomer te voorkomen, en door een betere ontwatering in de winter kan de boer in het voorjaar eerder het land op. Toch blijkt uit het onderzoek van Hoving c.s. dat de grasopbrengsten, zowel in kg droge stof als in stikstofopbrengst van de bodem, eerder lager zijn dan zonder drains - behalve in het eerste jaar (op. cit.: 23-24).

### 3.3.2 Externe kosten en baten

De maatschappelijke baten lijken in eerste instantie vergelijkbaar met die van verhoging van het slootpeil met 20 cm: € 300-600 per hectare (subparagraaf 3.2.2). Er zijn echter enkele verschillen:

- De uitstoot van broeikasgassen blijkt bij onderwaterdrains iets lager dan daarzonder, maar alleen bij relatief hoge slootpeilen; bij 60 cm-mv maken ze geen verschil (Hendriks et al., 2008). Het lijkt er dus op dat onderwaterdrains vanuit een oogpunt van klimaatmitigatie vooral baten opleveren in combinatie met een relatief hoog slootpeil, van bijvoorbeeld 40 cm-mv (zoals ook in het onderzoek van Hoving c.s. is gebruikt);
- Grootschalig gebruik van onderwaterdrains leidt tot de verhoogde aanvoer van gebiedsvreemd water; als dat rijk is aan carbonaat of sulfaat kan dit gevolgen hebben voor de veenafbraak (Hoving et al., 2008: 33). Ook kan er een verhoogde aanvoer van nutriënten zijn, met gevolgen voor de waterkwaliteit (Ton Geraedts, Milieufederatie Noord-Holland, pers. meded., juni 2009);
- Het gebruik van de drains betekent lagere waterstanden in het voorjaar, wat gevolgen kan hebben voor de weidevogelstand (ibid.).

---

gere termijn van het laatstgenoemde onderzoek. Hoving c.s. geven ook aan dat hun onderzoek te kort is geweest om betrouwbare uitspraken over het effect op bodemdaling te doen.

# 4 Ondergrondverdichting

---

## 4.1 Het probleem

Verdichting van de ondergrond leidt tot een vermindering van het waterdoorlatend vermogen van de bodem en tot slechtere beworteling van de gewassen (Van den Akker et al., 2006). Het is voornamelijk een gevolg van de druk van machines: in de akkerbouw en de opengrondstuintbouw, de berijding door de tractor in de open voor tijdens het ploegen en de berijding door zware machines tijdens mestaanwending en oogst. In de veehouderij wordt met name in het vroege voorjaar tijdens emissiearme mestaanwending met hoge wiellasten gereden (tot 12 ton per wiel). De wieldruk neemt bovendien voortdurend toe, zodat verdichting een steeds groter probleem wordt. Hoe groot is overigens niet goed bekend, en de ernst ervan wordt dan ook betwijfeld door J. Huinink (pers. meded.): hij wijst erop dat het niet zozeer om de wiellast als zodanig gaat, maar om de resulterende bodemdruk. Met lagedrukbanden kan het probleem effectief worden bestreden, en deze zijn algemeen in gebruik; de druk kan bovendien met moderne tractoren vanuit de cabine worden aangepast. We komen hierop terug in paragraaf 4.2, waarin over maatregelen tegen ondergrondverdichting wordt gesproken.

Van de Nederlandse bodems zijn de lichte zavel- en zandgronden het meest gevoelig voor verdichting (Hack-Ten Broeke et al., in voorbereiding).

### 4.1.1 Gevolgen voor de landbouw

Recente economische gegevens over de gevolgen van ondergrondverdichting zijn moeilijk te vinden. Er is een schatting dat de totale productie van snijmaïs in Nederland 7% lager was als gevolg van verdichting (Alblas et al., 1994). Håkansson en Reeder (1994) geven een veel geciteerd overzicht van veldonderzoek over dit onderwerp. Een analyse van een aantal meerjarige experimenten in verschillende landen leidt tot de conclusie dat ondergrondverdichting een opbrengstderving van gemiddeld 2,5% veroorzaakt; dit effect blijft meerdere jaren in stand en kan zelfs na meer dan tien jaar nog voelbaar zijn.<sup>1</sup> Alakukku en

---

<sup>1</sup> In dit onderzoek werden de experimentele percelen vier keer bereden met een gewicht van 10 ton per as, en vervolgens werd gekeken hoelang het effect duurde; er waren controlepercelen ter vergelijking.

Elonen vonden een opbrengstdaling van 4% over 8 jaar bij granen op zware klei<sup>1</sup> (1995). Het is bovendien tot op zekere hoogte cumulatief: hoe vaker de grond bereiden wordt, des te meer verdichting. Wel lijkt er een limiet te zijn aan de mate waarin de opbrengst per hectare kan dalen; een voorbeeld uit een experiment wordt gegeven van 38% (ibid.).

Als we een gemiddelde opbrengstdaling van 2,5% aannemen over een periode van 5 jaar, en daarvan de contante waarde berekenen op basis van een discontovoet van 3,5%, dan komen we op een cumulatieve opbrengstderving in geld ter waarde van 11,6%. Om aan de voorzichtige kant te blijven stellen we dit op een rond getal van 10% voor een machinegebruik zoals beschreven door Håkansson en Reeder. De akkerbouw had een bruto toegevoegde waarde van gemiddeld € 3.200 per ha in 2007, dus op verdichtingsgevoelige gronden (de lichte zavel in de Fries-Groningse Bouwhoek bijvoorbeeld) kan de schade oplopen tot ruim € 300 per ha per jaar. Zoals we zagen zijn de zandgronden echter het meest gevoelig voor verdichting; hier is melkveehouderij de dominante vorm van agrarisch grondgebruik. Bij een grasopbrengst van € 800 per ha betekent ondergrondverdichting dus een verlies van € 80 per ha per jaar.

Daarbovenop komt de hinder die de boer ondervindt doordat land met verdichte ondergrond vaak moeilijk bruikbaar is na regen (door de slechte afwatering). Het lijkt erop dat ondergrondverdichting voor de landbouw een grotere bedreiging is dan winderosie of veenafbraak.

#### 4.1.2 Externe effecten

Ondergrondverdichting beperkt de worteldiepte van planten (vooral van belang in droge perioden), evenals de infiltratie van water (dus ook de ontwatering) en de hoeveelheid zuurstof in de bodem. Daarmee wordt de groei van bodemleven (bodemfunctie 3) belemmerd (Rutgers et al., 2009). Hetzelfde geldt voor de bufferfunctie van de bodem (functie 2). Het effect op de bufferfunctie wordt verergerd doordat ondergrondverdichting ook kan leiden tot stikstofverliezen door uitspoeling en denitrificatie; dit laatste leidt tot hogere uitstoot van lachgas, dat een krachtig broeikasgas heeft. Daarnaast wordt de procesfunctie belemmerd: buffering, omzetting en afbraak. Door het beperkte infiltratievermogen ontstaat sneller oppervlakkige afstroming, waarbij veel meststoffen naar het oppervlaktewater kunnen afspoelen. Doordat het gewas door de beperkte bewor-

---

<sup>1</sup> Dit was bij een asgewicht van 16 ton op dubbele assen, wat overeenkomt met 10 ton op een enkele as.

telingsdiepte eerder last heeft van verdroging, moet eerder en meer worden be-  
regend. Het beperkte infiltratievermogen leidt eerder tot te natte omstandighe-  
den voor de oogst en vernattingschade, en daardoor een hoger gebruik van  
bestrijdingsmiddelen (bijvoorbeeld tegen Phytophthora). Voor de functies 4-6  
maakt ondergrondverdichting vermoedelijk weinig verschil.

Het kwantificeren van deze effecten is echter nog moeilijker dan de impact  
op de landbouw. In ieder geval zijn deze effecten aanzienlijk en langdurig (Soane  
en Van Ouwerkerk, 1995). Vermeulen en Mosquera (2009: 133) vonden een ver-  
mindering van de uitstoot van lachgas van 20-40% (afhankelijk van het gewas)  
op grond waar verdichting werd voorkomen; zij citeren literatuur volgens welke  
ondergrondverdichting de uitstoot van lachgas met 20-50% verhoogt. Die uit-  
stoot bedraagt op akkerland één tot enkele tonnen CO<sub>2</sub>-equivalent per hectare  
(zie bijvoorbeeld Ogle et al., 2008), dus we kunnen zeggen dat alleen al dit ef-  
fect van ondergrondverdichting 0,2-1,0 ton.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-equivalent veroorzaakt,  
ofwel een maatschappelijke kostenpost van € 2,7-13,5.

## 4.2 Maatregel: vermindering van druk op de bodem

Om verdichting tegen te gaan zijn in principe vijf typen maatregelen mogelijk:

1. minder bodembewerking,
2. het verminderen van de druk door machines,
3. het verbeteren van de weerstand van de bodem tegen verdichting,
4. herstelmaatregelen op reeds verdichte gronden, of
5. het aanpassen van het teeltplan.

De eerste van deze maatregelen is besproken in paragraaf 2.3. De andere  
vier worden in de volgende subparagrafen besproken. Verreweg de belangrij-  
ste betreffen technieken om de druk van machines op de grond te verminderen  
dan wel beter te verdelen. Aan de andere drie mogelijkheden kleven nogal wat  
beperkingen, zoals in de volgende paragraaf zal blijken.

Landbouwmachines zijn de afgelopen decennia steeds zwaarder geworden:  
trekkers van meer dan 10 Mg en oogstmachines van 50 Mg (Alakukku et al.,  
2003). Dit wordt gezien als de hoofdoorzaak van ondergrondverdichting. Het  
spreekt dus vanzelf dat de vermindering van machinedruk ook de belangrijkste  
maatregel is om deze vorm van structuurbederf tegen te gaan.

Dit is eigenlijk niet één maatregel, maar een groep van mogelijke technieken  
om de druk op de bodem te verminderen dan wel beter te verdelen. We behan-



delen deze één voor één, waarbij we de kosten voor de landbouw waar mogelijk vergelijken. Dit zijn ook de maatschappelijke kosten, omdat we ervan uit mogen gaan dat er geen neveneffecten zijn. De baten (zowel de maatschappelijke als de privaat-economische) zijn in alle gevallen de mate waarin ondergrondverdichting wordt tegengegaan, en deze baten zijn beschreven in paragraaf 4.1. De verschillende maatregelen kunnen overigens vaak worden gecombineerd.

#### 4.2.1 Lagedrukbanden en rupsbanden

Het verminderen van de bandendruk is een belangrijke manier om ondergrondverdichting te voorkomen, doordat het gewicht over een groter oppervlak wordt verdeeld. Volgens Huinink is dit zelfs dé manier, omdat de bodemdruk nooit groter kan worden dan 1,25 maal de bandspanning (Huinink, 1981). Op niet verdichte, natte gronden is de maximale bandenspanning 0,6 tot 0,8 bar, overeenkomend met een bodemdruk van 0,075 tot 0,1 Megapascal.

Hiervoor zijn aangepaste banden nodig, wat investeringen vergt. De bij landbouwmachines en trekkers vaak nog gebruikelijke diagonaalbanden zijn niet geschikt voor lage drukken, dus moet overgeschakeld worden op radiaalbanden (De Jong-Hughes et al., 2001). Loonwerkers hebben deze veelal wel, maar de neiging is groot de voor weggebruik vereiste spanning van 1,5 bar niet te verlagen zodra men op het perceel aan het werk gaat. Verder is een Central Tire Inflation System (CTIS) nodig waarmee men vanuit de cabine de bandendruk kan aanpassen; ook dit is op moderne trekkers reeds gebruikelijk (Huinink, pers. meded.).

In het verleden werd ook dubbellucht wel toegepast om de bandendruk te verlagen; daarbij wordt een extra wiel op de as gezet. Bij de bredere banden die tegenwoordig ingezet worden is dubbellucht echter in onbruik geraakt.

Een alternatief is het gebruik van rupsbanden. Dit is kostbaarder in termen van investering, en het effect op ondergrondverdichting is enigszins controversieel (DeJong-Hughes et al., 2001, Thangavadivelu et al., 1994, Duiker, 2004). Een groot nadeel is dat ze trillingen veroorzaken tot diep in de ondergrond, die zeer schadelijk kunnen zijn (J. Huinink, pers. meded.). Wel hebben rupsbanden het voordeel dat ze smaller zijn dan luchtbanden, en dus een kleiner oppervlak rijbaan nodig hebben.

#### 4.2.2 Lichtere machines

Hierbij denken we bijvoorbeeld aan lichte, onbemande trekkers. Lichtere machines zijn vaak noodzakelijk ook wanneer lagedrukbanden worden toegepast. Lage bandenspanning kan het gewicht van het voertuig immers alleen over een groter oppervlak verdelen. De maximum belasting per as wordt in de literatuur op 10 Mg gesteld (Raper, 2008; Raper en MacKirby, 2006), 16 Mg voor assen met dubbele wielen. Dit zullen vuistregels zijn, want uiteindelijk gaat het om de druk, en die verschilt al naar gelang het bodemtype en de omstandigheden. Zo wordt gesteld dat op zandgrond de druk niet meer dan 50 kPa mag bedragen en dan alleen wanneer de bodem niet te vochtig is (Alakukku et al., 2003: 152). Overigens hebben deze lichte machines alleen zin in combinatie met een lagere bandendruk. Over de mogelijkheden van lichtere machines hebben we echter geen economische details kunnen vinden.

#### 4.2.3 Rijbanenteelt (Controlled Traffic Farming)

Dit betekent dat machines zich beperken tot vaste paden en niet over het gehele land rijden; de ondergrondverdichting wordt daarmee beperkt tot de rijbanen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van sturing met gps, zodat de machines zich nauwkeurig aan deze rijbanen kunnen houden. Bij voorkeur worden hiervoor trekkers gebruikt met een brede wielbasis, bijvoorbeeld 3 meter; op die manier kan de verdichting beperkt worden tot twee smalle stroken per rijbaan, waarmee telkens een breed veld kan worden bestreken. Op deze stroken is overigens de verdichting juist erger, of vindt mogelijk zelfs afdekking plaats (een andere vorm van bodemdegradatie).

Lamers et al. (1986) verkregen (overigens zonder gps) op deze wijze een 0-10% hogere opbrengst van aardappelen, suikerbieten en wintertarwe; en 50% besparing op energie. De kosten bestaan (buiten die voor de machine zelf) uit het verlies van de grond die nodig is voor de rijbanen; dat verlies was 9%, maar in de hogere opbrengst is het al verdisconteerd. De kosten van aanpassing van het machinepark zijn uiteraard aanzienlijk: Lamers c.s. schatten deze op 30% van de totale kosten, al is niet duidelijk wat ze onder 'totale kosten' verstaan. Zij stellen wel dat deze kosten te hoog zijn voor akkerbouw, maar dat het systeem aantrekkelijk is voor hoogwaardige gewassen: vollegrondsgroenten en bollen-teelt.

#### 4.2.4 Op afstand aangedreven systemen

Onder deze verzamelnaam verstaan we diverse systemen waarbij de machine zelf aan de rand van een veld blijft staan, of tenminste op afstand van de plek waar het werk moet gebeuren. Voorbeelden zijn rijbrugvoertuigen (gantry systems), het opbrengen van drijfmest met behulp van slangen (umbilical systems), en door kabels aangedreven machines. Uiteraard kan dit zeer goed gecombineerd worden met rijbanenteelt. Overigens is ook wel geëxperimenteerd met luchtkussenvoertuigen, die in het geheel geen druk op de bodem uitoefenen.

Vermeulen en Klooster (1992) voerden een serie experimenten uit waarin conventionele berijding werd vergeleken met een op afstand bediend systeem op vaste rijbanen, en ook met een systeem waar alleen met lagedrukbanden werd gewerkt. Dit laatste gaf gemiddeld 4% hogere opbrengsten voor rooivruchten, en het afstandstelsysteem leverde een toename van 9% op; alleen voor tarwe was de opbrengst wat lager dan bij conventionele berijding. Energiebesparing was 8% voor het lagedruksysteem en 15% voor het afstandstelsysteem. Janssens (1991) berekende op basis van deze experimenten dat het gebruik van lagedrukmachines 8,8% duurder was dan conventionele machines. Dit cijfer werd gebruikt in de Impact Assessment voor de Europese Bodemstrategie (European Commission, 2006b: 81) om een schatting te maken van de extra kosten per hectare: € 9 per jaar. Loonwerkers, die hun machines dankzij schaalvoordelen efficiënter kunnen gebruiken, hebben mogelijk nog lagere meerkosten of zelfs nettowinst (J. Huinink, pers. meded.).

### 4.3 Overige maatregelen

#### 4.3.1 Verhogen van de weerstand

Een betere afwatering maakt de bodem minder kwetsbaar voor verdichting: natte grond verdicht sneller. Een andere mogelijkheid is het opbrengen van organisch materiaal, in de vorm van oogstresiduen of compost. Dierlijke mest is uiteraard ook mogelijk, maar stuit op problemen in verband met de mest- en mineralenwetgeving: fosfor, stikstof en zware metalen (Van Dam et al., 2005). Voor het gebruik van oogstresiduen geeft de Impact Assessment van de Europese Bodemstrategie een cijfer, gebaseerd op de vergoeding die hiervoor in een aantal landen in 2004 werd betaald: € 44/ha (European Commission, 2006b: 77). Dit is een gemiddelde voor Duitsland (Saksen), Spanje en Portugal.

In Nederland zullen de kosten wat hoger liggen, misschien € 60/ha in prijzen van 2009. Het effect op de bodemstructuur is overigens complex: afhankelijk van de vorm waarin de organische stof zich bevindt (al dan niet gehumificeerd), hoe die in de bodem is verdeeld, de mate van druk op de bodem en het vochtgehalte in de bodem kunnen tegengestelde effecten optreden (Soane, 1990). Toch wijzen proeven uit dat een hoger gehalte organische stof in het algemeen leidt tot een lagere gevoeligheid voor verdichting: het aanbrengen van  $32 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$  maïsstengels over een periode van 13 jaar leidde in Amerika tot een vermindering van de bodemdichtheid van 32% - weliswaar in de bovengrond, op een diepte van 7,5-15 cm (Morachan et al., 1972, geciteerd door Soane, 1990). Het effect van het opbrengen van mest op de weerstand van de bodem is zelfs hoger dan de extra verdichting veroorzaakt door de zware machines waarmee men het land op moet (Stevens et al., 1988, geciteerd door Soane, 1990).

#### 4.3.2 Herstel van de bodem

Diepwoelen (subsoiling) en spitfrozen (rotary digging) zijn mogelijkheden om de bodem op grotere diepte los te maken en daarmee de ondergrondverdichting ongedaan te maken. Kooistra en Boersma (1994) gebruikten beide en kregen de beste resultaten met diepwoelen. Het nadeel is echter dat de bodem hierdoor gevoeliger wordt voor verdichting - reeds verdichte grond heeft een hogere weerstand tegen verdere verdichting (Munkholm en Schjonning, 2003). Wanneer men na het losmaken van de grond onder de ploegzool weer doorgaat met dezelfde wijze van bodemgebruik als voorheen is de grond na drie jaar opnieuw verdicht. In de literatuur is vrijwel consensus over de moeilijkheid van duurzaam structuurherstel (Alakukku et al., 2003).

Anderzijds vindt natuurlijk herstel slechts zeer beperkt plaats. Hoe dieper de verdichting in de (onder)grond is doorgedrongen, des te moeilijker het (natuurlijk) herstel. Een sterk verdichte zandondergrond zal waarschijnlijk nooit (natuurlijk) herstellen. Zwaardere gronden hebben meer mogelijkheden (door krimpscheuren), maar daar blijkt zelfs na meer dan 15 jaar na een eenmalige verdichting met wiellasten van 5 ton, dat in een nat jaar nog een oogstdepressie optrad (J. van den Akker, pers. meded.).

#### 4.3.3 Aanpassing van het teeltplan

Deze maatregel kan bestaan uit het verbouwen van gewassen die door een lage worteldiepte minder gevoelig zijn voor verdichting (gras bijvoorbeeld). Dit is weinig bevredigend, omdat men hiermee het probleem niet oplost maar zich eraan aanpast; aan de externe effecten van verdichting wordt dan bovendien niets gedaan. Men kan echter ook het teeltplan (en/of het management) zodanig aanpassen dat men vermijdt om het land op te gaan in perioden dat de bodem bijzonder kwetsbaar is (natte grond). Deze maatregel heeft echter grote bezwaren: een ander teeltplan zal meestal bedrijfseconomisch minder aantrekkelijk zijn (anders deed men het al) en zal nieuwe kennis vereisen van de boeren. Wat betreft management houden boeren nu ook al rekening met de conditie van de grond, maar men kan niet eindeloos wachten tot de grond droog genoeg is. De maatregel is dan ook niet doorgerekend.

## 5 Evaluatie van de kosten en baten

---

Dit rapport is er niet in geslaagd om een sluitend beeld te geven van de maatschappelijke kosten en baten van de belangrijkste maatregelen die volgens de Europese Bodemstrategie in Nederland zouden moeten worden doorgevoerd. Wel kan een aantal conclusies betreffende zowel de privaat-economische als de maatschappelijke kosten en baten worden getrokken, die hopelijk voor beleidsmakers van nut zijn.

1. Voor het beleid staan noodzakelijkerwijs de maatschappelijke kosten van bodemdegradatie centraal. Immers, waar de boer zelf het meest te lijden heeft van achteruitgang in de bodemkwaliteit bestaat een rechtstreekse prikkel om maatregelen te nemen. Om deze maatschappelijke kosten in beeld te brengen is het concept van bodemfuncties ontwikkeld. Dit is geschikt om de positieve bijdragen van de bodem aan de menselijke welvaart te beschrijven, maar kan de externe effecten van bodembeheer niet volledig dekken. Wat er met de bodem gebeurt kan immers ook juist schade berokkenen. Een voorbeeld is het effect van fijnstof (een gevolg van winderosie) op de gezondheid, of het ontstaan van schade aan funderingen door ontwatering van de bodem. In feite gaan de functies alleen over wat de bodem ter plaatse ('on-site') doet voor de welvaart, niet over de effecten die bodembeheer buiten het beheerde gebied kan hebben. Kijkt men alleen naar de functies, dan bestaat het risico dat men deze 'off-site' effecten over het hoofd ziet - en deze zijn vaak hoger dan de on-site-effecten (Görlach, 2004).
2. Het gaat in dit onderzoek om maatregelen die boeren op landbouwgrond kunnen toepassen en die de kwaliteit van die grond verbeteren, maar die daarnaast ook maatschappelijke baten opleveren. Die maatschappelijke baten kunnen we zien als publieke goederen, in de zin dat burgers deze baten kunnen ontvangen ook zonder dat men ervoor betaalt. Het risico is dat de producenten van deze goederen (de boeren) er minder van zullen produceren dan maatschappelijk wenselijk is. Bij alle drie vormen van bodemdegradatie die in dit rapport worden behandeld is dit aspect aanwezig, maar niet in dezelfde mate. Het duidelijkst is dit het geval bij veenafbraak, het minst bij ondergrondverdichting; en winderosie zit tussen deze beide in. Hoe meer er sprake is van een publiek goed, des te meer reden is er voor ingrijpen door beleid - hetzij door het opleggen van een maatregel, hetzij door het verlenen van compensatie aan boeren die bereid zijn die maatregel toe te passen.

Het ideale niveau van deze compensatie ligt tussen de netto kosten voor de boer en de netto maatschappelijke baten in; op die manier hebben beiden baat bij de maatregel. Helaas verbieden Europese regels voor overheidssteun aan bedrijven dit: de compensatie wordt gezien als een subsidie, niet als het aankopen van een dienst op de markt (zie Van Bommel et al., 2007). Dit geldt ook wanneer de desbetreffende maatregel in de Catalogus Groenblauwe Diensten is opgenomen.

3. Er is nog een tweede argument voor overheidsinterventie in de bodem. Degradatieprocessen hebben vaak een cumulatief effect op de bodemfuncties, inclusief de agrarische productiviteit. Op korte termijn ondervindt de boer weinig hinder van de degradatie, en is het dus niet aantrekkelijk om te investeren in bodembeheer - tenzij hij een zeer lage discontovoet aanhoudt (en in dat geval zal de bank hem problemen geven). Bij ondergrondverdichting is herstel slechts gedeeltelijk mogelijk en zeer kostbaar. De gevolgen van veenafbraak en winderosie zijn permanent en praktisch onomkeerbaar. De overheid treedt op voor de samenleving als geheel en mag daarom geacht worden een langetermijnvisie te hebben - ook al blijkt dat in de politieke praktijk niet altijd.
4. Bij winderosie zijn de maatschappelijke kosten duidelijk hoger dan de schade die de landbouw ondervindt, tenminste op korte termijn; overigens ondervinden boeren ook nadeel van erosie op elkaars percelen. Wat de maatregelen betreft is er gebrek aan betrouwbare economische gegevens. Niettemin kunnen enkele conclusies worden getrokken. Zo lijkt minimale grondbewerking niet haalbaar voor de meeste akkerbouwers, waar rooivruchten een hoofdrol spelen in het bouwplan. De haalbaarheid van houtwallen en heggen zou nader kunnen worden onderzocht: afhankelijkheid van de gewenste onderlinge afstand van deze elementen kunnen de kosten beter worden ingeschat; deze kunnen vervolgens worden afgewogen tegen de maatschappelijke baten. Het is denkbaar dat dit een haalbare maatregel is, tenminste op sommige plaatsen.
5. Aan de afbraak van veen zijn al zoveel studies gewijd dat het aanmatigend zou zijn om hier met een nieuwe mening te komen. Het grote dilemma ligt zoals bekend tussen de behoefte van de landbouw aan een laag slootpeil en de maatschappelijke kosten van veenafbraak en de bodemdaling die er het gevolg van is. Dit dilemma is des te klemmender omdat men de landbouw nodig heeft als beheerder van het landschap: men wil juist het cultuurlandschap behouden, zij het met ruimte voor natuurwaarden. Bovendien is het zeer twijfelachtig of de maatschappelijke baten van behoud van het veen wel

opwegen tegen de maatschappelijke kosten van teloorgang van de melkveehouderij in het gebied. De oplossing zal ongetwijfeld gevonden worden in compromissen: peilverhoging op sommige plaatsen waar de belangen van natuur en van stedelingen de overhand krijgen in combinatie met vormen van landbouw waar groene en blauwe diensten een hoofdrol spelen in de bedrijfsvoering. Echter, waar agrarische belangen sterk zijn zal de bodemdaling zal doorgaan - misschien totdat, in het verre verschieft, de wal het schip keert. Onderwaterdrains zijn een mogelijk middel om de afbraak van het veen te verminderen. Hiermee kan, in combinatie met een peilverhoging, de maaiveld daling en de emissie van  $\text{CO}_2$  sterk worden beperkt, terwijl door de drainerende werking de bedrijfsomstandigheden ongeveer gelijk blijven aan de oude situatie met een lager slootpeil. Voor de melkveehouder is de investering in onderwaterdrains dan niet rendabel. Voor de maatschappij kan dit echter wel het geval zijn, zeker in de toekomst indien door de voortdurende maaiveld daling en peilaanpassingen de nutriëntenrijke (en eventuele zoute) kwel toeneemt. Daarbij moet worden bedacht dat door klimaatverandering het aantal (zeer) droge jaren sterk kan toenemen, waardoor de gemiddelde jaarlijkse maaiveld daling en emissie van  $\text{CO}_2$  eind deze eeuw 80% hoger kan zijn dan nu. Toepassing van onderwaterdrains kan deze toename grotendeels voorkomen ([www.waarheenmethetveen.nl](http://www.waarheenmethetveen.nl)). Gezien de complexiteit van chemische processen in het veen en de aanvoer van gebiedsvreemd water is het echter nog onzeker of de baten van minder oxidatie van het veen (met name in droge tijden) opwegen tegen de nadelige effecten op natuur en milieu.

6. Bij ondergrondverdichting is de kloof tussen agrarische belangen en publieke goederen veel minder diep, al zijn ook hier aanzienlijke maatschappelijke waarden in het geding. De juiste rol voor de overheid lijkt hier vooral een faciliterende te zijn: het financieren van onderzoek en het stimuleren van innovatie en kennisverspreiding om de boeren te helpen de beste oplossingen te vinden. Een probleem is dat de natuurlijke technologische en economische ontwikkeling nu juist in de richting gaat van steeds zwaardere machines, zodat het streven naar verminderen van de druk tegen die stroom in moet roeien. Welke maatregel het meest geschikt is kan door onze MKBA (nog) niet worden beantwoord. Wel is het duidelijk dat de preventieve maatregelen tot drukvermindering de voorkeur verdienen boven herstel van eenmaal verdichte grond; al zal dat laatste vaak onvermijdelijk zijn.
7. We hebben gezien dat bij het beschermen van de bodem vaak sprake is van een publiek goed, waarbij de baten van bescherming voor de samenleving



die voor de boer overtreffen. In principe zijn er voor het beleid dan twee wegen open: het compenseren van de boer als deze vrijwillig maatregelen treft of deze maatregelen verplicht stellen. Zowel de Nederlandse wet als het Europese Gemeenschappelijk Landbouwbeleid bieden hiervoor in principe aanknopingspunten. In Nederland wordt in artikel 13 van de Wet Bodembescherming een zorgplicht verwoord: aantasting van de kwaliteit van de bodem moet worden voorkomen. Voorbeelden waar dergelijke maatregelen verplicht worden toegepast zien we in Zuid-Limburg, tegen watererosie (zie paragraaf 1.3). In het GLB kunnen via cross-compliance maatregelen voor bodembescherming in principe worden afgedwongen (Brand en Jongeneel, 2008). Op het gebied van bodem is echter nog niets geregeld (A. Smits, IPO, pers. meded.). Om doelmatig beleid op dit punt mogelijk te maken is het van belang om het begrip 'duurzame landbouw' helder te definiëren.

# Literatuur

---

Akker, J. van den, 'Maaiveldddaling en verdwijnende veengronden.' In: Rienks, W.A. en A.L. Gerritsen (red.), *Veenweide 25x belicht. Een bloemlezing van het onderzoek van Wageningen* 13: pp. 11-13, 2005, Wageningen UR.

Akker, J.J.H. van den, G.D. Vermeulen, P.H.M. Dekker en A.P. Phillipsen, 'Bodemverdichting.' In: *Leidraad Bodembescherming*, art. 5720. Sdu Uitgevers, Den Haag, 2006.

Alakukku, L. en P. Elonen, 'Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops.' In: *Soil & Tillage Research* 36 (3), pp. 141-152, 1995.

Alakukku, L., P. Weisskopf, W.C.T. Chamen, F.G.J. Tjink, J.P. van der Linden, S. Pires, C. Sommer en G. Spoor, 'Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 1. Machine/soil interactions.' In: *Soil & Tillage Research* 73: pp. 145-160, 2003.

Alblas, J., F. Wanink, J. van den Akker en H.M.G. van der Werf, 'Impact of traffic-induced compaction of sandy soils on the yield of silage maize in the Netherlands.' In: *Soil & Tillage Research* 29: pp. 157-165, 1994.

Andréa, M.M. de, T. Bonanho Peres, L.C. Luchini, S. Bazarin, S. Papini, M. Barifouse Matallo en V.L. Tedeschi Savoy, 'Influence of repeated applications of glyphosate on its persistence and soil bioactivity.' In: *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (Brasília) 38 (11): pp. 1329-1335, 2003.

Bakel, P.J.T. van, *Mag het ook een beetje zouter zijn?* Oplegnotitie bij Alterra-rapport 1926, Alterra, Wageningen, 2009.

Bakel, P.J.T. van, R.A.L. Kselik, C.W.J. Roest en A.A.M.F.R. Smit, *Review of crop salt tolerance in the Netherlands*. Alterra report 1926. Alterra, Wageningen, 2009.

Bakker, M.M., G. Govers en M.D.A. Rounsevell, 'The crop productivity - erosion relationship: An analysis based on experimental work.' In: *Catena* 57: pp. 55-76, 2004.

Bakker, M.M., G. Govers, R.A. Jones en M.D.A. Rounsevell, 'The effect of soil erosion on Europe's crop yields.' In: *Ecosystems* 10: pp. 1209-1219, 2007.

Beijk, R., D. Mooibroek en R. Hoogerbrugge, *Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2003-2006*. RIVM-rapport 680704002/2007. Bilthoven, 2007.

Blum, W.E.H., 'Soil protection concept of the Council of Europe and integrated soil research.' In: Eijsackers, H.P. en T. Hamers (eds.): *Integrated Soil and Sediment Research: A basis for proper protection*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 37-47, 1993.

Bommel, K.H.M. van, T.C. van Leeuwen, J.H. Jager en K. Oltmer, *Groenblauwe diensten naar een hoger peil*. LEI rapport 3.07.02. LEI Wageningen UR, Den Haag, 2007.

Bos, E.J. en T.A. Vogelzang, *Vier zwaluwen maken wel een zomer. Economische analyse van een model voor natuurontwikkeling in het Groene Hart*. LEI-rapport no. 2009-062. LEI Wageningen UR, 2009.

Brand, H. en R. Jongeneel, 'Cross-compliance.' In: Silvis, H., A. Oskam en G. Meester (red.), *EU-beleid voor landbouw, voedsel en groen - Van politiek naar praktijk*. Pp. 157-174. Wageningen Academic Publishers, 2008.

Brouwer, F., M. Riksen en J. de Graaff, 'Soil conservation policy measures to control wind erosion in northwestern Europe.' In: *Catena* 52 (3-4), pp. 309-326, 2003.

Chardon, W.J. en K.W. van der Hoek, *Berekeningsmethode voor de emissie van fijnstof vanuit de landbouw*. Alterra-rapport 682. Alterra, Wageningen, 2002.

Chepil, W.S. en N.P. Woodruff, 'The physics of wind erosion and its control.' In: *Advances in Agronomy* 15: pp. 211-302, 1963.

Cultuurtechnische Vereniging, *Cultuurtechnisch Vademecum*. Utrecht, 1988.

Dam, A.M. van, H.C. de Boer, M. de Beuze, A. van der Klooster, L.J.M. Kater, W. van Geel en P. van der Steeg, *Duurzaam bodemgebruik in de landbouw; advies uit de praktijk*. PPO-publicatie 340101. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Wageningen, 2005.

DeJong-Hughes, J., J.F. Moncrief, W.B. Voorhees en J.B. Swan, *Soil compaction: Causes, effects and control*. University of Minnesota Extension, St. Paul, 2001.

<[www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC3115.html](http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC3115.html)>

Deltares, *Onze Delta - Feiten, Mythen en Mogelijkheden. Staat en Toekomst van de Delta 2008 - eerste stap*. Deltares, Delft, 2008.

Duiker, S., *Avoiding Soil Compaction*. PennState University, University Park, 2004.

<[pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/uc186.pdf](http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/uc186.pdf)>

European Commission, *Thematic Strategy for Soil Protection. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. COM (2006) 231 final. Brussels, 22 September 2009.

European Commission, *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC*. COM (2006a) 232 final. Brussel, 22 september 2009.

European Commission, *Thematic Strategy for Soil Protection: Summary of the Impact Assessment*. SEC (2006b) 1165. Brussel, 22 september 2009.

Franckx, L., A. van Hyfte, S. Bogaert, S. Vermoote en A. Hunt, *Reële milieugerelateerde gezondheidskosten in Vlaanderen - Eindrapport*. Departement LNE-Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu en Gezondheid, Rapport 06/12038/RD, Brussel. Arcadis Belgium en Metroeconomica (Bath, UK), 2009.

Gay, S.H., G. Louwagie, F. Sammeth, T. Ratering, B. Maréchal, P. Prospero, E. Rusco, J.M. Terres, M. van der Velde, D. Baldock, C. Bowyer, T. Cooper, I. Fenn, N. Hagemann, K. Prager, N. Heyn en J. Schuler, *Final report on the pro-*

ject 'Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo)'. Joint Research Centre (EUR23820EN), European Commission, 2009.

Gay, S.H., G. Louwagie, F. Sammeth, T. Ratering, A. Cristoiu, B. Maréchal, P. Prospero, E. Rusco, J.M. Terres, K. Adhikari, K. Bódis, R.M. Cenci, C. Gardi, B. Houšková, H.I. Reuter, L. Rodríguez Lado, V. Stolbovoy, G. Tóth, J. Schuler, T. Kutter, P. Zander, R. Funk, K. Helming, S. Doublet, M. Houtin en P. Pointereau, *Addressing soil degradation in EU agriculture: relevant processes, practices and policies. Report on the project 'Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo)'*. Joint Research Centre (EUR23767EN), European Commission, 2009a.

Görlach, B., *Assessing Economic Impacts of Soil Degradation*. Presentatie op de Vital Soil conferentie, Scheveningen, 18-19 november 2004.  
<[ecologic.eu/download/projekte/1950-1999/1965/1965\\_goerlach.pdf](http://ecologic.eu/download/projekte/1950-1999/1965/1965_goerlach.pdf)>

Groot, R.S. de en L. Hein, 'Concept and valuation of landscape functions at different scales. In: Mander, Ü., H. Wiggering en K. Helming (eds.): *Concept and valuation of landscape functions at different scales*. Springer, Berlin: pp. 15-36, 2007.

Håkansson, I. en R.C. Reeder, 'Subsoil compaction by vehicles with high axle load - Extent, persistence and crop response.' In: *Soil & Tillage Research* 29: pp. 277-304, 1994.

Hendriks, R.F.A., R.J. Wolleswinkel en J.J.H. van den Akker, 'Predicting greenhouse gas emission in peat soil depending on water management with the SWAP-ANIMO model.' In: *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Peat Congress, Tullamore, Ireland*, pp. 583-586. International Peat Society, Jyväskylä, Finland, 2008.

Holshof, G., en K.M. van Houwelingen, *Landbouwkundige gevolgen peilverhoging in veenweidegebied*. Rapport 162. Animal Sciences Group van Wageningen UR, Wageningen, 2008.

Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, *Hydrological and agricultural effects of the use of submerged drains on peatsoil*. Rapport 102. Animal Sciences Group van Wageningen UR, Wageningen, 2008.

Huinink, J., 'De relatie tussen bodemdruk en plantengroei.' In: *Bedrijfsontwikkeling* 12 (11), pp. 1025 e.v., 1981.

Huszar, P.C. en S.L. Piper, 'Estimating the off-site costs of wind erosion in New Mexico.' In: *Journal of Soil and Water Conservation* 44 (6), pp. 414-416, 1986.

Jansen, P.C., E.P. Querner en C. Kwakernaak, *Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden. Een scenariostudie in het gebied rond Zegveld*. Alterra-rapport 1516. Alterra, Wageningen, 2007.

Janssens, S.R.M., *Rendabiliteit van een verminderde bodembelasting; Bedrijfs-economische evaluatie van een lagedruk-berijdingssysteem*. Verslag nr. 127. PAGV, Lelystad, 1991.

Jungerius, P.D., *Bodemverlies door lelieteelt en bodemerrosie op esgronden*. Rapport Geomorfologie & Landschap voor de provincie Drenthe. Ede, 2005.

Kooistra, M.J. en O.H. Boersma, 'Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams: loosening practices and effects.' In: *Soil & Tillage Research* 29: pp. 237-247, 1994.

Lamers, L.P.M., *Tackling biochemical questions in peatland*. Dissertatie. Katholieke Universiteit Nijmegen, Nijmegen, 2001.

MANDAK (Manitoba-North Dakota Zero Tillage Farmers Association), *Zero Tillage. Advancing the Art*. Manitoba, Brandon, 1997.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *De strategische MKBA voor de Europese Kaderrichtlijn Water*. Den Haag, december 2006.

Munkholm, L.J. en P. Schjørring, 'Compacted subsoils in organic farming: Mechanical loosening and the risk of recompaction.' *Newsletter from Danish Research Centre for Organic Farming*. 2003.  
<[www.darcof.dk/enews/sep03/soil.html](http://www.darcof.dk/enews/sep03/soil.html)>

NSRI (National Soil Resources Institute), *Soil loss through wind erosion, tillage erosion and soil co-extracted with root vegetables*. Project report. DEFRA Project no. 08007. Cranfield University/University of Exeter, 2006.

Ogle, S.M., S.J. Del Grosso, P.R. Adler en W.J. Parton, 'Soil nitrous oxide emissions with crop production for biofuel: Implications for greenhouse gas mitigation.' In: *Biofuels, Food & Feed Tradeoffs*, pp. 11-18, 2008.

<[www.farmfoundation.org/news/articlefiles/371-2-Ogle.pdf](http://www.farmfoundation.org/news/articlefiles/371-2-Ogle.pdf)>

Oude Essink, G.H.P., 'Zoutwaterintrusie in het grondwatersysteem van de Kop van Noord-Holland; Een toepassing van de driedimensionale computer-code MOCDENSSD.' In: *Stromingen* 6 (3): pp. 9-21, 2000.

Preuter, H., 'Economical evaluation.' In: Westmaas Research Group on New Tillage Systems: *Experiences with three tillage systems on a marine loam soil II: 1976-1979*, pp. 228-235. Agricultural Research Report 925. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1984.

Prins, U., G. Oomen en N. van Eekeren, *Direct zaaïen van snijmaïs; een alternatief voor ploegen met behoud van een vruchtbare en productieve bodem*. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 2008.

Raper, R., *Tire pressure effects on soil compaction*. USDA, Auburn, 2008.

<[www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64200500/csr/ProjectReports/PR04.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64200500/csr/ProjectReports/PR04.pdf)>

Raper, R.L. en J. MacKirby, 'Soil Compaction: How to do it, undo it, or avoid doing it.' In: *ASABE Distinguishes Lecture Series* 30, pp. 1-14, 2006.

<[www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64200500/csr/ResearchPubs/raper/raper\\_06d.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64200500/csr/ResearchPubs/raper/raper_06d.pdf)>

Riksen, M.J.P.M. en J. De Graaff, 'On-site and off-site effects of wind erosion on European light soils.' In: *Land Degradation & Development* 12, pp. 1-11, 2001.

Riksen, M., F. Brouwer en J. de Graaff, 'Soil conservation policy measures to control wind erosion in northwestern Europe.' In: *Catena* 52, pp. 309-326, 2003.

Rooy, P. van, *Gebiedsontwikkeling Groot-Mijldrecht Noord*. Synopsis van verkenning. 2007.

Rutgers, M., G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, J. Bloem, A.J. Schouten en A.M. Breure, *Prioritaire gebieden in de Kaderrichtlijn Bodem: Belang van bodembiodiversiteit en ecosysteemdiensten*. RIVM-rapport 607370001/2009. Bilthoven, 2009.

Ruijgrok, E.C.M., R. Brouwer en H. Verbruggen, *Waardering van Natuur, Water en Bodem in Maatschappelijke Kosten Baten Analyses. Een handreiking ter aanvulling op de Leidraad OEI*. Witteveen+Bos, Deventer, december 2004.

Ruyschaert, G., J. Poesen, B. Notebaert, G. Verstraeten en G. Govers, 'Spatial and long-term variability of soil loss due to crop harvesting and the importance relative to water erosion: A case study from Belgium.' In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126: pp. 217-228, 2008

Soane, B.D., The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. In: *Soil Tillage Research* 16: pp. 179-201, 1990.

Soane, B.D. en C. van Ouwkerk, 'Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment.' In: *Soil & Tillage Research* 35 (1-2), pp. 5-22, 1995.

Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, W.F. Blom, H.S.M.A. Diederens, G.P. Geilenkirchen, B.A. Jimmink, A.F. Koekoek, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijsen, C.J. Peek, F.J.A. van Rijn, M.W. van Schijndel, O.C. van der Sluis en W.J. de Vries, *Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland*. Rapportage 2009. Planbureau voor de Leefomgeving. Bilthoven, 2009.

Velstra, J., *Verzilting: Wat staat ons te wachten?* Presentatie voor het symposium Leven met Zout Water, Amsterdam, 22-24 september 2007. Acacia Instituut/Vrije Universiteit, 2007.

Vermeulen, G.D. en J.J. Klooster, 'The potential of a low ground pressure traffic system to reduce soil compaction on a clayey loam soil.' In: *Soil & Tillage Research* 24: pp. 337-358, 1992.

Vermeulen, G.D. en J. Mosquera, 'Soil, crop and emission responses to seasonal-controlled traffic in organic vegetable farming on loam soil.' In: *Soil & Tillage Research* 102: pp. 126-134, 2009.



Voorde, M. ter en J. Velstra, *Leven met Zout Water: Overzicht huidige kennis omtrent interne verzilting*. Brochure uitgegeven door Acacia Water, Leven met Water & STOWA. Amersfoort, 2009.

Vos, J.A. de, I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel, J. Wolf, J.G. Conijn en G. Holshof, *Effecten van peilbeheer in de polders Zegveld en Oud-Kamerik op de nat- en droogteschade in de landbouw*. Alterra-rapport 987. Wageningen, 2004.

Vries, F. de en F. Brouwer, 'Veengronden in Nederland.' In: Rienks, W.A. en A.L. Gerritsen (red.), *Veenweide 25x belicht. Een bloemlezing van het onderzoek van Wageningen*. Pp. 6-10. Wageningen UR, 2005.

Weide, R. van der, F. van Alebeek en R. van der Broek, *En de boer, hij ploegde niet meer?* Literatuurstudie naar effecten van niet-kerende grondbewerking versus ploegen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, september 2008.

Westmaas Research Group on New Tillage Systems, *Experiences with three tillage systems on a marine loam soil I: 1972-1975*. Agricultural Research Report 899. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1980.

Williams, P. en M. Young, *Costing dust. How much does wind erosion cost the people of South Australia?* CSIRO Land and Water, Canberra, 1999.

Het LEI ontwikkelt voor overheden en bedrijfsleven economische kennis op het gebied van voedsel, landbouw en groene ruimte. Met onafhankelijk onderzoek biedt het zijn afnemers houvast voor maatschappelijk en strategisch verantwoorde beleidskeuzes.

Het LEI is een onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre). Daarbinnen vormt het samen met het Departement Maatschappijwetenschappen van Wageningen University en het Wageningen UR Centre for Development Innovation de Social Sciences Group.

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

