
9 Erosiebestijding

Rudi Hessel, Folkert de Vries en Michel Riksen (Alterra)

Samenvatting

- Levering uit ecosystemen in NL tov de huidige vraag: 6%
- Levering uit ecosystemen buitenland tov de huidige vraag: 0%
- Levering door inzet van van techniek/substitutie: 47%
- Levering onvervuld: 47%
- Trend levering dienst sinds ca. 1990: stabiel
- Trend vraag sinds ca. 1990: toename
- Trend levering tov aanbod sinds ca. 1990: afname
- Relatieve bijdrage van ecosystemen: natuurgebied 100%, agrarisch gebied 0%, urbaan gebied 0%
- Betrouwbaarheid: D (matig)
- Volledigheid: A (volledig)

9.1 Beschrijving van de dienst

Begripsbepaling

Dit hoofdstuk beschrijft erosiebestrijding als een ecosysteemdienst. Omdat erosiebestrijding lastig rechtstreeks te vangen is in de begrippen vraag en aanbod is het nodig eerst te omschrijven wat er in dit hoofdstuk bedoeld wordt met vraag en aanbod. Vraag is de behoefte aan erosiebestrijding, waarbij die behoefte aanwezig is op die plaatsen waar erosie een probleem is. Aanbod is het huidige aanbod aan maatregelen die genomen kunnen worden om erosie te bestrijden. Voor de begripsbepaling is het verder van belang om te vermelden dat we ons beperken tot akkerland, en dat we dus erosie in natuurgebieden, zoals winderosie in duinen en zandverstuivingen, buiten beschouwing laten. In natuurgebieden is erosie namelijk vaak geen probleem, maar wordt het zelfs met opzet in stand gehouden of gestimuleerd. Ook behandelen we alleen erosie en kijken we niet naar andere vormen van bodemdegradatie, zoals oxidatie van veengronden, verlies van organische stof, verdichting en afdekking.

In landbouwgebieden beschouwen we erosiebestrijding als een ecosysteemdienst wanneer het levende ecosysteem of de organismen in het ecosysteem voorkomen dat de grond wegspoelt of wegwaait. Het gaat er dus om dat het ecosysteem of soorten in het ecosysteem (het levende deel dus), de bodem kunnen vasthouden of beschermen en zo erosie kunnen tegengaan. Vegetatie, houtwallen die luwte geven of slim zaaien zodat de plantenwortels de bodem vasthouden leveren dus een ecosysteemdienst, maar bijvoorbeeld het opbrengen van papierpulp of plastic zijn technische oplossingen en geen ecosysteemdiensten omdat het levende ecosysteem/organismen geen rol spelen. Dit type maatregelen noemen we substitutie.

Hierbij willen we enkele kanttekeningen maken:

- Sommige maatregelen tegen bodemerosie zijn duidelijk een ecosysteemdienst volgens onze definitie, terwijl anderen dat niet zijn. Er is echter ook een grijs gebied, waarbinnen er discussie mogelijk is over of een maatregel nu een ecosysteemdienst is of niet. Te denken valt bijvoorbeeld aan mulching met stro. De bescherming tegen erosie wordt hier geleverd door dood plant materiaal, en zou dus substitutie zijn. Echter, een mulch kan wel positieve effecten op het bodemleven hebben en daarmee de bodem meer resistent tegen erosie maken. Indirect is er dus wel sprake van een ecosysteemdienst.
- Het is ook nuttig om er op te wijzen dat we het hebben over diensten geleverd door het ecosysteem, en niet over diensten geleverd aan het ecosysteem. Wij kijken naar de erosiebestrijding die geleverd

wordt door het ecosysteem, en kijken niet zozeer naar het effect wat maatregelen tegen erosie hebben op het ecosysteem, tenzij dat effect tevens erosiebestrijding bevordert.

- Wij willen ook een onderscheid maken tussen ecosystemedienst en maatschappelijke dienst. Boeren die maatregelen tegen erosie treffen leveren daarmee een maatschappelijke dienst, ongeacht of die dienst nu geclassificeerd wordt als ecosystemedienst of als substitutie.

Soorten erosie in Nederland

Op Europese schaal is bodemerosie aangemerkt als één van de belangrijkste bodembedreigingen (Europese Bodemstrategie), wat ook zijn weerslag vindt in het voorstel voor een Kaderrichtlijn Bodem. In Nederland zijn vooral erosie veroorzaakt door water en wind van belang (Maring *et al.*, 2008). Andere vormen van erosie die in Nederland voorkomen op akkerland zijn: bewerkingserosie en oogsterosie. Bewerkingserosie is het gevolg van het feit dat bij grondbewerking op een helling er meer bodem hellingafwaarts beweegt dan hellingopwaarts, terwijl oogsterosie het bodemverlies is dat optreedt doordat er bij het oogsten grond blijft hangen aan bijvoorbeeld aardappels en suikerbieten. In dit hoofdstuk beperken we ons tot watererosie en winderosie.

Schade on-site en off-site

Watererosie heeft on-site gevolgen zoals het verlies van vruchtbare grond en schade aan gewassen, maar in de Nederlandse context worden de off-site effecten van erosie vaak als ernstiger ervaren dan de on-site gevolgen. De off-site gevolgen bestaan vooral uit wateroverlast, modderstromen en sedimentatie en kunnen tot aanzienlijke schade leiden.

Winderosie kan ook een veelheid van gevolgen hebben, zoals afname van het organisch stofgehalte, bodemstructuur, vochthoudendheid en vruchtbaarheid. Fijne bodemdeeltjes en daar aan gebonden meststoffen, bestrijdingsmiddelen, ziekten en onkruiden kunnen zich door de wind verspreiden, en kunnen zorgen voor onder andere vervuiling en gezondheidsproblemen. Tijdens het transport door de lucht kan het meegevoerde sediment zowel on-site- als off-siteschade veroorzaken, bijvoorbeeld aan gewassen, machines en gebouwen.

Hoewel erosie in het grootste deel van Nederland niet zo'n probleem is, zijn er toch gebieden waar watererosie en winderosie wel degelijk van belang zijn.

Ecosystemen en maatregelen

We beperken ons tot agrarische ecosystemen, en in het bijzonder tot akkerbouw, aangezien erosieproblemen zich vooral in akkerbouw voordoen. De kans op erosie is met name groot in perioden waarin de bodem onvoldoende beschermd wordt door een gewas. Voor watererosie wordt het potentiële risico met name bepaald door neerslagklimaat (erosieve kracht), bodemtype (gevoeligheid voor erosie) en helling (steilheid en lengte van de helling). Bij winderosie wordt het potentiële risico bepaald door het bodemtype (erosiegevoeligheid), strijklengte en windklimaat (erosieve kracht).

Er bestaat een veelheid van biofysische maatregelen die genomen kunnen worden om erosie door water en wind te bestrijden. Deze maatregelen richten zich over het algemeen op het verkleinen van de erosieve kracht van water en wind, of op het verhogen van de weerstand van de bodem tegen erosie. Voor watererosie gaat het dan om maatregelen die de hoeveelheid afvoer verlagen, de stroomsnelheid verlagen, de bodembedekking verhogen of het water op een veilige manier opvangen en afvoeren. Bij winderosie gaat het om maatregelen die de windsnelheid aan het bodemoppervlak verlagen, de bodem ruwer maken of de bodembedekking groter. Welke maatregel het best toepasbaar is hangt af van de specifieke lokale situatie, en wordt bepaald door zowel biofysische als socio-economische aspecten. Vaak zijn het de socio-economische factoren, waaronder kosten versus baten, die de doorslag geven wat betreft het wel of niet toepassen van maatregelen.

9.2 Methode

Methode voor bepalen vraag

Voor watererosie combineerden Hack-ten Broeke *et al.* (2009) bodemgebruik en hellingshoek om tot een kaart te komen van gebieden die gevoelig zijn voor watererosie. In dit rapport is aangenomen dat erosie alleen optreedt op akkerland met hellingshoeken van meer dan 2%. Op lagere hellingshoeken heeft afstromend water onvoldoende eroderend vermogen om erosie te veroorzaken, terwijl voor andere landgebruiken de bodembedekking vaak zo hoog is dat erosie geen probleem is. Bodemtype is niet meegenomen.

Hack- ten Broeke *et al.* (2009) maakten een kaart van stuifgevoeligheid volgens de methode van Ten Cate *et al.* (1995). Deze methode bepaalt stuifgevoeligheid als functie van bodemsoort en grondwater-trap. Gronden met lage leem- en lutumgehalten in de bouwvoor en diepe grondwaterstanden zijn het meest gevoelig voor verstuiwen. Hack-ten Broeke *et al.* (2009) combineerden die kaart met bodemgebruik. Landschapsfactoren zoals de openheid van het landschap zijn niet meegenomen.

Methode voor bepalen aanbod

Het bepalen van het aanbod is het lastigste onderdeel van deze inventarisatie. Er zijn wel veel literatuurgegevens over welke maatregelen toegepast zouden kunnen worden, en ook wel over welke maatregelen in de praktijk toegepast worden, maar er zijn weinig gegevens over welke maatregelen op welk areaal toegepast worden, en in hoeverre die maatregelen er inderdaad in slagen erosie te verminderen. Aanbod is daarom geschat op basis van 'expert opinion'.

Methode voor bepalen trends

De trend in zowel vraag als aanbod is geschat aan de hand van literatuurgegevens en 'expert opinion'.

9.3 Resultaten

Vraag

Watererosie

Figuur 9.1 laat zien welke delen van Nederland gevoelig zijn voor watererosie. Het gaat dan vooral om het heuvellandschap van Zuid-Limburg en het heuvelgebied rond Groesbeek. Daarnaast zijn er in figuur 9.1 enkele verspreide locaties waar ook akkerland is op een helling van meer dan 2%, zoals op de flanken van de stuwwallen en op de oostelijke flank van de Hondsrug. Het totaal areaal dat volgens figuur 9.1 gevoelig is beslaat 38.000 hectare. Hiervan ligt ca. 20.000 ha akkerland in de lössgebieden van Zuid-Limburg en Groesbeek. Zuid-Limburg en Groesbeek zijn ook de gebieden waarvoor eerdere studies (zoals Eppink en Spaan, 1982, Kwaad *et al.*, 1998, Stolte *et al.*, 2005 en Kwaad *et al.*, 2006) aangaven dat watererosie er een probleem is. De lössgronden zijn erg gevoelig voor bodemerosie vanwege hun textuur, hun lage organisch stofgehalte en hun zwakke structuur (Spaan *et al.*, 2010). Ook zijn ze erg gevoelig voor verslemping, waardoor afvoer wordt vergroot en het risico op erosie toeneemt. Vanwege de vruchtbare lössgronden wordt er echter wel op grote schaal landbouw bedreven, waarbij mais, granen, suikerbieten en aardappelen de meest voorkomende gewassen zijn (Winteraeken en Spaan, 2010).

Daarnaast zijn de hellingen in Zuid-Limburg aanzienlijk en kunnen er heftige buien voorkomen vooral in de lente en de zomer. Omdat de dorpen veelal in de dalen liggen treden er regelmatig overstromingen op, waarbij tevens veel modder wordt afgezet (zogenaamde 'muddy floods'). Naast deze muddy floods treden ook rilerosie en geulerosie op, wat ook in het aangrenzende Belgische Lössgebied belangrijke erosieprocessen zijn (Verstraeten *et al.*, 2006). Het totale bodemverlies per bui kan in Zuid-Limburg oplopen tot 1,3 ton/ha. Langetermijnstudies hebben aangetoond dat het jaarlijkse bodemverlies ongeveer 14 ton/ha is (De Roo, 1991). Een inventarisatie in het zuidelijk lössgebied leverde in totaal

meer dan 300 locaties op waar mogelijke schade door watererosie kan optreden (Schouten *et al.*, 1985), maar de auteurs zelf melden dat er bij een meer gedetailleerde inventarisatie waarschijnlijk nog honderden punten toegevoegd moeten worden aan deze lijst.

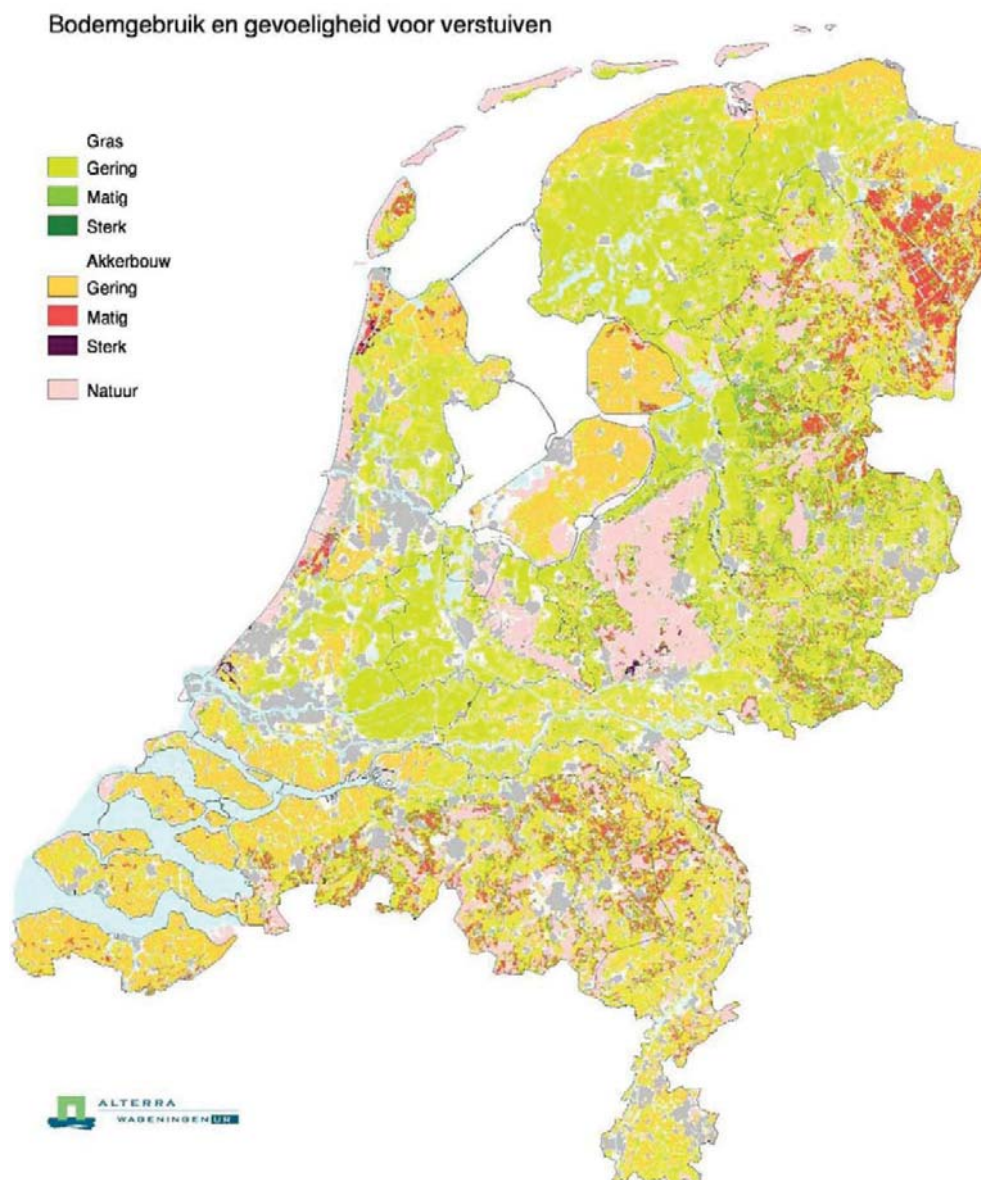
In deze studie hebben lokale gemeenten een schatting gemaakt van hun jaarlijkse kosten als gevolg van erosie die konden oplopen op tot bijna € 500.000 per gemeente. Kosten van voorziene investeringen om schade te voorkomen liepen op tot meer dan € 10 miljoen voor de hele regio. Van Eck *et al.* (1995) concludeerden op basis van hun inventarisatie dat de jaarlijkse kosten voor lokale gemeenten ongeveer € 800.000 bedragen, terwijl Geelen (2006) een ruwe schatting noemt van € 950.000 per jaar, gebaseerd op data uit de jaren tachtig van de 20^e eeuw. Evrard *et al.* (2007) schatten dat de totale kosten als gevolg van overstromingen in de Belgische lössgebieden 16 - 172 miljoen euro per jaar bedragen, terwijl Verstraeten *et al.* (2006) tot een schatting van 60 - 95 miljoen euro per jaar komen voor de gecombineerde kosten van gewasschade, muddy floods en uitbaggeren van rivieren en opvangbekkens.



Figuur 9.1 Verspreiding van hellingen in Nederland volgens hoogtekaart AHN, gecombineerd met bodemgebruik (Hack- ten Broeke *et al.*, 2009).

Winderosie

In Nederland zijn vooral de Veenkoloniën in Groningen en Drenthe gevoelig voor winderosie (Maring *et al.*, 2008), als ook de zandgebieden, vooral in Noord-Brabant, Limburg en Drenthe. Kleinere gebieden die ook gevoelig zijn voor winderosie zijn bloembolpercelen langs de duinen en akkers in enkele polders (Figuur 9.2), zoals in de Noordoostpolder, Wieringermeer en op Texel. De totale oppervlakte akkerland die in Nederland matig of sterk gevoelig is voor winderosie bedraagt volgens de gegevens in figuur 9.2 195.000 ha, waarvan 4500 ha sterk gevoelig is. Winderosie treedt daarmee potentieel in een aanzienlijk groter gebied op dan watererosie, aangezien watererosie vooral optreedt op lössgrond in Zuid-Limburg (Kwaad *et al.*, 2006). Omdat verstuiving optreedt bij kale bodem is het alleen een probleem op akkerland, en vooral in de periode maart-april, wanneer de velden net bewerkt zijn (Riksen en De Graaff, 2001; Goossens, 2004), en vooral bij oostenwind omdat die vaak droger is dan wind uit andere richtingen (Eppink, 1982). Ook de landbouwbewerkingen zelf, zoals ploegen en oogsten, kunnen een bijdrage leveren aan winderosie als ze worden uitgevoerd onder droge en winderige omstandigheden (Van Kerckhoven *et al.*, 2009). In Drenthe treedt er vooral winderosie op in aardappelvelden en bietenvelden (Riksen en De Graaff, 2001; Wagelmans, 2002).



Figuur 9.2 Stuifgevoeligheid, bepaald op basis van de bodemkaart 1:50.000, gecombineerd met bodemgebruik (Hack-ten Broeke *et al.*, 2009).

Totale areaal akkerbouwgronden met een matige gevoeligheid voor verstuiven bedraagt 190 500 ha. Hiervan ligt 90.000 ha in grote aaneengesloten gebieden in de Drents-Groningse en Overijsselse Veenkoloniale gebieden. Elders betreft het versnipperde terreinen in met name Brabant, Gelderland en Overijssel. Door de openheid en uitgestrektheid treedt er in de veenkoloniale gebieden meer verstuiving op dan in de meer beschutte terreinen elders in Nederland. De sterk gevoelige gronden beslaan een areaal van 4.500 ha, het betreft vooral de bollengronden met weinig lutum, leem en humus langs de kuststrook in Noord- en Zuid-Holland en verder verspreid liggende terreinen met droge leemarme zandgronden in Brabant, Gelderland en Overijssel. Figuur 9.3 geeft een voorbeeld van verstuiving in de Veenkoloniale gebieden.



Figuur 9.3 *Winderosie in de Veenkoloniën tijdens het voorjaar van 2013 (foto's Allard Hans Roest en Lidy Roest)*

Schattingen van de mate van winderosie geven aan dat winderosie van enige omvang (vijf tot tien dagen per jaar) één keer per drie tot vier jaar optreedt en ernstige winderosie met meer dan tien stofdagen per jaar een keer in de vijftien jaar (Eppink en Spaan, 1989). Eppink (1982) schatte dat voor die periode de directe korte termijn winderosieschade ongeveer negen miljoen euro per jaar bedroeg. Op basis van een inventarisatie bij boerenbedrijven in Exloërmond concludeerden Riksen en De Graaff (2001) dat winderosie significante schade berokkent als gevolg van afsnijden van gewas, verlies van zaailingen en het opvullen van sloten met zand. Zij concludeerden dat voor de suikerbieten- en koolzaadteelt de kosten per hectare ongeveer € 500 per vijf jaar bedragen.

Van alle gebieden in Nederland waar winderosie een probleem is, is het probleem het grootst in de Veenkoloniën. De gronden van het veenkoloniale gebied bestaan uit zand met een lutumarme bouwvoor. Weliswaar is het organisch stofgehalte tussen 5 en 15%, maar dit betreft veenresten die inert zijn en weinig binding geven aan het zand (Wagelmans, 2002; K.H. Wijnholds, Nieuw-Weerdinge; pers.med. 2011). Hierdoor vallen de kluiten snel uiteen onder invloed van regen en wind. Het percentage organische stof in de loop van de tijd afgenomen doordat mest vervangen is door kunstmest (Spaan *et al.*, 2006) en door een intensief bouwplan. Vanwege de bodemeigenschappen komen aardappels en suikerbieten veel voor. De grond-bewerking die voor deze gewassen nodig is, verhoogt de kans op winderosie, en ook de gewassen zelf bieden weinig bescherming tegen winderosie (Wagelmans, 2002). Vijftig jaar geleden werden er meer verschillende gewassen verbouwd, vooral granen en wintergewassen, en was er ook meer grasland, zodat het erosiegevaar geringer was (Boersema en Procé, 1986).

Naast het type gewas zijn ook de grootte van de velden en het open karakter van het landschap factoren die het gebied gevoelig maken voor winderosie. Ernstige verstuiving treedt in Drenthe ongeveer eens in de 3-5 jaar op (Boersema en Procé, 1986; Wagelmans, 2002), waarbij de hoeveelheid verplaatste grond in zeer ernstige stuifjaren op kan lopen tot 50 ton/ha (Boersema en Procé, 1986). Zij schatten dat de jaarlijkse kosten voor opbrengstderving, herinzaai, onderhoud van sloten en wegen en verlies van bodemvruchtbaarheid voor de Veenkoloniën bij elkaar zo'n 7,5 miljoen euro per jaar bedragen. Deze schatting is exclusief eventuele kosten die gepaard gaan met bv. vervuiling en gezondheidsproblemen die het gevolg zijn van winderosie.

Ontwikkeling vraag over afgelopen 20 tot 25 jaar

Voor watererosie zijn verschillende ontwikkelingen die resulteren in een toenemende gevoeligheid voor overstromingen ('muddy floods'). Evrard *et al.* (2007) noemen bijvoorbeeld voor de lössgebieden in België: schaalvergroting, mechanisatie, omzetting van grasland in akkerland en de uitbreiding van zomergewassen ten koste van wintergranen. Deze ontwikkelingen zijn ook van toepassing op Nederland, zoals onder meer beschreven door Winterraeken en Spaan (2010), die daarnaast nog het verwijderen van graften en heggen noemen. In Zuid-Limburg neemt de laatste jaren het areaal grasland af, en het areaal akkerland toe (H. Winterraeken, Waterschap Roer en Overmaas; pers.med. 2013). Aan de andere kant is het areaal landbouwgrond dat gevoelig is voor watererosie afgenomen doordat er op steile hellingen geen akkerbouw meer is toegestaan. Andere factoren die van invloed zijn op de vraag zijn bijvoorbeeld compactie en klimaatverandering. Door compactie is de bodemstructuur verslechterd en het waterbergend vermogen van de bodem afgenomen (Spaan *et al.*, 2010). Klimaatverandering zou ook kunnen leiden tot hogere piekafvoeren (Spaan *et al.*, 2010). Deze ontwikkelingen hebben geresulteerd in het vaker voorkomen van overstromingen. Bovendien is er steeds meer infrastructuur en bebouwing gekomen, waardoor meer schade optreedt (H. Winterraeken, Waterschap Roer en Overmaas; pers.med. 2013), maar waardoor ook het areaal akkerland is afgenomen. Ook door realisatie van nieuwe natuur neemt het areaal landbouwgrond af, omdat de meest erosiegevoelige plekken vaak ook het meest interessant zijn voor natuurontwikkeling en het minst interessant voor landbouw (P. Geelen, Provincie Limburg; pers.med, 2013).

Volgens Riksen *et al.* (2003) is het gevaar van winderosie in Noordwest-Europa, en daarmee ook in Nederland, sinds de jaren vijftig van de 20^e eeuw toegenomen door veranderingen in management, zoals intensivering, grotere percelen, intensiever gebruik van machines en het verwijderen van heggen. Sinds

de jaren negentig is het probleem in Nederland echter afgenomen door zowel erosiebestrijdingsmaatregelen als door veranderd landgebruik, al dan niet onder invloed van regionale verordeningen. Het uitrijden van drijfmest was in de jaren negentig een zeer effectieve maatregel die boeren snel konden toepassen wanneer de weersvooruitzichten een verhoogde kans op winderosie liet zien. Met het aanscherpen van de mestwet in 2010 is deze maatregel niet langer toegestaan. Omdat alternatieve maatregelen onvoldoende effectief zijn is er de laatste jaren daarom een toename van winderosieschade in met name de Veenkoloniën.

Aanbod

In dit hoofdstuk van het rapport beperken we ons tot erosie op akkerland (vraag), en daarmee ook tot erosiebestrijding op akkerland (aanbod). Het is waarschijnlijk dat een deel van het aanbod dat bestaat voor akkerland zijn oorsprong heeft in andere landgebruiken. Zo zal bijvoorbeeld een bos luwte kunnen geven voor naastgelegen akkers, zodat winderosie daar minder zal zijn. Ook kan de aanwezigheid van bossen regionaal de gemiddelde windsnelheid verlagen. Dit type aanbod kunnen we echter in het huidige rapport niet meenemen omdat hiervoor een ruimtelijke analyse nodig is. Daarom richten we ons op aanbod dat geleverd wordt door het agrarische ecosysteem. Er bestaat een groot aantal mogelijke maatregelen om erosie door water en wind tegen te gaan in akkerland. Welke het meest toepasbaar zijn hangt af van de specifieke situatie, en wordt bepaald door biofysische factoren in combinatie met socio-economische factoren. Voor de Nederlandse situatie is er al een aanzienlijke hoeveelheid werk verricht wat betreft het beschrijven van maatregelen die vanuit technisch oogpunt geschikt zijn om erosie door water en wind tegen te gaan. Deze maatregelen worden vaak onderverdeeld in teeltmaatregelen en inrichtingsmaatregelen. Tabel 9.1 geeft een overzicht van de belangrijkste maatregelen en laat tevens zien welke maatregelen wij als ecosysteemdienst beschouwen, welke als substitutie en welke moeilijk zijn in te delen.

Het bestrijden van watererosie richt zich op (i) het verlagen van de snelheid van afstromend water en (ii) het vasthouden van water in het gebied. Het bestrijden van overlast van watererosie wordt bereikt door het aanleggen van retentiebekkens. Door een combinatie van beheers- en inrichtingsmaatregelen zijn de oorzaken en gevolgen van watererosie in Nederland voor een groot deel te beperken (De Roo *et al.*, 1995, Stolte *et al.*, 1999). Overlastbestrijding wordt als een belangrijker reden gezien om maatregelen te treffen dan aantasting van de productiefunctie van de bodem (Maring *et al.*, 2008) en off-site-effecten zijn meestal groter dan on-site-effecten (Spaan *et al.*, 2010). Geelen (2006) beschreef een aantal maatregelen die getroffen zouden kunnen worden in Zuid-Limburg en in de Vlaamse Lössgebieden. Deze maatregelen betreffen zowel teeltmaatregelen (gewaskeuze, aanvullende bodembedekking, grondbewerking en bemesting) als inrichtingsmaatregelen (beperken snelheid afstroming, watergeleiding en tijdelijke opvang) (zie tabel 9.1).

Maatregelen ter preventie van winderosie zijn gericht om de grond bedekt te houden, de cohesie van de grond te verhogen of om de windsnelheid te verlagen. Maatregelen zoals windsingels zijn tevens bedoeld zijn om het eventueel geërodeerde zand in te vangen. Er bestaan verschillende maatregelen die gebruikt kunnen worden om winderosie tegen te gaan, zoals minimaal ploegen, gewasrotatie, heggen, windsingels en het bedekken van de kale bodem (Riksen *et al.*, 2003). Het bedekt houden van de grond in de winterperiode is mogelijk door het toepassen van een wintergewas of groenbemester. Een praktisch probleem dat hierbij optreedt, is dat de oogst van sommige gewassen dusdanig laat in het seizoen is, dat een goede opkomst van een nagewas niet meer mogelijk is. Hierdoor zullen deze percelen gedurende de winterperiode kaal blijven. Een ander systeem is het opbrengen van een beschermingslaag ter voorkoming van winderosie (b.v. papierpulp) of de cohesie van de grond te vergroten door het verhogen van het organisch stofgehalte (Wagelmans, 2002). Voor de lange termijn is het verkleinen van de percelen, het aanbrengen van windsingels en het omzetten van akkerland in grasland een oplossing. Al deze maatregelen hebben een effect op de bedrijfsvoering en zijn niet altijd gewenst of mogelijk.

Tabel 9.1

Besproken maatregelen tegen erosie. De maatregelen tegen watererosie zijn samengevat uit Geelen (2006). Winderosiemaatregelen zijn onder andere gebaseerd op Wagelmans (2002) en Maring et al. (2008).

	Water of wind ¹	Oorzaak of gevolg ²	Ecosysteem	Mengvorm ³	Substitutie	Reden/Opmmerking
Teeltmaatregelen						
Gewaskeuze						
Ander landgebruik met permanente bodembedekking	Water, wind	Oorzaak	X			Mits minder erosie
Ander voedergewas	Water, wind	Oorzaak	X			Mits minder erosie
Ander akkerbouwgewas	Water, wind	Oorzaak	X			Mits minder erosie
Vervroegen oogst en daarna groenbedekker	Water	Oorzaak	X			Vergroot de kans dat groenbedekker na oogst aanslaat
Nauwere rijafstand	Water	Oorzaak	X			Betere bedekking
Groenbedekker/groenbemester	Water, wind	Oorzaak	X			Zorgt voor bodem bedekking in perioden waarin er geen hoofdgewas op het veld staat en heeft positief effect op bodem leven en structuur
Bodembedekking						
Beperken zwartstrook	Water	Oorzaak	X			Betere bedekking
Gewasresten op veld laten	Water, wind	Oorzaak	X			Indirect door positief effect op bodemleven en structuur
Stro opbrengen	Water, wind	Oorzaak	X			Indirect door positief effect op bodemleven en structuur
Verankeren stro	wind	Oorzaak		X		Geen effect leven
Inzaaien gerst in combinatie met langzaam opkomend hoofdgewas	Wind	Oorzaak	X			Betere bedekking in periode dat hoofdgewas geen of onvoldoende bodembescherming biedt
Papiercellulose	Wind	Oorzaak		X		Geen effect leven
Drijfmest	Wind	Oorzaak		X		Geen effect leven, niet meer toegestaan vanwege ammoniak
Veld afdekken met plastic of kiemdoek	Wind	Oorzaak		X		Geen effect leven
Grondbewerking						
Niet kerende bewerking	Water	Oorzaak	X			positief effect op bodemleven en structuur
Direct zaai	Water, wind	Oorzaak	X			positief effect op bodemleven en structuur, stabilere bodem
Geen bewerking	Water, wind	Oorzaak	X			positief effect op bodemleven en structuur, stabilere bodem
Bodembewerking dwars op meest erosieve windrichting	Wind	Oorzaak		X		Alleen effect op de windsnelheid aan de bodem
Bodem ruw bewerken	Wind	Oorzaak		X		Ploegen al dan niet in combinatie met aandrukken waarbij een hoge oppervlakte ruwheid wordt gecreëerd die de windsnelheid aan de bodem vermindert
Drempeltjes	Water	Gevolg		X		Geen effect leven
Wielsporen lostrekken	Water	Oorzaak/Gevolg		X		Geen effect van leven, mogelijk wel op leven
Losmaken na oogst	Water	Oorzaak		X		Geen effect van leven, mogelijk wel op leven

Riksen *et al.* (2001) geven een overzicht van maatregelen tegen winderosie die binnen Europa gebruikt worden, van het effect van die maatregelen en van de mate van adoptie. Zij maken een onderscheid in vier typen maatregelen:

1. Beperken windsnelheid, bv. door strokenverbouw, windsingels en groenbemesters.
2. Bodemstabilisatie en bodemruwheid, bv. door grondbewerking op een andere manier uit te voeren.
3. Bodembescherming door bv. mulch of plastic.
4. Risico mislukken oogst verkleinen door bv. gewaskeuze en landgebruiksverandering.

Er is veel informatie beschikbaar over maatregelen die toegepast zouden kunnen worden, en er is ook informatie over welke maatregelen daadwerkelijk worden toegepast, en in mindere mate over de arealen waarop die maatregelen worden toegepast. De meest onzekere factor is vooral in welke mate de toegepaste maatregelen erosie daadwerkelijk beperken, met andere woorden: hoe effectief zijn de maatregelen. De effectiviteit van verschillende maatregelen is voor watererosie in Zuid-Limburg wel modelmatig geschat (bv in De Roo *et al.*, 1995), maar in hoeverre die schattingen betrouwbaar zijn, is niet duidelijk.

Wat de arealen betreft kan er voor watererosie in Zuid-Limburg het een en ander afgeleid worden uit landgebruiksgegevens. Dit omdat er bepaalde verplichtingen tot het nemen van maatregelen gelden. Vier maatregelen worden algemeen erkend als goed tegen erosie: Niet kerende grondbewerking, wintergraan, buffer en aardappeldrempels (J.Tobben, LLTB; pers med 2014). Als een boer geen van deze maatregelen neemt, is hij verplicht zich te houden aan de erosieverordening. Niet kerende grondbewerking wordt algemeen toegepast op hellingen van meer dan 2% bij de teelt van akkerbouwgewassen, met uitzondering van wintertarwe. Daardoor wordt eigenlijk het hele Zuid-Limburgse akkerbouwareaal inclusief mais, maar exclusief wintergranen niet-kerend bewerkt. Daarnaast wordt op het areaal mais en granen een bodembedekker geteeld (P.Geelen, Provincie Limburg; pers med 2013).

De Roo *et al.* (1995) presenteren metingen die laten zien dat verschillende manieren van bodembewerking kunnen leiden tot erosiereducties tot 90% ten opzichte van de huidige praktijk. Ook geven ze uitkomsten van het LISEM-model, die aangeven dat door middel van (combinaties van) maatregelen bodemverlies ten opzichte van de huidige praktijk af zou kunnen nemen met 0-96%. Geelen (2006) laat zien dat het toepassen van erosiebeperkende maatregelen in snijmais hebben geleid tot reducties van 44-91%, en voor bieten tot reducties van 69-92%. Ook geeft Geelen (2006) informatie over erosiebeschermingspunten, die op basis van eerder onderzoek variëren voor verschillende beschermingsmaatregelen (tabel 9.2). Erosiebeschermingspunten dienen vergeleken te worden met erosiegevoeligheidspunten (zie Geelen, 2006) om te bepalen of bescherming voldoende is.

Tabel 9.2

Erosiebeschermingspunten voor verschillende maatregelen. Hogere waardes duiden betere bescherming aan (Geelen, 2006).

Maatregel	Punten
Zaaian bij nauwere rijafstand	10
Groenbedekker in de winter	25
Groenbedekker als onderzaai in gewas	25
Gewasresten achterlaten na oogst	10-15 (afh gewas)
Strodek in voorjaar	75
Niet kerende grondbewerking	25
Niet kerende grondbewerking met bodembedekker	25 (& punten voor bodembedekker)
Direct zaai in bodembedekker	50 (& punten voor bodembedekker)
Geen grondbewerking	60
Drempeltjes bij ruggenteelt	25
Wielsporen lostrekken in voorjaar	10
Bodemverdichting ongedaan maken na oogst	10

Wat de effectiviteit betreft is het belangrijk te beseffen dat erosiebestrijding erosie nooit helemaal kan voorkomen. Met name als er zich extreme omstandigheden voordoen zal er erosie op blijven treden, waarbij de effectiviteit van maatregelen over het algemeen geringer is naarmate de omstandigheden

extremer zijn. Voorkomende erosiegebeurtenissen zijn moeilijk vergelijkbaar, en de variatie per jaar is ook groot. Daarnaast hangt de effectiviteit van maatregelen ook in sterke mate af van of ze goed zijn toegepast, wat afhangt van motivatie, kennis en materieel (P.Geelen, Provincie Limburg; pers med, 2013). Zoals eerder aangegeven beïnvloeden ook het type maatregel en het gewas het mogelijke effect.

Voor winderosie geldt min of meer hetzelfde als voor watererosie, behalve dat er geen regelgeving is die bepaalde maatregelen voorschrijft. Wel worden bijvoorbeeld alle stuifgevoelige gronden in de Veenkoloniën ingezaaid met een groenbemester. Ook voor winderosie is het effect van verschillende maatregelen verschillend, en is er grote variatie van jaar tot jaar.

Tabel 9.3 geeft schattingen gebaseerd op expert opinion. Zoals tabel 9.3 laat zien is het van belang om onderscheid te maken tussen het areaal waar maatregelen worden toegepast, en de effectiviteit van maatregelen. Met name vanwege het feit dat het opbrengen van dierlijke mest ter bestrijding van winderosie niet langer is toegestaan, wordt de effectiviteit van maatregelen tegen winderosie lager ingeschat die de effectiviteit van maatregelen tegen watererosie.

Tabel 9.3

Maatregelen tegen erosie.

	Percentage erosiegevoelige gronden waarop maatregelen worden toegepast	Percentage reductie in erosie door toepassen van maatregelen	Belangrijkste maatregelen met areaal waarop toegepast
Watererosie	100% want indirect verplicht in Zuid-Limburg (verreweg het grootste areaal erosiegevoelige gronden met 16000 ha akkerbouw)	0-95%, gemiddelde geschat op 75%, maar met grote onzekerheid	Niet kerende grondbewerking 60% (alle gewassen behalve wintergraan), wat minder bodembedekking in de winter (voor mais en wintergranen)
Winderosie	100% (groenbemester)	50% (grote onzekerheid)	Groenbemester (100%), inzaaien gerst (onbekend %), papiercellulose (onbekend %)

Ontwikkeling aanbod in afgelopen 20-25 jaar

Sinds de jaren tachtig van de 20^e eeuw krijgt watererosiebestrijding in Nederland meer aandacht, vooral in Zuid-Limburg. Het initiatief om erosie te bestrijden kwam van de boeren zelf (Spaan *et al.*, 2010), en vanaf 1987 (streekplan Zuid-Limburg) neemt erosiebestrijding ook een belangrijke plaats in binnen het beleid van de provincie Limburg. Spaan *et al.* (2010) beschrijven de ontwikkeling van beleid om erosie in Zuid-Limburg te bestrijden. Erosie wordt gezien als een proces dat bij de streek hoort en dus niet volledig voorkomen kan worden. Het doel van beleid is om wateroverlast en erosie te beperken tot maatschappelijk aanvaardbare proporties (H. Winteraeken, Waterschap Roer en Overmaas; pers.med. 2011). Als norm wordt gehanteerd dat er maximaal eens in de 25 jaar overlast mag zijn (P. Geelen, Provincie Limburg; pers.med. 2011). Voor watererosie zijn er ook diverse relevante wetten en verordeningen, zoals beschreven in Hessel *et al.* (2011).

Daarnaast worden er in Zuid-Limburg ook maatregelen genomen op specifieke locaties (knelpuntgerichte aanpak). Waterschap en gemeentes zijn verantwoordelijk voor (Kwaad *et al.*, 2006): a) lijnvormige elementen in het landschap, zoals grasstroken en bermen, b) grassed waterways (met gras beplante afvoerkanalen), c) grasstroken langs wegen en retentiebekkens. Het waterschap Roer en Overmaas heeft ongeveer 350 retentiebekkens gebouwd (H. Winteraeken, pers.med. 2011), al zijn er nog wel veel toevoer-voorzieningen nodig. Het belangrijkste doel van deze bekkens is om schade aan bebouwing en infra-structuur te voorkomen (Winteraeken en Spaan, 2010). Erosiebestrijding krijgt dus veel aandacht in Limburg, waar maatregelen zijn geformuleerd op basis van samenwerking tussen provincie, waterschappen, gemeenten en LLTB. Er worden dus meer erosiebeschermdende maatregelen gebruikt dan 20-25 jaar geleden. Het toepassen van meer bodemconserveringsmaatregelen is het gevolg van het maatschappelijk bewustzijn van de sector; boeren zien in dat erosie een probleem is en dat iedereen een bijdrage moet leveren aan het oplossen van het probleem. Daarnaast zijn deze maatregelen goed toepasbaar in de landbouwpraktijk en bedrijfsvoering (kosteneffectief, opbrengsten voldoende), al vergen ze aanzienlijke inspanningen en

investeringen vanuit de sector met stimulering van provincie en waterschap. De toegepaste maatregelen hebben er voor gezorgd dat het erosieprobleem in Zuid-Limburg meer en meer verworden is tot een wateroverlast probleem. Hevige buien zorgen nog steeds voor overlast, maar door afgenomen sedimentgehalten is dit nu meer wateroverlast dan modderoverlast (P. Geelen, Provincie Limburg; pers.med. 2013). Ook in het gebied rond Groesbeek worden maatregelen toegepast. De genomen maatregelen in deze gebieden lijken, mits volledig geïmplementeerd, voldoende, al kunnen ze erosie niet helemaal voorkomen. Door een afname in off-site-overlast lijkt de aandacht voor on-site-degradatie echter te verslappen (P. Geelen, pers.med. 2013).

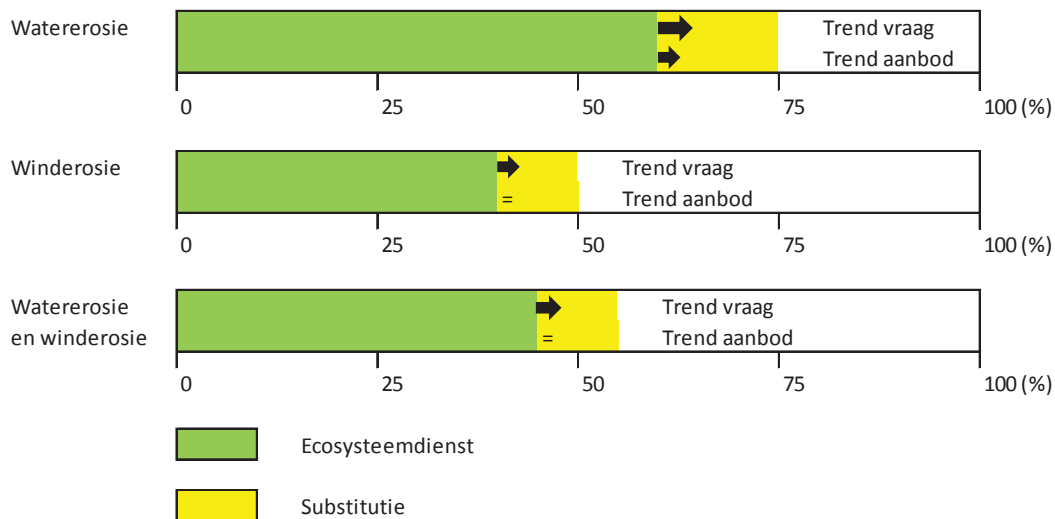
Er worden ook maatregelen tegen winderosie getroffen, maar dit wordt meer aan de boeren zelf overgelaten dan het geval is voor watererosie. Omdat deze maatregelen veelal niet opgelegd worden en omdat de maatregelen zelf vaak economisch niet uit kunnen voor gewassen die relatief weinig opbrengen, is deze toepassing van maatregelen minder structureel dan voor watererosie. Voor het gebruik van sommige middelen tegen winderosie is een ontheffing nodig. Er bestond bijvoorbeeld tot 2010 een uitzondering die het mogelijk maakte om dierlijke mest op te brengen om winderosie tegen te gaan. Deze uitzonderingspositie is echter in 2010 vervallen voor gebieden met een veenkoloniaal bouwplan, met de redenering dat er inmiddels verschillende alternatieve bestrijdingsmethoden beschikbaar zijn, zoals het afdekken met cellulose en het inzaaien van zomergerst (Bakker *et al.*, 2010). Uit de ervaringen sinds 2010 blijkt echter dat deze alternatieve maatregelen het opbrengen van dierlijke mest niet volledig kunnen vervangen.

Uit verschillende onderzoeken (bv. Eppink en Spaan, 1989; Wagelmans, 2002) blijkt dat windsingels in de Veenkoloniën weinig tot geen draagvlak hebben, terwijl deze maatregel wel effectief is tegen winderosie. In Nedersachsen (Duitsland) bijvoorbeeld (Rixsen en de Graaff, 2001) en op de zandgronden in Noord-Brabant en Limburg (Eppink en Spaan, 1982) is winderosie tot acceptabele proporties teruggebracht door de aanleg van windsingels. De nadruk die in de Veenkoloniën wordt gelegd op het belang van het handhaven van een open landschap is dan ook vanuit het oogpunt van winderosiebestrijding ongunstig. Hetzelfde geldt voor het verbod op het gebruik van dierlijke mest om winderosie te bestrijden. De huidige maatregelen tegen winderosie zijn dan ook niet voldoende om verstuiving effectief tegen te gaan.

Samenvatting vraag, aanbod en trends

In de voorgaande secties zijn vraag, aanbod trend in vraag en trend in aanbod apart besproken. Figuur 9.4 vat de informatie uit die secties samen en laat zien hoe de verhouding tussen vraag en aanbod is. Het in figuur 9.4 getoonde aanbod houdt rekening met zowel het areaal waar maatregelen toegepast zijn als met de effectiviteit van die maatregelen. Tabel 9.3 laat zien dat we effectiviteit van maatregelen tegen winderosie anders inschatten dan die van maatregelen tegen watererosie, als gevolg hiervan is het aanbod voor winderosie geringer. Het aanbod is tevens op basis van 'expert opinion' onderverdeeld in aanbod door ecosysteemdiensten, en aanbod door substitutie. Onze inschatting is dat het grootste deel van het aanbod door ecosysteemdiensten wordt geleverd. Dit vooral omdat de meest algemeen toegepaste maatregelen (zoals vermeld in tabel 9.3) voor het grootste deel als ecosysteemdienst worden geclassificeerd in tabel 9.1. Figuur 9.4 geeft tevens door middel van pijlen en '=' tekens informatie over de trend in vraag en aanbod.

Voor winderosie zien wij, vooral omdat het opbrengen van dierlijke mest om winderosie te bestrijden niet langer is toegestaan, een afname in het totale aanbod. Omdat het opbrengen van dierlijke mest onder substitutie valt (tabel 9.1) schatten wij echter in dat erosiebescherming door ecosysteemdiensten voor winderosie redelijk constant is, terwijl erosiebescherming door substitutie een afname laat zien. Wat voor trend er gevonden wordt voor de vraag hangt met name ook af van de tijdschaal waar we naar kijken, en naar hoe we onderscheid maken tussen een toename in vraag en een afname in aanbod. Zo kunnen bijvoorbeeld de in sectie '*Ontwikkeling vraag over afgelopen 20 tot 25 jaar*' genoemde factoren zoals intensivering, mechanisatie en grotere percelen gezien worden als een toename in vraag, maar tevens als een afname in aanbod. Daarnaast is het ook de vraag in hoeverre die ontwikkelingen nog steeds doorgaan. Klimaatveranderingen zouden ook kunnen leiden tot meer winderosie, vooral als die veranderingen leiden tot langere droge periodes en/of harder wind. Echter, de huidige klimaatscenario's laten weinig tot geen effect zien op winderosie. Daarom schatten wij het aanbod voor winderosie in als licht stijgend.



Figuur 9.4 Trend in vraag en aanbod voor erosiebestrijding.

Voor watererosie verwachten we een toename in vraag, mede als gevolg van klimaatverandering die naar verwachting zal leiden tot heftiger buien. Net als voor winderosie zijn er ook andere factoren die over een langere tijdschaal hebben gezorgd voor een toename in de vraag, zoals schaalvergroting, mechanisatie, landgebruiksverandering en verdichting. We verwachten echter ook een toename in het totale aanbod. Er worden al veel maatregelen toegepast die vallen in de categorie ecosysteemdienst, zoals bodembedekker en niet kerende grondbewerking, zodat we voor dit type maatregelen inschatten dat het aanbod gelijk blijft. Zoals beschreven in sectie over vraag en aanbod in de afgelopen 20 tot 25 jaar zijn er echter ook trends die erosiebestrijding door ecosysteemdiensten vergroten, zoals het niet langer voor akkerbouw gebruiken van de steilste hellingen. Daarom verwachten we een lichte toename in het aanbod door ecosysteemdiensten, maar een sterkere toename in het aanbod door substitutie (bv opvangbekkens). De onzekerheid in deze schattingen is echter groot. Aangezien het areaal dat gevoelig is voor winderosie zo'n vijfmaal groter is dan het areaal gevoelig voor watererosie (200.000 ha versus 40.000 ha), wordt het aanbod voor watererosie en winderosie gecombineerd vooral bepaald door de waarden voor winderosie.

Betrouwbaarheid

Categorie D (matig): schatting, gebaseerd op een aantal metingen, expert judgement, een aantal relevante feiten of gepubliceerde bronnen terzake.

Resultaten beschreven in dit hoofdstuk zijn een schatting, gebaseerd op een aantal metingen, expert judgement, en een aantal relevante feiten of gepubliceerde bronnen terzake. Exacte gegevens zijn heel moeilijk te verkrijgen en men kan zelfs in twijfel trekken of die wel bestaan aangezien erosie een zeer variabel proces is, zowel in ruimte als in tijd. Dit bepaalt niet alleen de effectiviteit van maatregelen, maar ook deels de mate waarin maatregelen worden genomen. Zo zullen boeren in de Veenkoloniën minder geneigd zijn om preventieve maatregelen te nemen als er een aantal jaren achtereen geen of weinig erosie is opgetreden. Daarnaast hangt de effectiviteit van maatregelen af van vele factoren, waaronder weersomstandigheden maar ook van de manier waarop bepaalde maatregelen zijn toegepast.

Volledigheid

Categorie A (volledig): bevat alle aspecten en is volledig.

Volgens CICES gaat het om het tegen gaan van erosie door vegetatie van terrestrische ecosystemen, kust- en zee ecosystemen. In dit hoofdstuk is vooral gefocused op landbouw ecosystemen. Kustbescherming wordt als een aparte dienst beschreven in hoofdstuk 11. In die zin worden alle voor Nederlandse situatie relevante gebieden waar wind- en water erosie optreed meegenomen.

Kanttekening is wel dat in Nederland in natuurgebieden juist te weinig natuurlijke processen zoals erosie en sedimentatie optreden. Het areaal stuifzanden en duinen is in de loop van de tijd daardoor afgenomen en ook de biodiversiteit is daardoor achteruit gegaan.

Dankwoord

Wij bedanken Harrie Winteraeken (Waterschap Roer en Overmaas), Paul Geelen (Provincie Limburg) en John Tobben (Limburgse Land- en Tuinbouwbond, LLTB) voor de informatie over watererosie in Zuid-Limburg, en Aike Maarsingh (Land- en Tuinbouw Organisatie Nederland, LTO) & Jasper Roest voor informatie over winderosie in het Veenkoloniale gebied. Vanzelfsprekend zijn wij zelf verantwoordelijk voor de interpretatie van de geleverde gegevens.

9.4 Literatuur

- Bakker, G., M.J.D. Hack-ten Broeke, F. de Vries en J.J.H. Van den Akker (2010). Basismateriaal voor eventuele prioritaire gebieden - Quick Scan voor Drenthe. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1964.
- Boersema, J. en C. Procé (1986). Wind-erosie, een onderschat probleem. Noorderbreedte, themanummer 'Grond', pp. 252/253.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp (1995). Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften. Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch document 19D.
- Eck, W. van, D. Slothouwer, J.B. Sprik en G.F.P. IJkelstam (1995). Erosienormeringsonderzoek Zuid-Limburg: Kosten en baten van erosiebestrijdingsmaatregelen in Zuid-Limburg. DLO-Staring Centrum, Wageningen. Rapport 364.2.
- Eppink, L.A.A.J. (1982). A survey of wind and water erosion in the Netherlands and an inventory of Dutch erosion research. Report Dept. of Land and Water Use 59. Agricultural University Wageningen, the Netherlands.
- Eppink L.A.A.J. en W.P. Spaan, 1989. Agricultural wind erosion control measures in the Netherlands. Soil Technology Series 1: pp. 1-13
- Evrard, O., C.L. Bielders, K. Vandaele en B. van Wesemael (2007). Spatial and temporal variation of muddy floods in central Belgium, off-site impacts and potential control measures. *Catena* 70, pp. 443-454.
- Geelen, P.M.T.M (2006). Handboek Erosiebestrijding. Interregproject Erosiebestrijding. Provincie Limburg (B), Hasselt, 100 pp.
- Goossens, D. (2004). Wind erosion and tillage as a dust production mechanism on North Europe farmland. In: Goossens en Riksen (Eds.). Wind erosion and dust dynamics: observation, simulations, modelling. ESW Publictaions, Wageningen, the Netherlands.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., C.L. van Beek, T.Hoogland, M.Knotters, J.P. Mol-Dijkstra, R.L.M. Schils, A. Smit en F. de Vries (2009). Kaderrichtlijn Bodem; Basismateriaal voor eventuele prioritaire gebieden. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2007.
- Hessel, R., Stolte, J. en Riksen, M. (2011). Huidige maatregelen tegen water- en winderosie in Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 2131.
- Kerckhoven, S. van, M. Riksen en W. Cornelis (2009). Afbakening van gebieden gevoelig aan winderosie in Vlaanderen. Faculteit Bio-Ingenieurswetenschappen, Universiteit Gent, 79 pp.
- Kwaad, F.J.P.M., M. van der Zijp en P.M. van Dijk (1998). Soil conservation and maize cropping systems on sloping loess soils in the Netherlands. *Soil & Tillage Research* 46, pp. 13-21.
- Kwaad, F.J.P.M., A.P.J. de Roo en V.G. Jetten (2006). The Netherlands. Ch 1.31 in: Boardman, J., J.Poesen (Eds) *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons, Chichester, England, pp. 413-426.
- Maring, L., P. van Gaans en A. Niessen (eds) (2008). Prioritaire gebieden bodembeheer in Nederland – waar hebben we het over in de Europese Richtlijn Bodem. Intiatiefgroep prioritaire gebieden Europese Richtlijn Bodem, Utrecht, 63 pp.

-
- Riksen, M.J.P.M. en J. de Graaff (2001). On-site and off-site effects of wind erosion on European light soils. *Land Degrad. Develop.* 12: pp. 1-11.
- Riksen, M., F.Brouwer en J. de Graaff (2003). Soil conservation policy measures to control wind erosion in Northwestern Europe. *Catena* 52, pp. 309-326.
- Roo, A.P.J. de (1991). The use of ¹³⁷Cs as a tracer in an erosion study in South Limburg (the Netherlands) and the influence of Chernobyl fallout. *Hydr. Processes* 5: pp. 215-227
- Roo, A.P.J. de, P.M. van Dijk, C.J. Ritsema, N.H.D.T. Cremers, J. Stolte, K. Oostindie, R.J.E. Offermans, F.J.P.M. Kwaad en M.A. Verzandvoort (1995). Erosienormeringsonderzoek Zuid-Limburg, veld- en simulatiestudie. DLO-Staring Centrum rapport 364.1. Vakgroep Fysische Geografie, Universiteit Utrecht / Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde, Universiteit van Amsterdam / DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Roo, A.P.J. de, R.J.E. Offermans en N.H.D.T. Cremers (1996). LISEM: A single-event physically-based hydrological and soil erosion model for drainage basins. II: Sensitivity analysis, validation and application. *Hydr. Processes* 10: pp. 1119-1126.
- Schouten, C.J., M.C. Rang en P.M.J. Huigen (1985). Erosie en wateroverlast in Zuid-Limburg. *Landschap* 2: pp. 118-132.
- Spaan, W.P., H.J. Winteraeken en M.J.P.M. Riksen (2006). Dutch policy and practices on erosion control: Then and now. *Archives of Agronomy and Soil Science* 52, pp. 233-241.
- Spaan, W., H. Winteraeken en P. Geelen (2010). Adoption of SWC measures in South Limburg (The Netherlands): Experiences of a water manager. *Land Use Policy* 27, pp. 78-85.
- Stolte, J., C.J. Ritsema en T. Li (1999). Invloed van verschillende landinrichtingsscenario's op de bodem- en waterafvoer in het zuidelijk deel van de ruilverkaveling Groesbeek. DLO-Staring Centrum, Wageningen. Rapport 644.
- Stolte, J., R. Hessel en C.J. Ritsema (2005). Bodemerosie. *Leidraad Bodemsanering* 5200, afl 64, juni 2005. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiene, Directie Bodem, Water, Stoffen.
- Verstraeten, G., J. Poesen, D. Goossens, K. Gillijns, C. Bielders, D. Gabriels, G. Ruysschaert, M. van den Eeckhout, T. Vanwallegem en G. Govers (2006). Belgium. Ch 1.30 in: Boardman, J., J. Poesen (Eds) *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons, Chichester, England, pp. 385-411.
- Wagelmans, M. (2002). Ontwikkeling van beleid ter bestrijding van winderosie. Bioclear BV, 32 pp.
- Winteraeken, H.J. en W.P. Spaan (2010). A new approach to soil erosion and runoff in South Limburg - the Netherlands. *Land Degradation and Development* 21, pp. 1-7.