

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Kennisnetwerk OBN

Noodzaak en lokalisering van
bufferstroken rond Natura 2000-
gebieden in het Heuvelland



provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



 VBNE

Noodzaak en lokalisering van bufferstroken rond Natura 2000- gebieden in het Heuvelland

R.W. de Waal
R.J. Bijlsma
R. Hessel
P.W.F.M. Hommel
J. Kros
H.T.L. Massop
G.J. Noij





© 2017 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapport nr. 2017/OBN217-HE
Driebergen, 2017

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van de provincie Limburg, BIJ12 en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de VBNE onder vermelding van code 2017/OBN217-HE en het aantal exemplaren.

Oplage	40 exemplaren
Samenstelling	R.W. de Waal R.J. Bijlsma R. Hessel P.W.F.M. Hommel J. Kros H.T.L. Massop G.J. Noij Allen werkzaam bij Wageningen University and Research
Foto voorkant	Bufferstrook langs Savelsbos (Rein de Waal, 2016)
Druk	KNNV Uitgeverij/KNNV Publishing
Productie	Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE) Adres : Princenhof Park 9, 3972 NG Driebergen Telefoon : 0343-745250 E-mail : info@vbne.nl

Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, PAS, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

In het kader van Natura 2000 worden in Europees perspectief zeldzame soorten en vegetatietypen in Nederland beschermd. In het Heuvelland liggen acht Natura 2000-gebieden. In deze gebieden worden habitattypen en andere natuurwaarden op hellingen grenzend aan landbouwpercelen negatief beïnvloed door toestroom van voedselrijk water en sediment waardoor verruiging toeneemt en kansen voor behoud en uitbreiding van karakteristieke soorten afnemen. Dit kan leiden tot randzones van vegetaties die niet (meer) kwalificeren als habitatype en daarmee tot verslechtering in de zin van de Habitatrictlijn.

Het ontbreekt aan kennis hoe bufferzones voor deze randproblematiek eruit moeten zien en hoe effectief deze zijn. Er is behoefte aan deze kennis omdat de Natura 2000-gebieden ook door andere oorzaken onder druk staan en maatregelen voor herstel in samenhang effectief en efficiënt moeten worden uitgevoerd. Daarom heeft de provincie Limburg het OBN gevraagd onderzoek uit te voeren. Dit onderzoek bestaat uit een quick scan van aanwezige kennis, het beschrijven en classificeren van erosieprocessen rond en in Natura 2000-gebieden, het uitvoeren van een veldstudie naar 10-15 jaar oude bufferzones en een expertschatting van opties voor aanleg en inrichting van nieuwe bufferzones.

U krijgt in dit rapport antwoord op de vraag waar de risico's op erosie het grootst zijn in het Heuvelland (zie figuur 4.6 op blz 80), en een evaluatie van hoe de huidige bufferstroken werken. Daarnaast worden de maatregelen uitgewerkt om de instroom van met nutriënten verrijkt water en sediment in een natuurgebied te voorkomen. Daarbij gaat het over maatregelen die betrekking hebben op de bron(nen) in het agrarisch gebied zelf.

Langs en in Natura 2000-gebieden kunnen maatregelen worden gekoppeld aan het stappenplan voor de beoordeling van effecten van erosie- en sedimentatieprocessen bij risicopunten. Het meeste perspectief bieden 1) de aanleg en het onderhoud van bufferstroken, 2) de aanleg van bufferzones rond de kop van grubben en 3) de aanpassing van paden en de padenstructuur.

Ik wens u veel leesplezier.

Teo Wams

Voorzitter van de OBN Adviescommissie

Inhoudsopgave

Samenvatting	7
Summary	10
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Relevante habitattypen	14
1.3 Doel van het onderzoek: kennisvragen	15
1.4 Erosie, runoff en andere termen	16
1.5 Opzet rapport en leeswijzer	16
2 Methoden	18
2.1 Ammoniakemissie en -depositie	18
2.1.1 Sturende processen/factoren	19
2.1.2 Gebruikte GIS-bestanden/modellen	19
2.1.3 Drempelwaarden	22
2.2 Erosiegevoeligheid	23
2.2.1 Het concept 'versnelde bodemerosie'	23
2.2.2 Het bodemerosie- en sedimentatieproces	24
2.2.3 Hoofdtypen van bodemerosie in Zuid-Limburg in relatie tot schaal en intensiteit van erosie en sedimentatie	25
2.2.4 Karteerbare kenmerken	30
2.2.5 Toelichting bij de vervaardiging van de erosiegevoeligheidskaart	32
2.2.6 Toelichting bij de vervaardiging van de invanggebiedenkaart	38
2.2.7 Winderosie	39
2.3 Bouwstenen voor de beschrijving van bodemerosie en sedimentatie	40
2.3.1 Inleiding op het concept 'bouwstenen' in relatie tot het veldwerk	40
2.3.2 Bouwstenen op de grens van landbouw- en natuurgebied	41
2.3.3 Bouwstenen binnen het Natura 2000-gebied	52
2.4 Effecten van erosie en sedimentatie op de vegetatie	55
2.5 Functionaliteit van (bodem)erosiebuffers	56
2.5.1 Inleiding en raamwerk	56
2.5.2 Breedte van de bufferstrook	58
2.5.3 Overige factoren en ontwerp-opties	59
3 Resultaten ammoniakemissie en -depositie	61
3.1 Ligging van landbouwbedrijven en -percelen	61
3.2 Bemesting en beweiding	62
3.3 Depositie op de Natura 2000-gebieden	65
3.4 Conclusies ammoniakemissie en -depositie	74

4 Resultaten erosiekaarten	75
4.1 Erosiegevoeligheidskaart	75
4.2 Invanggebiedenkaart	76
4.3 Risicopuntenkaart	81
5 Herkenning en beoordeling van typen van erosie en sedimentatie in het Heuvelland	85
5.1 Erosietypen in het Heuvelland	85
5.1.1 Sheet-erosie	85
5.1.2 Lineaire, insnijdende erosievormen: rills en gullies	90
5.1.3 Lineaire, insnijdende erosie: kloofvormige dalen of grubben	93
5.2 Beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen op gebiedsniveau	95
5.2.1 Overall scores voor combinaties van bouwstenen op de grens van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied	95
5.2.2 Overall scores voor combinaties van bouwstenen binnen Natura 2000-gebieden	96
5.2.3 Stappenplan voor de beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen op gebiedsniveau	97
6 Evaluatie van bufferstroken en toepassing van maatregelen	102
6.1 Evaluatie van bufferstroken	102
6.2 Maatregelen voor inrichting en beheer	104
6.2.1 Brongerichte maatregelen zijn het effectiefst	104
6.2.2 Inleiding op maatregelen langs en in Natura 2000-gebieden	105
6.2.3 Overzicht van maatregelen gekoppeld aan het stappenplan	106
6.2.4 Aanleggen van bufferstroken	106
6.2.5 Aanleggen van bufferzones rond de kop van grubben	109
6.2.6 Aanpassen van paden en de padenstructuur	111
6.2.7 Opvangen van sediment buiten of desnoods in het gebied	111
6.2.8 Doorvoeren van sediment door of langs het gebied	114
6.3 Antwoorden op de kennisvragen	115
7 Referenties	118
Bijlage 1: Verklarende termenlijst	123
Bijlage 2: Vertaaltabel bodemtypen naar erosiegevoeligheidsklassen	125
Bijlage 3: Vertaaltabel LGN7-codes naar erosiegevoeligheidsklassen	126

Samenvatting

Achtergrond en doel van het onderzoek

In de Natura 2000-gebieden in het Heuvelland worden habitattypen en andere natuurwaarden op hellingen grenzend aan landbouwpercelen negatief beïnvloed door toestroom van voedselrijk water en bodemmateriaal. Hierdoor neemt verruiging toe en nemen kansen voor behoud en uitbreiding van karakteristieke soorten af. Bij ernstige vormen van erosie kunnen kwalificerende groeiplaatsen verdwijnen, niet alleen door erosie zelf, maar ook doordat voedselrijk bodemmateriaal (sediment) laagten opvult en bronnen en bovenloopjes van beken onderdeel worden van erosiebanen. Bufferzones kunnen in potentie deze invloed beperken door directe inwaai en oppervlakkige toestroom van meststoffen en bodemmateriaal af te vangen. Dit rapport beschrijft:

1. hoe de instroom van nutriënten vanuit bovenliggende landbouwgronden kan worden beschreven en beoordeeld in relatie tot terrein- en vegetatiekenmerken;
2. hoe bufferzones (en meer in het algemeen: maatregelen om instroom te voorkomen, te beperken en/of te sturen) functioneren;
3. hoe maatregelen, beheervormen en vormen van landgebruik effectief kunnen worden toegepast om negatieve effecten van (bodem)erosie binnen en in de randzone van Natura 2000-gebieden in het Heuvelland tegen te gaan.

Het onderzoek heeft zich beperkt tot effecten op droge graslanden, ruigten en bossen op hellingen in het Heuvelland.

Een aantal veelgebruikte vaktermen wordt toegelicht in een bijlage. In het woordgebruik is doorgaans geen onderscheid gemaakt tussen runoff (afstroming van water over de bodem) en bodemerosie (de verplaatsing van bodemdeeltjes door het water) en wordt gesproken van erosie.

Beoordeling van depositie van regio-eigen ammoniakemissie

Hoewel het onderzoek vooral gericht is op effecten van bodemerosie en sedimentatie, is met het oog op de inrichting van bufferzones ook de bijdrage van ammoniakemissie binnen het Heuvelland beoordeeld (regio-eigen bijdrage). In deze studie is gebruik gemaakt van het model INITIATOR waarmee op gedetailleerde schaal ammoniakemissies en stikstofdeposities kunnen worden berekend, al dan niet in combinatie met brongerichte maatregelen. Om deze reden kunnen de gevonden overschrijdingen afwijken van waarden die bij PAS-gebiedsanalyses worden gehanteerd (die door Aerius zijn berekend op grond van landelijke emissies) en dienen daarom alleen gebruikt te worden in het kader van de bufferzone problematiek in het Heuvelland.

Uit de analyses blijkt dat emissie vanuit het Heuvelland zelf (vanuit de landbouw) voor ca. 20% bijdraagt aan depositie op de habitats in Natura 2000-gebieden. De grootste bijdrage vanuit de landbouw in het Heuvelland is afkomstig uit bemesting en beweiding (70%) tegen 30% door stal- en opslagemissie. Deze verhouding wijkt duidelijk af van het landelijk gemiddelde waarbij de bijdrage gelijk is verdeeld over beide bronnen. Het niet bemesten van hellingen met een hellingspercentage van meer dan 18% levert een reductie van regio-eigen depositie van ca. 5%.

De aanleg of aanpassing van bufferstroken (mede) om negatieve effecten van N-depositie tegen te gaan, is zinvol juist op locaties waar de (beïnvloedbare) regio-eigen bijdrage aan de ammoniakdepositie groot is (zeg >200 mol/ha/jr).

Erosiegevoeligheid, erosiekaarten en erosietypen

Voor het beoordelen van effecten van bodemerrosie is het belangrijk onderscheid te maken tussen erosie zoals die van nature plaatsvindt en versnelde erosie met een hoge intensiteit als gevolg van een landschappelijke verstoring, zoals ontginning voor grootschalige landbouw. Het onderzoek heeft zich geheel gericht op effecten van versnelde bodemerrosie.

De gevoeligheid voor erosie is voor het gehele Heuvelland bepaald met een resolutie van 5 m x 5 m door het combineren in GIS van bestanden voor hellingshoek (hoe steiler hoe groter de gevoeligheid), omvang van het achterliggend (bovenstrooms) gebied/afwaterend oppervlak (hoe groter het achterland hoe groter de hoeveelheid water en daarmee ook de erosieve kracht van het afspoelende water), bodemtype (lössgronden, kalksteen en overig) en landgebruik (akker, grasland, boomgaard, bos, urbaan/water en overig). De erosiegevoeligheid is bepaald met vijf klassen van zeer laag tot zeer hoog. Op deze kaart zijn in de randen van Natura 2000-gebieden zogenaamde risicopunten geselecteerd met een (zeer) hoge gevoeligheid voor erosie. Voor elk Natura 2000-gebied is verder een kaart afgeleid met zogenaamde invanggebieden waaruit blijkt welk deel van het Heuvelland oppervlakkig afwatert op deze gebieden en wat hierbinnen het oppervlakte-aandeel is met een (zeer) hoge erosiegevoeligheid (variërend van 10-25%).

Wij onderscheiden vier erosietypen waardoor water en meegevoerd bodemmateriaal een Natura 2000-gebied kan instromen: sheet-erosie (over een breed oppervlak optredende, niet-insnijdende erosie), rill- en gully-erosie (ondiepe resp. diepe, geulvormig insnijdende erosie) en kloofvormig dal (of grubbe) als extreme vorm van gully-erosie. In tegenstelling tot de meer natuurlijke landschapsecologische situatie begint versnelde erosie in de situatie met ontgonnen plateaus al op de akkers op het glooiende plateau. Rill-erosie en sedimentatie beginnen al voor de plateaurand waardoor rills en gullies al veel hoger op de helling zijn te vinden en sedimentatie bovenin de bosrand (of bufferzone) kan plaatsvinden. Gullies kunnen door terugschrijdende erosie de akkerrand bereiken en er kunnen zelfs kloofvormige dalen (grubben) ontstaan.

Herkenning en beoordeling van typen van erosie en sedimentatie: bouwstenen

Voor het systematisch in kaart brengen van erosie- en sedimentatieprocessen op een bepaalde locatie inclusief hun interacties worden zogenaamde bouwstenen gepresenteerd. Door gebruik te maken van bouwstenen bij de beschrijving van de erosie/sedimentatieproblematiek wordt recht gedaan aan de grote lokale variatie en wordt het mogelijk om meer gericht naar oplossingen te zoeken in en rond Natura-2000-gebieden. Er worden twee groepen bouwstenen onderscheiden voor het beschrijven van relevante terreinkenmerken: 1) op de grens van landbouwgebied en Natura 2000-gebied (L-bouwstenen voor landgebruik; R-bouwstenen voor geomorfologische aard en positie van de plateaurand; P-bouwstenen voor paden en wegen langs de plateaurand; W-bouwstenen voor walletjes op de plateaurand) en 2) binnen Natura 2000-gebieden (H-bouwstenen voor hellingvormen in combinatie met paden en obstructies in en op de helling; S-bouwstenen voor sedimentatievormen).

Per erosietype (sheet, rill, gully, kloofvormig dal) worden werking, bouwstenen, herkenning in het veld, voorbeeldgebieden en betekenis voor de vegetatie beschreven en geïllustreerd.

Voor de beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen op gebiedsniveau is een stappenplan gemaakt dat start vanuit risicopunten afkomstig van de erosiegevoeligheidskaart. Vervolgens kan voor een risicopunt het erosieproces in de overgang van landbouwgebied naar Natura 2000-gebied worden beoordeeld en de eventuele continuering van dit proces (incl. sedimentatie) in de helling en aan de hellingvoet. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van overall scores voor erosiegevoeligheid, afgeleid van combinaties van R-, P- en W-bouwstenen voor verschillende uitgangssituaties van de plateaurand (L-bouwstenen).

Evaluatie van bufferstroken

De literatuur over de functionaliteit van (bodem)erosiebuffers is samengevat. Vrijwel alle literatuur betreft buffers voor het beschermen van waterlopen tegen instroom van voedselrijk water en sediment vanuit hoger gelegen landbouwgebieden. De effectiviteit van droge bufferstroken neemt toe met de breedte maar onder de meeste omstandigheden geeft een breedte van 15 m al 70-80% effectiviteit. Van de overige factoren is de vegetatiestructuur het belangrijkste. Een dicht struweel is het meest effectief. Voor grazige vegetatie is een combinatie van kort en dicht, en van diep wortelend en lang het best om zoveel mogelijk stoffen in te vangen.

In 2016 (na een periode met zware hoosbuien in het Heuvelland in juni en juli) zijn bufferstroken rond Bemelerberg & Schiepersberg en in de rand van het Savelsbos bezocht. Uit dit veldbezoek blijkt dat de bufferstroken van 10-15 m breed in het algemeen effectief zijn in het voorkómen en afzwakken van erosie-invloeden vanuit risicopunten. Dit geldt zowel voor bos/struweel-stroken als grasstroken. Nabij de risicopunten moeten bufferstroken goed functioneren. Dat is niet altijd het geval. Eenmaal gevormde rills in een bufferzone tasten de effectiviteit sterk aan. Bij risicopunten waar de kop van de grubbe zich door terugschrijdende erosie een weg vreet door de bufferstrook is deze strook evenmin effectief. Soms is juist in deze situatie de bufferstrook veel smaller (geworden) dan in delen van de plateaurand waar sprake is van geen of een gering risico. Een aanzienlijke lengte aan bufferstroken is niet gekoppeld aan risicopunten en voor het bufferen van invloeden van bodemerosie daarom niet functioneel. Voor de invang van (stik)stof zijn deze stroken met struweel of bos wel van belang.

Toepassing van maatregelen

Maatregelen om de instroom van met nutriënten verrijkt water en sediment in een natuurgebied te voorkomen, moeten zoveel mogelijk betrekking hebben op de bron(nen) in het agrarisch gebied zelf. Dergelijke maatregelen sluiten aan op vigerend beleid ('erosieregels'). Langs en in Natura 2000-gebieden kunnen maatregelen worden gekoppeld aan het stappenplan voor de beoordeling van effecten van erosie- en sedimentatieprocessen bij risicopunten. Het meeste perspectief bieden 1) de aanleg en het onderhoud van bufferstroken, 2) de aanleg van bufferzones rond de kop van grubbens en 3) de aanpassing van paden en de padenstructuur.

Het opvangen van sediment moet zo mogelijk buiten het gebied plaatsvinden waarvoor (extra) retentiebekkens kunnen worden benut of aangelegd. Bij erosieproblemen die op korte termijn niet kunnen worden opgelost met bufferzones en waarbij opvang van sediment buiten het gebied (nog) niet mogelijk is, zal moeten worden overwogen de sedimenten vooralsnog op te vangen in het Natura-2000-gebied door het afdammen van erosiedalen of de aanleg van bekkens. In beide gevallen moet naar oplossingen worden gezocht zonder dat de te beschermen natuurwaarden worden aangetast. De opvulling van bekkens met sediment in het gebied vormt bij het uitblijven van maatregelen voor periodieke afvoer eerder een nieuw probleem dan een oplossing.

Tot slot kunnen water en sedimentatiestromen via holle wegen, paden of grubbens het Natura 2000-gebied worden uitgeleid wat aansluit bij de min of meer natuurlijke functie van grubbens. Als echter een min of meer fossiel erosiedal aanwezig is, kan insnijdende erosie weer worden geactiveerd waardoor een gully-vormige insnijding zal ontstaan en op den duur een steil ingesneden grub. Bovendien zal uiteindelijk het sediment in de grote dalen met hun watergangen accumuleren, zowel binnen het natuurgebied als in agrarisch of urbaan gebied. Aanleg van een opvangbekken in het dal buiten het Natura 2000-gebied zou de gevolgen van het doorvoeren van sediment kunnen verminderen.

Summary

Necessity and localization of buffer strips around Natura 2000 sites in the Heuvelland region (the Netherlands, province of Limburg)

Background and objective of the research

In Natura 2000 sites in the Heuvelland region habitat types and other nature values on slopes adjacent to agricultural fields are negatively influenced by nutrient rich runoff and soil material. As a consequence fast growing competitive species increase and chances for conservation and expansion of characteristic species diminish. Severe forms of erosion can cause qualifying habitats to vanish physically, not only by erosion itself, but by sedimentation as well, filling depressions and interfering with spring areas and streams. Buffer strips can mitigate these influences potentially by reducing fertilizer from blowing in or entering by runoff. This report describes:

1. how input of nutrients from uphill agricultural fields can be documented and evaluated in relation to terrain and vegetation features;
2. how buffer strips (and more in general: measures to prevent, restrict or control runoff) function;
3. how measures and forms of management and land use can be applied effectively to prevent negative effects of soil erosion inside and in the margin of of Natura 2000 sites in the Heuvelland region.

The research was restricted to effects on dry grasslands, thicket en woodlands on slopes of the Heuvelland region (the southernmost part of the country).

A number of frequently used technical terms is explained in an appendix. Generally, no distinction will be made in using the terms runoff (the flow of water over the soil surface) and soil erosion (the displacement of soil particles by the water) or just erosion.

Evaluation of deposition of region-specific ammonia emission

Although the research focused mainly on effects of soil erosion and sedimentation, the contribution of ammonia emission in the Heuvelland region with respect to buffer strip design is evaluated as well. In this study the INITIATOR model has been used for the calculation of ammonia emissions and nitrogen depositions on a detailed scale, considering combinations with source-oriented measures or not. This is why given exceeding values can differ from values used in PAS site analyses as calculated by the Aerius model based on national emissions (PAS: Dutch Nitrogen Approach Programme). Therefore, the values used in this report must only be used with respect to buffer strip issues in the Heuvelland region.

The analyses found that about 20% of the deposition on Natura 2000 habitats originate from (agriculture in) the Heuvelland region itself. The greatest contribution of agriculture in the region results from manuring and grazing (70%) against 30% by stable and storage emission. This proportion deviates from the national average showing evenly distributed contributions from both sources. Non-manuring of slopes exceeding 18% gives a reduction of region-specific deposition of 5%.

The construction or adjustment of buffer strips a.o. to counteract negative effects of nitrogen deposition is meaningful in locations where the (changeable) region-specific contribution to ammonia deposition is great (say >200 mol/ha/yr).

Susceptibility to erosion, erosion maps and erosion types

In order to evaluate effects of soil erosion it is important to distinguish natural erosion from accelerated erosion with a high intensity resulting from landscape scale disturbances such as cultivation for large scale agriculture. This study was focused on effects of accelerated erosion.

Susceptibility to erosion of the Heuvelland region was determined with a resolution of 5x5 m by combining for each cell data of slope percentage (the steeper, the more susceptible), size of the upstream catchment area (the larger, the more susceptible and the larger the erosive power of runoff), soil type (loess soils, chalk stone and remaining types) and land use (arable field, grassland, orchard, woodland, urban/open water and remaining types). Susceptibility has been determined in five classes from very low to very high. Based on the erosion susceptibility map points of high erosion risk have been selected on the boundaries of Natura 2000 sites. Moreover, for each site a map has been derived with corresponding catchment areas showing areas and patterns of runoff relevant for each site as well as the contribution of areas (ranging between 10-25%) of high erosion risk within these catchments.

We distinguish four erosion types by which runoff and soil particles can enter a Natura 2000 site: sheet erosion (non-incisive erosion by runoff over an extensive area), rill and gully erosion (shallow and deep, incisive erosion) and gorge-like valleys (Dutch 'grubbe') as an extreme form of gully erosion. Contrary to a more natural landscape ecological situation, accelerated erosion on intensively cultivated plateaus starts already in the arable fields on the sloping plateau. Rill erosion and sedimentation starts already in front of the plateau edge such that rills and gullies occur much higher on the plateau and sedimentation can occur in the upper margin of the woodland or the buffer strip. Gullies can reach arable fields by receding erosion and even develop into gorge-like valleys.

Identification and evaluation of types of erosion and sedimentation: building blocks

We present so-called building blocks to enable the systematic mapping of erosion and sedimentation processes in a certain location including their interactions. The use of building blocks does justice to the large local variation of these processes and enables a directed search for solutions in and around Natura 2000 sites. Two groups of building blocks are distinguished to describe relevant terrain features: 1) on the boundary of agricultural area and Natura 2000 site (L-blocks for land use; R-blocks for the geomorphological nature and position of the plateau edge; P-blocks for paths and roads along the plateau edge; W-blocks for banks on the plateau edge) en 2) within Natura 2000 sites (H-blocks for slope forms combined with paths and obstructions in and on slopes; S-blocks for sedimentation forms).

For each erosion type (sheet, rill, gully, gorge-like valley) functioning, building blocks, identification in the field, example locations and meaning for the vegetation are described and illustrated.

In order to evaluate erosion and sedimentation processes at the site level a roadmap is presented starting at points of high erosion risk given by the erosion susceptibility map of the Heuvelland region. Subsequently the erosion process at this point in the boundary of agricultural areas and Natura 2000 site is evaluated as well as the possible continuation of this process (including sedimentation) in the slope and at the base of the slope. Hereby overall scores for susceptibility to erosion can be used, derived from combinations of R-, P- and W-blocks for different starting conditions at the plateau edge (L-blocks).

Evaluation of buffer strips

The literature on the functionality of (soil) erosion buffers has been summarized. Almost all references apply to buffers which protect watercourses against inflow of nutrient rich water and sediment from higher lying agricultural land. The effectivity of dry buffer strips increases with their width but in most situations a width of 15 m gives already 70-80% effectivity.

From the other factors vegetation structure is the most important. A dense shrub is the most effective. For grassy vegetation a combination of short and dense and of deeply rooting and tall functions best in trapping particles.

In 2016, after a period with heavy showers in the Heuvelland region in June and July, buffer strips around the Bemelerberg & Schiepersberg site and in the boundary of the Savelsbos site have been visited. This survey revealed that buffer strips 10-15 m in width are generally effective in preventing or reducing the influence of erosion near points of high erosion risk. This applies to both woodland/shrub and grassy strips. Near risk points buffer strips must function well. This is not always the case. Once rills have been formed in a buffer strip the effectivity of strip is severely affected. At risk points near the heads of gorge-like valleys ('grubben') the effectivity is threatened by receding erosion through the buffer strip. In this case the buffer strip sometimes has become even narrower than elsewhere in the plateau edge with no or smaller erosion risk. A considerable length of buffer strips is not linked to points of high erosion risk and is not functional in buffering soil erosion. However, these strips with shrub or woodland function in trapping nitrogen.

Application of measures

Measures to prevent inflow of nutrient enriched water and sediment in a nature area must be oriented to the agricultural sources as much as possible. This kind of measures is in line with current policy ('erosion rules' in the Heuvelland region). Along and within Natura 2000 sites measures can be linked to the roadmap for the evaluation of effects of erosion and sedimentation processes near points of high erosion risk. The most perspective is offered by 1) the construction and maintenance of buffer strips, 2) the construction of buffer zones around the head of 'grubben' and 3) the adjustment of road and path infrastructure.

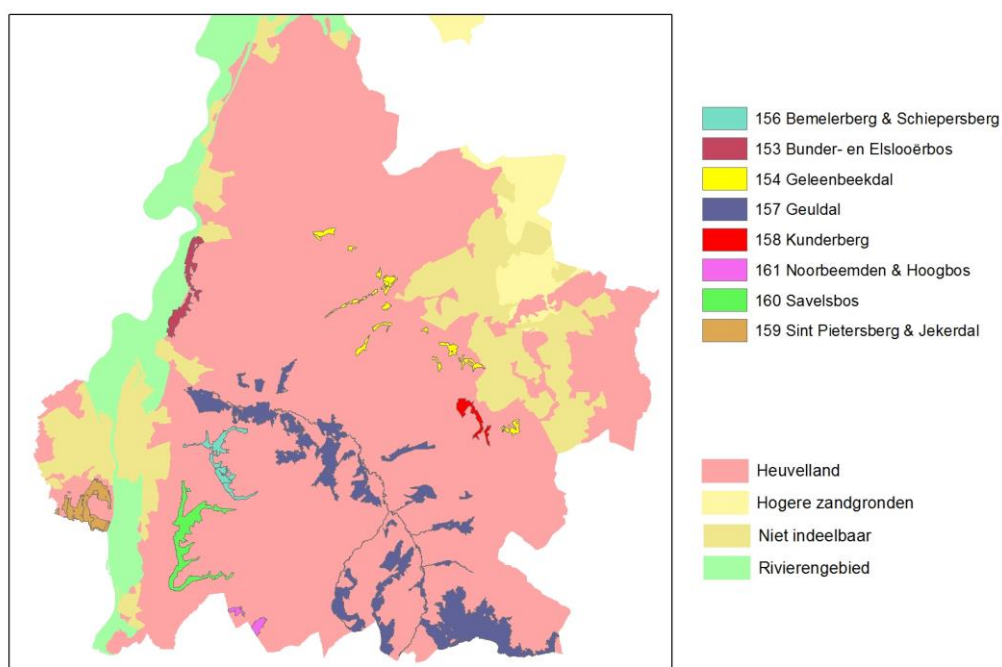
The catchment of sediment must possibly occur outside the site by using existing or by building new basins. When erosion problems can not be solved in the short term with buffer strips and for which catchment of sediment outside the site is not (yet) possible, opportunities must be considered for catchment within the site by dams or basins for the time being. In these cases solutions must be found such that protected nature values will not be affected. The filling of sediment basins within sites will create an additional problem rather than a solution when measures to periodically maintain and empty basins are omitted.

Finally, streams of water and sediment can be directed through sites via hollow roads, paths or 'grubben' corresponding to their natural functioning. However, in 'fossil' erosion valleys newly activated incisive erosion can result in gullies and deeply incised 'grubben' in the long term. Eventually the sediment directed this way will accumulate downstream in the larger valleys and water courses, both within nature areas and in agricultural and urban areas. Effects of these sediment streams can be reduced by building new basins in these valleys outside the Natura 2000 sites.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het Heuvelland liggen acht Natura 2000-gebieden (Figuur 1.1). In deze gebieden worden habitattypen en andere natuurwaarden op hellingen grenzend aan landbouwpercelen negatief beïnvloed door toestroom van voedselrijk water en sediment waardoor verzuuring toeneemt en kansen voor behoud en uitbreiding van karakteristieke soorten afnemen. Dit kan leiden tot randzones van vegetaties die niet (meer) kwalificeren als habitattype en daarmee tot verslechtering in de zin van de Habitatrictlijn. Bij intensieve vormen van erosie kunnen kwalificerende groeiplaatsen verdwijnen niet alleen door erosie zelf maar ook doordat voedselrijk sediment laagten opvult en bronnen en bovenloopjes onderdeel worden van erosiebanen.



Figuur 1.1: De Natura 2000-gebieden in het Heuvelland.

Figure 1.1.: The Natura 2000 sites in the Heuvelland region.

Bufferzones kunnen in potentie deze invloed beperken door directe inwaai, oppervlakkige toestroom van meststoffen en erosie af te vangen. Wij interpreteren bufferzones in brede zin, gericht op een breed scala van maatregelen zodat bufferstroken op allerlei wijzen tot stand kunnen worden gebracht inclusief maatregelen in het Natura 2000-gebied zelf (bijv. in relatie tot paden).

Het ontbreekt aan kennis hoe bufferzones voor deze randproblematiek eruit moeten zien en hoe effectief deze zijn. Er is behoefte aan deze kennis omdat de Natura 2000-gebieden ook door andere oorzaken onder druk staan en maatregelen voor herstel in samenhang effectief en efficiënt moeten worden uitgevoerd. Daarom heeft het OBN gevraagd onderzoek uit te voeren. Dit onderzoek bestaat uit een quick scan van aanwezige kennis, het beschrijven en

classificeren van erosieprocessen rond en in Natura 2000-gebieden, het uitvoeren van een veldstudie naar 10-15 jaar oude bufferzones en een expertschatting van opties voor aanleg en inrichting van nieuwe bufferzones.

Bodemerosie door water en wind is een natuurlijk proces dat onder invloed van de mens is versterkt. Klimaat, geomorfologie (reliëf en landvorm), bodem en landgebruik zijn de belangrijkste factoren die bodemerosie bepalen. Het vaststellen van erosierisico's en vervolgens het ontwerpen van adequate maatregelen vragen dan ook om een landschappelijke aanpak. Op dit schaalniveau vormen ook emissie en depositie van ammoniak via de lucht een risico voor behoud en ontwikkeling van habitattypen. Sterke bodemerosie is zowel nadelig voor het brongebied (verlies van vruchtbare bodem van het landbouwgebied op het plateau) als voor de aanliggende natuur of bewoningsgebieden (op de helling of in het dal). Het sediment kan naast slib zowel meststoffen als resten van bestrijdingsmiddelen bevatten. Om bodemerosie tegen te gaan wordt als maatregel, o.a. in het kader van het Programma Aanpak Stikstof (PAS), aanleg van bufferzones tussen landbouwgebied en Natura 2000-gebied geadviseerd. Bufferzones kunnen in potentie het merendeel van het over het bodemoppervlak aangevoerde materiaal vanuit landbouwpercelen vastleggen en zo bijdragen aan herstel van de natuurkwaliteit. Bufferstroken in randzones zijn echter in principe niet geschikt voor het beschermen van lager gelegen grondwatergevoede habitats (Noij *et al.*, 2012a, b). Dit type habitats valt daarom buiten de scope van het onderzoek.

1.2 Relevante habitattypen

In grote lijnen is de landschappelijke positie van de relevante habitattypen van het Heuvelland goed bekend (o.a. Bobbink *et al.*, 2008; Van Noordwijk *et al.*, 2013). Naast diverse vegetatietypen van graslanden en bossen kwalificeren ook zoom-, mantel- en struweelvegetaties (Tabel 1.1).

Tabel 1.1: Belangrijke habitattypen van hellingcomplexen in het Heuvelland. De cijfers geven per habitatype het aantal landelijk goed kwalificerende vegetatietypen bos, mantel/struweel, zoom en korte vegetatie en overige typen volgens het profielendocument (www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=profielen).

Table 1.1: Important habitat types of sloping areas in the Heuvelland region. Figures indicate the number of nationally good qualifying vegetation types of forest (bos), wood margin / scrub (mantel / struweel), herbaceous wood margin (zoom) and grassland and remaining types (korte vegetatie en overig) according to the Dutch habitat definition document.

Habitatype		Vegetatietype			
Code	Naam	bos	mantel / struweel	zoom	korte vegetatie en overig
H6210	Kalkgraslanden	0	1	1	2
H6230	Heischrale graslanden	0	0	0	2
H6430C	Ruigten en zomen (droge bosranden)	0	0	2	0
H6510A	Glanshaverhooiland	0	0	0	1
H7230	Kalkmoerassen	0	0	0	1
H9110	Veldbies-beukenbossen	1	4	2	0
H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	3	6	2	0
H9160B	Eiken-haagbeukenbossen (heuvelland)	2	6	1	0
H91E0C	Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen)	9	0	0	2

Met bufferzones kan worden bijgedragen aan de natuurkwaliteit op landschapsschaal door de ontwikkeling van zoom-, mantel- en struweelvegetaties (Figuur 1.2) die deels ook kwalificeren als Natura 2000-habitattypen (Tabel 1.1) en kunnen dienen als leefgebied en uitwijkmogelijkheid voor karakteristieke soorten van het Heuvelland. Waar mogelijk kunnen bufferzones ook worden ingericht als, of aangesloten op begraasde corridors tussen schraalgraslanden.



Figuur 1.2: Goed ontwikkelde natuurlijke gradiënten van bos naar grasland zijn in het Heuvelland schaars. Onderrand Grootte Bos, Slenaken, Natura 2000-gebied Geuldal (foto: Rienk-Jan Bijlsma, 2013).

Figure 1.2: Well-developed natural gradients between woodland and grassland are scarce in the Heuvelland region. Lower woodland margin of Grootte Bos, Slenaken, Natura 2000-site Geuldal.

1.3 Doel van het onderzoek: kennisvragen

Doel van het onderzoek is om bij te dragen aan het ontwikkelen van effectieve bufferzones door antwoord te geven op de volgende kennisvragen:

1. Wat is de instroom van nutriënten vanuit bovenliggende landbouwgronden nu eigenlijk en in welke mate zijn vegetatie en bodem daardoor veranderd in de genoemde habitattypen in Zuid-Limburg?
2. Hoe kunnen de locaties waar sprake is van negatieve effecten van runoff op de instandhoudingsdoelstellingen op een efficiënte wijze in beeld worden gebracht?
3. Hoe functioneren bufferzones en welke vorm en/of inrichting is het meest effectief om tot beperking van de toestroom van deze nutriënten naar onderliggende habitats via lucht en water te komen? Welke oplossingsrichtingen bieden het meeste perspectief?
4. Er is niet altijd geld om de bufferzone aan te kopen en deze blijft dan dus in agrarisch beheer. Zijn er oplossingen denkbaar waarbij de bufferzones in agrarisch beheer blijven en welke (extensieve) bedrijfsvoeringen passen daarbij?

1.4 Erosie, runoff en andere termen

In Bijlage 1 is een verklarende lijst opgenomen van termen in relatie tot verschijnselen van erosie en runoff. Deze paragraaf beschrijft hoe beide laatste termen samenhangen en in dit rapport worden gebruikt.

Runoff is de afstroming van water over de oppervlakte van de bodem. Hierbij zal, afhankelijk van het reliëf, het water zich steeds meer concentreren in stroompjes en geulen. Runoff treedt op in geaccidenteerd terrein na langdurige regenval of kortdurende, hevige regenval ('runoff event').

Boderosie is onverbrekelijk verbonden met runoff. Afhankelijk van type en intensiteit van runoff worden meer of minder organisch materiaal en bodemdeeltjes verplaatst en ontstaan meer of minder intensieve vormen van erosie. Wij onderscheiden vier typen van runoff en corresponderende erosie waarmee water een Natura 2000-gebied kan inlopen (zie § 2.2). Runoff is alleen zichtbaar tijdens of kort na regenval. Erosieverschijnselen zijn de in het veld langer zichtbare gevolgen van runoff. Maatregelen ter voorkoming van bepaalde vormen van erosie zijn daarmee tegelijkertijd ter voorkoming van bepaalde vormen van runoff.

De focus van dit rapport betreft erosie- en sedimentatieverschijnselen in en rond Natura 2000-gebieden in het Heuvelland. Het optreden van deze verschijnselen koppelen wij aan erosiegevoeligheid die in kaart wordt gebracht ('gemodelleerd') via factoren die van invloed zijn op runoff, zoals landgebruik en lengte van hellingen en hellingspercentage (zie § 2.2). De processen zelf (runoff, erosie en sedimentatie) zijn door ons niet gemodelleerd maar de principes voor het bepalen van erosiegevoeligheid zijn consistent met procesmodellen (o.a. LISEM voor Zuid-Limburg; De Roo *et al.*, 1996; Jetten *et al.*, 2003; Hessel 2005).

1.5 Opzet rapport en leeswijzer

Het onderzoek is gestart met een quick scan van bestaande kennis en ervaring met erosiebuffers. Onderdeel van deze fase van onderzoek was ook het vaststellen van geschikte methoden voor het beoordelen van effecten van erosie en N-depositie, de berekening van regiospecifieke bijdragen aan ammoniakemissie en effecten hiervan op depositie, en de vervaardiging van een erosiegevoeligheidskaart van het Heuvelland. Op basis van deze kaart en de habitatkaart zijn risicolocaties geselecteerd in de randen van Natura 2000-gebieden. In plaats van het kort veldonderzoek dat was bedoeld als validatie van deze kaart, heeft een bespreking van de risicolocaties plaatsgevonden met terreinbeherende organisaties (Limburgs Landschap, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten). Hiermee werd meer gebiedskennis (en meer gebiedsdekkende kennis) ingezet bij de validatie. Aldus zijn risicolocaties opgeschoond en aangevuld tot een bestand dat aangeeft waar volgens het gebruikte model belasting van de randzones van Natura 2000-gebieden door erosie vanuit landbouwgebied mag worden verwacht. Over deze fase is tussentijds gerapporteerd. In voorliggend rapport zijn de resultaten van de quick scan nader uitgewerkt.

De in de quick scan geselecteerde of ontwikkelde methoden (het beoordelingskader) zijn overgenomen in hoofdstuk 2. Dit hoofdstuk onderbouwt de beoordeling van de effecten van erosie en N-depositie op de habitattypen in het Heuvelland. De daarvoor gebruikte informatiebronnen en modellen worden beschreven voor de volgende aspecten:

- de wijze waarop ammoniakemissie en -depositie worden beoordeeld (§ 2.1);
- de beschrijving van het erosiemodel en hoe dit is gebruikt voor het maken van de erosiekaarten (§ 2.2). In juni 2016 werd vooral zuidelijk Nederland enkele keren getroffen door noodweer met aanhoudende hoosbuien wat in Zuid-Limburg resulteerde in erosie met ongekeerde omvang. De oorspronkelijke planning van veldwerk is vervolgens aangepast ten gunste van de beschrijving en classificatie van

effecten van runoff als gevolg van dit noodweer. Dit heeft aanzienlijk bijgedragen aan inzicht in (in)directe effecten van verschillende vormen van erosie in relatie tot terrein- en vegetatiekenmerken;

- de uitwerking van dit inzicht in de vorm van 'bouwstenen' voor het beschrijven van erosie- en sedimentatieprocessen (§ 2.3);
- de beoordeling van effecten van erosie op de vegetatie (§ 2.4);
- een korte samenvatting van literatuur samengevat over de beoordeling van het functioneren van erosiebuffers (§ 2.5).

Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten van het onderzoek naar ammoniakemissie en -depositie voor de verschillende Natura 2000-gebieden.

In hoofdstuk 4 worden een erosiegevoeligheidskaart en invanggebiedenkaart van het Heuvelland gepresenteerd en een kaart met locaties met een hoog erosierisico rond Natura 2000-gebieden.

De herkenning en beoordeling van typen van erosie en sedimentatie in het Heuvelland wordt uitgewerkt in hoofdstuk 5.

Tot slot worden in hoofdstuk 6 maatregelen voor inrichting en beheer besproken, met name gericht op bufferstroken en interne maatregelen.

2 Methoden

Dit hoofdstuk presenteert hoe effecten van erosie en N-depositie op bodem en vegetatie in Natura 2000-gebieden van het Heuvelland in het onderzoek worden beschreven en geanalyseerd.

2.1 Ammoniakemissie en -depositie

Bufferzones tussen landbouwgebied en Natura 2000-gebied kunnen de depositie van ammoniak op de habitats in het Natura 2000-gebied op twee manieren beïnvloeden. Enerzijds door voorwaarden aan de ammoniakemissie in de bufferzone, zoals beperking van de mesttoediening of het emissiearm toedienen van mest. Hierdoor zal er minder ammoniak vanuit de zone emitteren, waardoor de depositie op de nabijgelegen natuur wordt verminderd. Anderzijds door het vergroten van de ruwheid in de zone, door het aanbrengen van groenelementen, zoals windsingels, houtwallen en heggen. Hierdoor wordt de luchtstroom zodanig beïnvloed dat ammoniak eerder neerslaat en dus minder in het Natura 2000-gebied zelf.

In dit onderzoek zijn alleen berekeningen uitgevoerd ten aanzien van de bijdrage van de ammoniakemissie in het Heuvelland aan de N depositie op de natuur: de regio-eigen bijdrage. Er zijn in dit onderzoek geen specifieke berekeningen uitgevoerd naar het effect van het aanbrengen van extra groenelementen, zoals bijv. in een Alterra/RIVM studie in Overijssel (Kros *et al.*, 2015a), met een verkenning naar de effectiviteit van de inzet van groene landschapselementen om depositie op Natura 2000-gebieden te verminderen. Hiervoor is gekozen omdat het uitvoeren van een dergelijke studie specifiek voor het Heuvelland vrij bewerkelijk is. Zo zouden de huidige ruwheidskarakteristieken zoals die in het depositiemodel zitten, voor alle zones rondom de natuurgebieden aangepast dienen te worden. De hier uitgevoerde berekeningen zijn uitgevoerd met de huidige ruwheidskarakteristieken (landgebruik en ruwheidslengte), welke op een resolutie van 250 m × 250 m in het gebruikte depositiemodel zitten (zie details hieronder). Voor het vaststellen van de betekenis van de ammoniakemissie in het Heuvelland, al of niet in bufferzones voor de N-depositie op de natuur is het van belang om onderscheid te maken naar de herkomst van de ammoniakdepositie. Zo worden door maatregelen in het Heuvelland uiteraard alleen de emissies in het Heuvelland beïnvloed.

Om de regio-eigen bijdrage vast te stellen dient onderscheid te worden gemaakt in de depositiebijdrage van de ammoniakemissies door:

1. Mesttoediening en beweiding in het Heuvelland. Dit geeft inzicht in de potentiële mogelijkheden van regiospecifieke emissiebeperkende maatregelen ten aanzien van mestaanwending in het Heuvelland.
2. Stallen en opslagen in het Heuvelland. Dit geeft inzicht in de potentiële mogelijkheden van het doorvoeren van aanvullende emissiebeperkende stalmaatregelen in het Heuvelland.

Met betrekking tot bufferzones is vooral de beïnvloeding van mesttoediening en beweiding van belang. Stallen en opslagen liggen veelal verder van de rand van het natuurgebied dan de percelen die gebruikt worden voor mesttoedieningen en beweiding. Daarnaast zal bij mesttoedieningen en beweiding de geëmitteerde ammoniak, ten opzichte van stal- en opslagemissie, dichter bij de bron neerslaan omdat deze op een geringere hoogte wordt geëmitteerd (nabij het maaiveld).

Om de gebiedsbijdrage van mesttoedieningen en beweiding in kaart te brengen is gedetailleerde gebiedsinformatie nodig, zoals perceelsinformatie, mestverdeling en mestaanwendingstechniek. De mate van detail van deze informatie in het PAS instrument Aerius is hiervoor niet toereikend. Zo wordt in Aerius gebruik gemaakt van de landelijke vastgestelde emissie door mestaanwending per 0.5 km × 0.5 km-vak, welke naar rato wordt verdeeld over de oppervlakken grasland (klei/veen) en bouwland binnen dat 0.5 km-vak. Daarom is in deze studie gebruik gemaakt van het Alterra/RIVM instrumentarium INITIATOR/OPS. In dit instrumentarium wordt op een gedetailleerdere manier de mestverdeling berekend, waarbij o.a. rekening wordt gehouden met de perceelsinformatie (BRP) en de gebiedsspecifieke mesttoedieningstechniek.

In dit onderzoek is geen rekening gehouden met effecten van mesttoediening op grondwater.

2.1.1 Sturende processen/factoren

Emissie en depositie van ammoniak hebben een negatieve invloed op natuurgebieden. Om dit tegen te gaan wordt als maatregel, o.a. in het kader van het Programma Aanpak Stikstof (PAS), aanleg van bufferzones tussen landbouwgebied en Natura-2000-gebied geadviseerd.

De N-depositie bestaat voor ongeveer 2/3 uit ammoniak (NH₃) en voor 1/3 uit stikstofoxiden (NO_x). De Nederlandse landbouw is met ruim 45% NH₃-uitstoot de economische sector met de grootste bijdrage aan de totale N depositie. Uit buitenlandse (deels ook landbouw gerelateerde) en overige ammoniakbronnen komt ongeveer 20%. Nederland exporteert echter vier maal zoveel NH₃ dan het importeert. De rest van de N-depositie, voornamelijk NO_x, is afkomstig van verkeer, industrie en huishoudens (De Haan *et al.*, 2008).

Belangrijke maatregelen die onder het generiek ammoniakbeleid vallen, betreffen de verplichting om emissiearm mest toe te dienen en de verplichte afdekking van mestopslagen. Daarnaast wordt ingezet op optimaal beheer van de natuurgebieden al of niet in combinatie met effectgerichte maatregelen.

Voor de voor stikstofgevoelige natuurgebieden zijn beschermende maatregelen nodig, onder andere tegen NH₃. Het is daarom wenselijk om zo vroeg mogelijk in de beheerplanprocessen inzicht te krijgen in de omvang van de N-depositie per Natura 2000-gebied en de regio-eigen bijdrage. Hiermee wordt de bijdrage van de ammoniakemissie in het Heuvelland aan de N-depositie op het Natura 2000-gebied (in het Heuvelland) bedoeld. Daarbij is het ook essentieel om inzicht te verkrijgen in de bijdrage van verschillende sectoren (landbouw, verkeer, industrie) op verschillende schaalniveaus (landelijk, provinciaal, gebied). Daarnaast is inzicht nodig in de effectiviteit van een breed scala van gebiedsgerichte en generieke maatregelen en de mate waarin hierdoor de overschrijding van de kritische depositiewaarde kan worden teruggebracht. Daarbij dienen zowel brongerichte (emissiebeperkende) maatregelen als effectgerichte (beheer) maatregelen te worden meegenomen.

Voor de toepassing in dit project hebben we met het Alterra/RIVM instrumentarium INITIATOR/OPS vastgesteld wat de regio-eigen bijdrage is van de ammoniakemissie vanuit diverse zones in het Heuvelland aan de N-depositie in Natura 2000-gebieden.

2.1.2 Gebruikte GIS-bestanden/modellen

Ten behoeve van de PAS wordt gebruik gemaakt van het systeem Aerius (Metz, 2015) om op gedetailleerde schaal (100 m × 100 m) de N-depositie op natuur te berekenen ten gevolge van N- (waaronder NH₃-) emissies naar de lucht. Voor de stal- en opslagemissie wordt gebruik gemaakt van de locatie van de bedrijven op basis van GIAB/CBS. Voor de NH₃- emissie ten gevolge van mesttoediening en beweiding maakt Aerius echter gebruik van de landelijke emissie gegevens (Van Bruggen *et al.*, 2014). Binnen Aerius worden deze nationale emissies in tweede instantie

neergeschaald naar het regionale niveau (500 m × 500 m). Hierdoor ontbreekt detailinformatie die in het kader van het evalueren van de effecten van bufferstroken, van zeg 10-tallen meters, noodzakelijk is. Daarom is in deze studie gebruik gemaakt van het model INITIATOR waarmee op gedetailleerde schaal NH₃-emissies en N-deposities kunnen worden berekend, al dan niet in combinatie met brongerichte maatregelen. Om deze reden kunnen de hier vermelde overschrijdingen afwijken van waarden die bij PAS-gebiedsanalyses worden gehanteerd en dienen daarom alleen gebruikt te worden in het kader van de bufferzone problematiek.

INITIATOR is een relatief eenvoudig en flexibel model dat alle belangrijke N-fluxen op regionale schaal berekent, waaronder de toevoer van N middels kunstmest, dierlijke mest, depositie en N-binding, N-opname door het gewas, emissie van NH₃, lachgas (N₂O) en stikstofoxiden (NO_x) naar de atmosfeer en uit- en afspoeling van nitraat en ammonium naar grond en oppervlaktewater. In deze studie is het gebruik INITIATOR beperkt tot NH₃-emissie en bijbehorende depositie uitgevoerd (zie bijv. Kros *et al.*, 2015b).

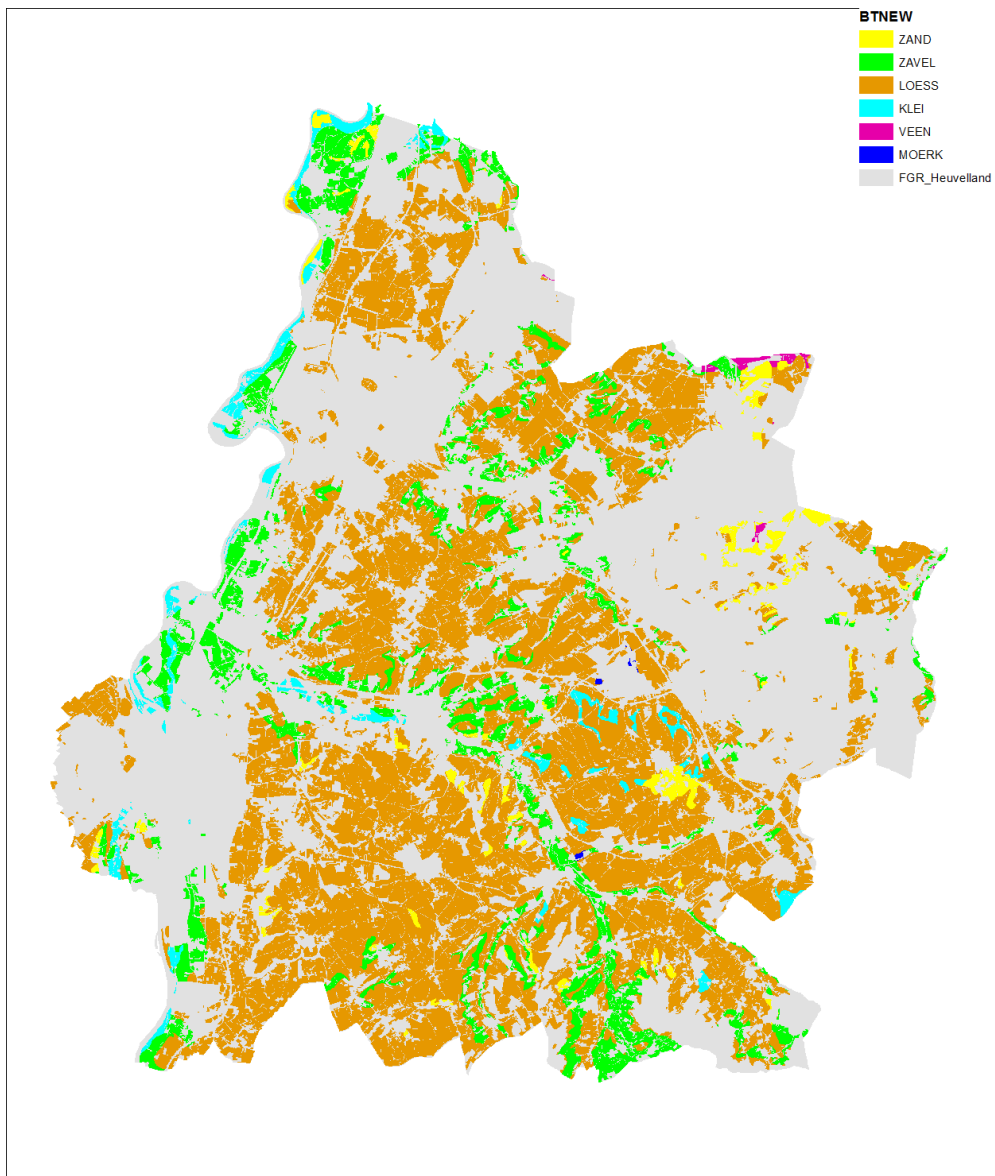
INITIATOR maakt gebruik van beschikbare gedetailleerde ruimtelijke gegevens die grotendeels afkomstig zijn uit beschikbare nationale GIS datasets zoals de (aggregeerde) 1:50 000 bodemkaart (Figuur 2.1.1), de LGN landgebruikskaart (Figuur 2.1.2), het CBS / GIAB databestand (Gies *et al.*, 2015), met het aantal dieren per bedrijf in Nederland en bodemchemische kenmerken met een ruimtelijke resolutie van 250 m × 250 m. Door deze koppeling zijn we in staat om met een hoge ruimtelijke resolutie de N-excretie, stal- en opslagemissies, mest- en kunstmestverdeling, bodememissie, N-uitspoeling en -afspoeling en N-depositie te berekenen.

Voor elke gemeente wordt een vergelijking gemaakt tussen de maximaal toelaatbare N toevoer en de geproduceerde hoeveelheid stal- en weidemest (alleen voor grasland). Dit leidt tot overschotgemeenten, waar de geproduceerde hoeveelheid N in dierlijke mest hoger is dan de N-gebruiksnormen en tekortgemeenten met plaatsingsruimte voor dierlijke mest. Het overschot wordt gelijkmatig verdeeld over de tekortgemeenten, waarbij tevens rekening wordt gehouden met de export van mest. De verdeling van de hoeveelheid minerale N-kunstmest wordt berekend volgens het nationale bemestingsadvies. De INITIATOR bodemmodule berekent vervolgens de bodememissies van NH₃, NO_x en N₂O, N-opname, N-mineralisatie/immobilisatie, N-uitspoeling en -afspoeling met een consistente set van eenvoudige lineaire vergelijkingen (De Vries *et al.*, 2003).

De N-excretie via de mest wordt berekend door een vermenigvuldiging van het aantal dieren voor elk bedrijf met de excretie per dier. De stal- en opslagemissies van NH₃, N₂O, NO_x en N₂ worden berekend door vermenigvuldiging van de N-excretie met de N-emissiefractionen voor de verschillende categorieën dieren en staltypen. De N-excretie, minus stal- en opslagemissies, vormt de invoer van de dierlijke- en kunstmestverdelingsmodule die de N toevoer naar de bodem berekent. Deze module verdeelt de geproduceerde mest over het beschikbare bouwland en grasland op gemeenteniveau. De NH₃-emissie uit stallen en opslagen en vanuit de bodem vormt de input van het atmosferisch transport model OPS (Van Jaarsveld, 2004) voor de berekening van de N-depositie op zowel landbouwgronden als Natura-2000-gebieden. In dit project is de depositie analoog aan Aerius berekend met OPS versie 4.4.4 op een resolutie van 100 m × 100 m.

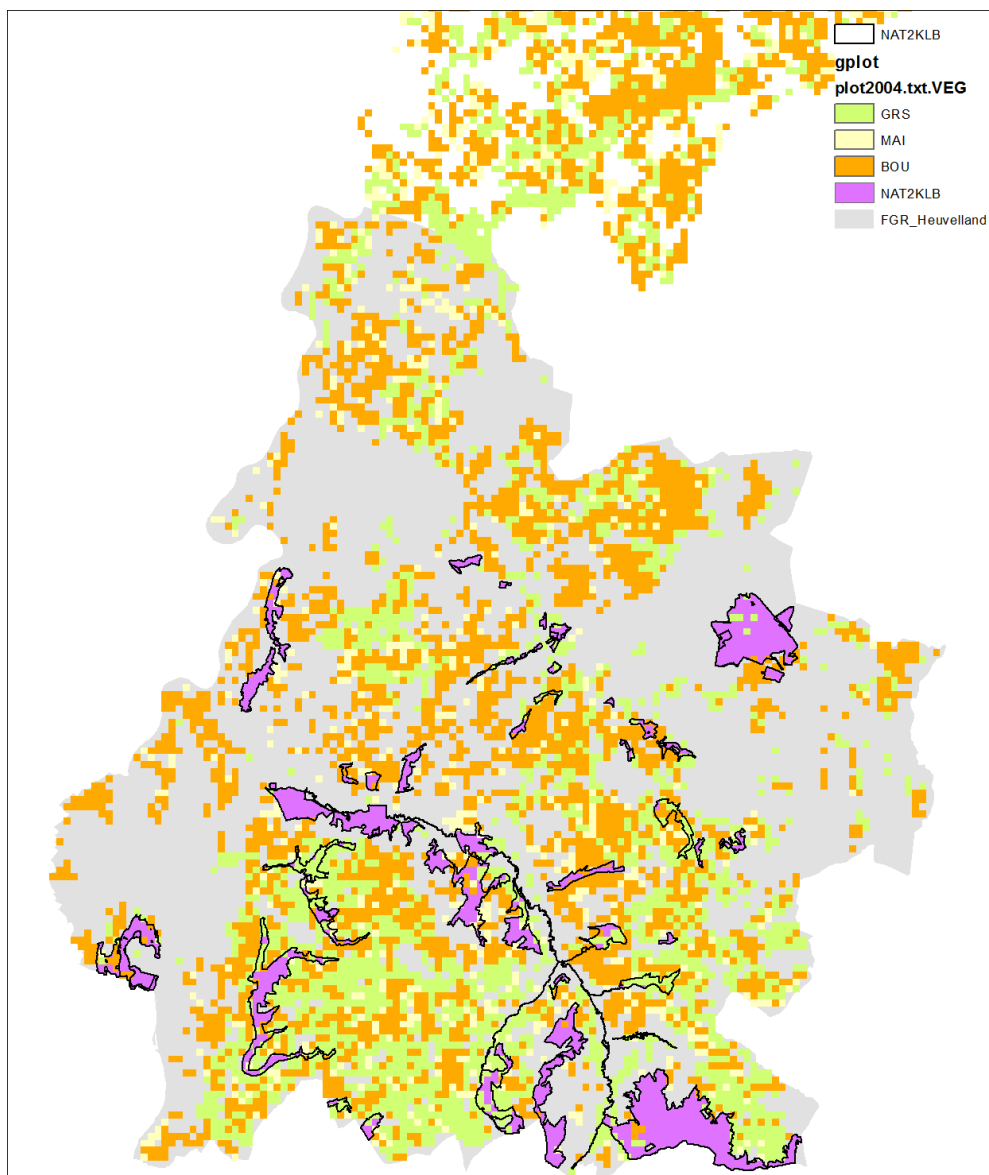
Om een vergelijking tussen de totale N-depositie met de kritische N-depositie op Natura 2000-gebieden mogelijk te maken, is de op 100 m × 100 m berekende NH₃-depositie ten gevolge van bronnen (emissie vanuit stallen- en opslagen, bemesting en beweiding) in het Heuvelland vermeerderd met de NO_x-depositie en de achtergrond NH₃ depositie uit bronnen buiten het doorgerekende gebied. Hiervoor is gebruik gemaakt van de generieke bestanden van het RIVM GDN (RIVM, 2016) gebaseerd op nationale depositieberekeningen met het model OPS op een resolutie van 1 km × 1 km voor het jaar 2013 (d.w.z. berekend en gerapporteerd in 2014 op basis van de meteorologie en NL emissies in 2013, buitenland emissies in 2011). Voor het vaststellen van de achtergronddepositie is eerst de berekende regio-eigen NH₃-depositie op een resolutie van 100 m × 100 m opgeschaald naar 1 km × 1 km. Vervolgens is de achtergronddepositie op een resolutie van 1 km × 1 km bepaald uit het verschil tussen de totale N depositie (1 km × 1 km) van

het RIVM en de naar 1 km × 1 km opgeschaalde regio-eigen depositie. Ten slotte is de totale hoge resolutie N-depositie bepaald uit de som van de achtergronddepositie (1 km × 1 km) en de regio-eigen depositie op een 100 m × 100 m resolutie.



Figuur 2.1.1: De geaggregeerde bodemkaart van Zuid-Limburg.

Figure 2.1.1: The aggregated soil map of South Limburg.



Figuur 2.1.2: Categorieën van geaggregeerd landgebruik in Zuid-Limburg. GRS: grasland; MAI: mais; BOU: overige typen bouwland. Natura 2000-gebieden blauw (NAT2KLB).

Figure 2.1.2: Aggregated land use categories in South Limburg. GRS: grassland; MAI: maize; BOU: other types of arable fields. Natura 2000 sites in blue (NAT2KLB).

2.1.3 Drempelwaarden

Om nadelige effecten van N-depositie op de natuur te kunnen beoordelen zijn grenswaarden vastgesteld voor habitattypen: kritische depositiewaarden (KDW's; Van Dobben *et al.*, 2012). Tabel 2.1.1 geeft de KDW's voor de in de Natura 2000-gebieden in het Heuvelland voorkomende habitattypen.

Tabel 2.1.1: Kritische depositiewaarden voor stikstof ($\text{mol ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) voor habitattypen in het Heuvelland.

Table 2.1.1: Critical load values for nitrogen deposition ($\text{mol ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) for habitat types in the Heuvelland region.

Code	Habitatype	Kritische depositie ($\text{mol N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$)
H3260A	Beken en rivieren met waterplanten (waterranonkel)	2400
H6110	Pionierbegroeiingen op rotsbodern	1429
H6130	Zinkweiden	1071
H6210	Kalkgraslanden	1500
H6230	Heischrale graslanden	714
H6230dkr	Heischrale graslanden (droog kalkrijk)	857
H6430A	Ruigten en zomen (moerasspirea)	2400
H6430C	Ruigten en zomen (droge bosranden)	1857
H6510A	Glanshaver- en vossenstaarthooilanden (glanshaver)	1429
H7220	Kalktufbronnen	PM ¹⁾
H7230	Kalkmoerassen	1143
H9110	Veldbies-beukenbossen	1429
H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	1429
H9160B	Eiken-haagbeukenbossen (heuvelland)	1429
H91E0C	Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen)	1857

¹⁾ Voor kalktufbronnen is geen exacte KDW afgeleid. Vooralnog wordt in de PAS, op basis van een deskundigenoordeel een KDW < 2400 gehanteerd.

De KDW's zijn in enkele gevallen beduidend lager dan 1000 mol/ha (14 kg/ha), terwijl de huidige (voor het jaar 2014) gemiddelde N-depositie in Nederland circa 1700 mol/ha (circa 24 kg/ha) bedraagt. In Zuid Limburg varieert N-depositie tussen 1000 en 1500 mol/ha (7 tot 10 kg/ha) (RIVM, 2016). Voor veel habitattypen zijn daarom effectgerichte maatregelen nodig om verdere verslechtering te voorkomen.

2.2 Erosiegevoeligheid

2.2.1 Het concept 'versnelde bodemerosie'

Bodemerosie (hierna kortweg erosie genoemd) is het losmaken en verplaatsen van bodemdeeltjes onder invloed van vooral wind of water. Voor de Natura 2000-gebieden in Zuid-Limburg is vooral bodemerosie (door afvoer van regenwater over reliëfrijke leembodems) een groot probleem. Winderosie (door verwaaiing van löss vanuit akkers) treedt ook op (zie § 2.2.7). Zuiver fluviaale erosie (door beken, rivieren) wordt hier buiten beschouwing gelaten.

Voor het beoordelen van effecten van bodemerosie is het belangrijk onderscheid te maken tussen erosie zoals die van nature plaatsvindt in reliëfrijk terrein en versnelde erosie ('accelerated erosion', 'verstärkte Erosion') met een hoge intensiteit als gevolg van een landschappelijke verstoring door intensief landgebruik door de mens, zoals ontginning voor grootschalige landbouw (Jungerius & Kwaad, 1973). In § 2.2.3 wordt versnelde erosie toegelicht ten opzichte van de natuurlijke situatie.

Dit project richt zich vrijwel geheel op effecten van versnelde bodemerosie zonder dit steeds zo te noemen. De intensiteit van erosieprocessen hangt af van de factoren klimaat, reliëf, bodem en landgebruik. Deze factoren worden nader uitgewerkt in § 2.2.4 (Karteerbare kenmerken).

2.2.2 Het bodemerosie- en sedimentatieproces

Erosie is niet los te zien van sedimentatie. Sedimenteren is het afzetten van door water en wind verplaatst bodemmateriaal. In het geval materiaal is verplaatst door bodemerosie en sedimentatie plaatsvindt aan de voet van een helling, wordt het sedimentatieproces aangeduid als colluvatie en het afgezette materiaal als colluvium (De Waal, 1982; Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990). In dit rapport gebruiken we gemakshalve de bredere aanduiding sedimentatie in plaats van de feitelijk juistere aanduiding colluvatie.

Bij bodemerosie als gevolg van neerslag (regen) kan een opeenvolging van erosie- en sedimentatieprocessen worden onderscheiden:

1. Het losmaken van bodemdeeltjes

Het effect van erosie wordt in eerste instantie bepaald door de intensiteit en duur van de regenbui. Inslag van regendruppels ondermijnt de samenhang van de bodemdeeltjes (bodestructuur). Hoe intenser de bui en hoe groter en zwaarder de regendruppels, des te meer structurelementen uiteenvallen in afzonderlijke bodemdeeltjes (zand-, silt-, kleideeltjes). De samenhang en het gemak waarmee deze bodemdeeltjes, al dan niet met de daaraan gebonden organische stof en meststoffen, meegevoerd kunnen worden is afhankelijk van de aard van het moedermateriaal (o.a. kleigehalte) en korrelgrootte (Jungerius & Kwaad, 1973; Scheffer & Schachtschabel, 2010). De bodem van Zuid-Limburg wordt gedomineerd door löss-achtige bovengronden met een laag zandgehalte en een hoog siltgehalte (60-80%). Het lutumgehalte (kleideeltjes) in löss varieert van 12 tot 20% (Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990). Zanddeeltjes zijn zwaarder maar vertonen een geringe samenhang; kleideeltjes zijn zeer klein maar hebben een sterke cohesie; siltdeeltjes en zeer fijn zand zijn per definitie lichter dan zand en vertonen minder sterke samenhang dan lutumdeeltjes. Gronden met een hoog siltgehalte zijn daarmee per saldo het meest gevoelig voor erosie. Zowel het losmaken door regendruppelinslag als het bovengronds afstromen van regenwater en bodemmateriaal (runoff, 'overland flow') is zoals gezegd afhankelijk van intensiteit en duur van de regenbui. In het kader van de klimaatsverandering zijn de verwachtingen dat naast de totale hoeveelheid neerslag ook de intensiteit van de buien zal toenemen en daarmee ook het gevaar van versnelde erosie (Auerswald *et al.*, 2009; KNMI, 2015).

2. Het meevoeren van bodemdeeltjes

De tweede stap in het erosieproces is het verplaatsen van de losgemaakte bodemcomponenten door middel van afstromende water. Dit proces is allereerst afhankelijk van het reliëf en de hoeveelheid neerslag. De bodem heeft afhankelijk van de textuur, bodemdiepte en gelaagdheid (opbouw) een bepaalde capaciteit om water op te nemen en te laten infiltreren naar de ondergrond. Als deze capaciteit overschreden is of de bodem na een zekere duur van de regenbui verzadigd is, kan het regenwater niet anders dan zijn weg bovengronds zoeken. In vlakke ligging zal dat gebeuren door plasvorming aan het maaiveld; in glooiend of hellend terrein zoekt het water zich een weg naar het laagste punt. Bij dit transport ontstaan diverse geomorfologische vormen van uiteenlopende afmetingen. In deze fase kunnen steilwanden en -wandjes gedestabiliseerd worden waarbij massabewegingen kunnen optreden in de vorm van af- en instortende wanden en hellingen (afkalving). Dit proces is in Zuid-Limburg slechts beperkt van omvang. Al naar gelang de intensiteit van het erosieproces ontstaan rills, gullies of kloofvormige dalen (Tabel 2.2.1). Rills zijn ondiepe geulen en geultjes en vertonen meestal een dendritisch (boomvormig vertakt) patroon. De in akkers ontstane rills worden elk jaar meestal weer dichtgeploegd. Rills kunnen samenvloeien tot diepere en bredere geulen (gullies) en zelfs tot kloofvormige erosiedalen, in Zuid-Limburg aangeduid als grubben. Deze zijn deels in gebruik (geweest) als 'holle wegen'.

3. Het sedimenteren van bodemdeeltjes (sedimentatie)

De derde fase van het erosieproces is het sedimenteren van het met afstromend water meegevoerde bodemmateriaal. Sedimentatie, modderstromen, en massabewegingen samen worden wel hellingprocessen genoemd (Rice, 1977). Sedimentatie vindt plaats in relatief lage en vlakke terreingedeelten waar de stroomsnelheid van het met waterverzadigde bodemmateriaal

zodanig is afgenomen dat het meegevoerde materiaal kan neerslaan, bijv. aan de hellingvoet of in droge of beek-of rivierdalen. Op kleinere schaal doet dit zich voor op relatief vlakke hellinggedeelten (terrassen en erosie-nissen, groeves) of achter natuurlijke of antropogene obstakels, zoals dammetjes en verhoogde paden, in erosiedalen in de helling (droogdalen, gullies en grubben). Deze sedimentatie kan leiden tot terrasvormen (o.a. graften) in de helling en tot waaierachtige vormen die aaneen kunnen groeien tot colluviale hellingvoeten in vlakke dalbodems. Grootschaliger terrasvormen en hellingvoetzones komen in Zuid-Limburg ook voor maar stammen uit historische erosieperioden, bijvoorbeeld de uit de Romeinse tijd stammende erosiefase bij Gronsveld aan de westzijde van het Savelsbos (De Waal, 1982).

Tabel 2.2.1: Veel voorkomende erosietypen in het Heuvelland.

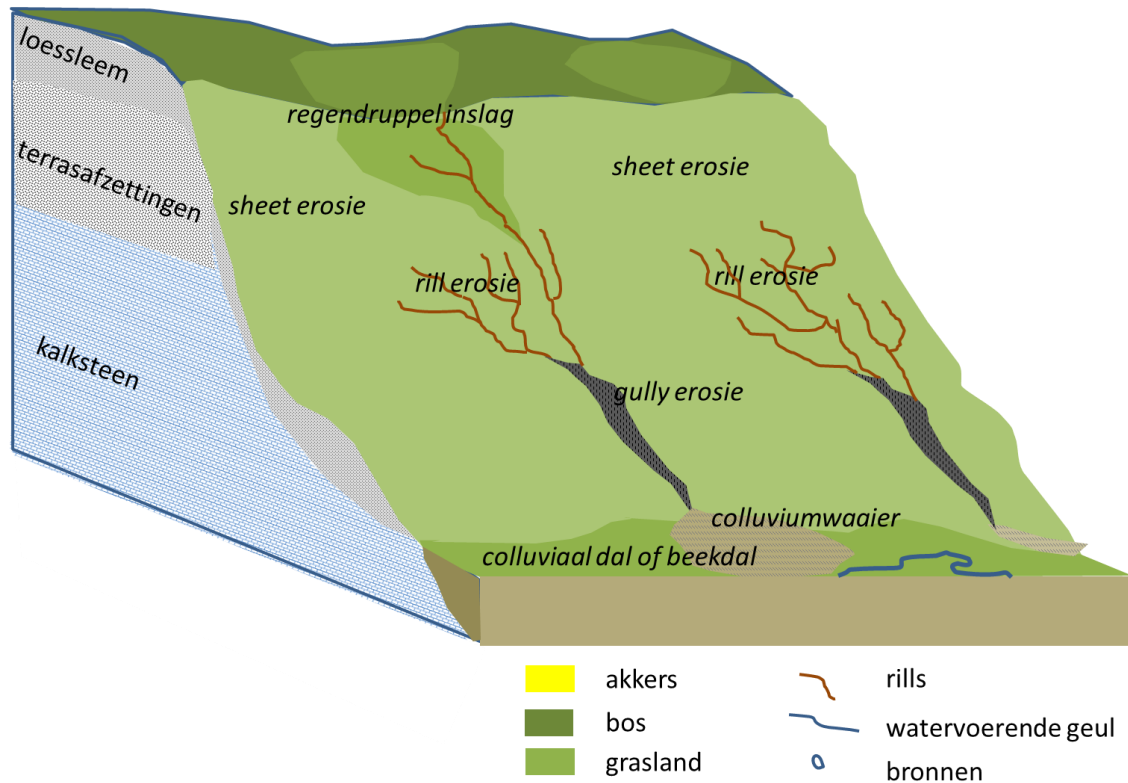
Table 2.2.1: Commonly occurring types of erosion in the Heuvelland region.

Erosietype	Kenmerken
Sheet	Over een breed oppervlak optredende niet-insnijdende erosie
Rill	Ondiep insnijdende erosie door concentratie van afstromend water
Gully	Diep insnijdende erosie door concentratie van afstromend water
Kloofvormig dal	Extreme vorm van gully-erosie

2.2.3 Hoofdtypen van bodemerosie in Zuid-Limburg in relatie tot schaal en intensiteit van erosie en sedimentatie

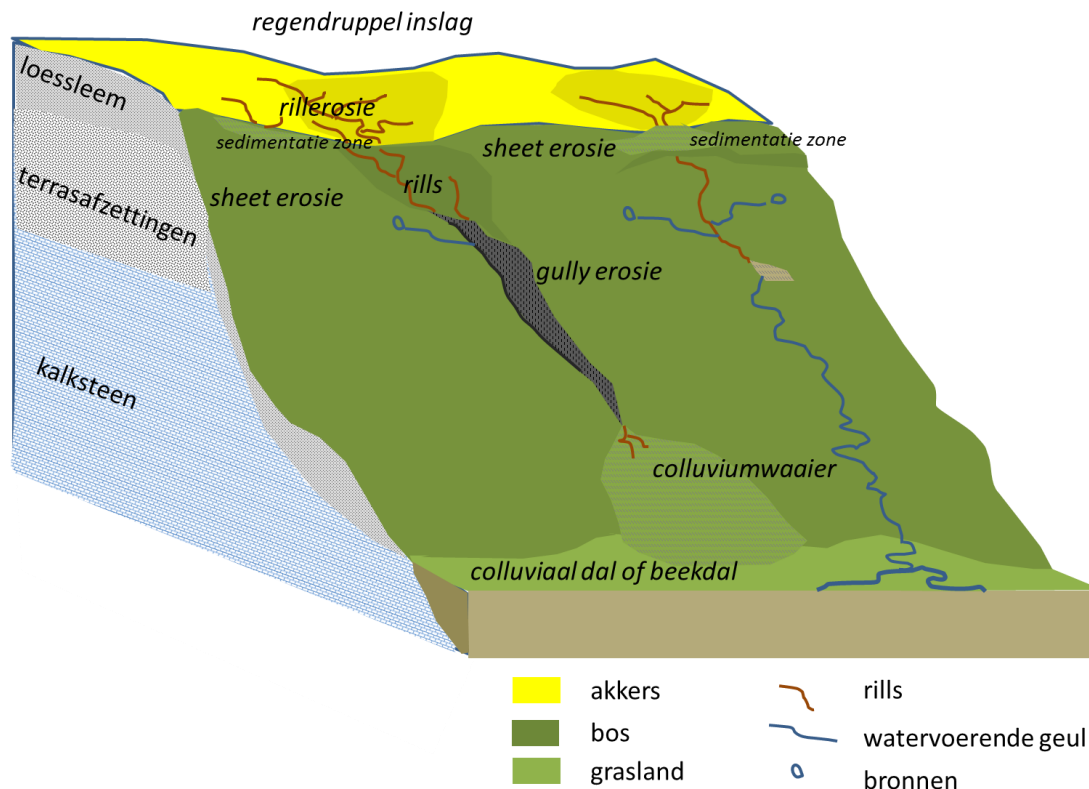
De vier in de vorige paragraaf geïntroduceerde erosietypen zijn in een min of meer natuurlijke situatie gebonden aan specifieke zones (Figuur 2.2.1). De actuele situatie in Zuid-Limburg (Figuur 2.2.2) wijkt echter af doordat de bron van erosie al op het glooiende, veelal tot landbouwgebied ontgonnen plateau ligt en door een uitgebreide infrastructuur van wegen en paden die de verschillende vormen van erosie sterk beïnvloeden. Deze onnatuurlijke situatie geeft aanleiding tot versnelde erosie.

Erosie kan op de plateaurand en binnen een Natura 2000-gebied met verschillende intensiteit en omvang plaatsvinden, afhankelijk van de in § 2.3 beschreven bouwstenen. Probleem hierbij is dat kleine doorbraken en diffuse sheet-erosie alleen vlak na of tijdens perioden van hevige regenval zichtbaar zijn. Verder is de in principe evidente relatie tussen enerzijds rills en gullies en anderzijds het erosieproces na lange perioden zonder aanzienlijke erosie niet meer vanzelfsprekend. Als leidraad bij het herkennen van erosie- en sedimentatietypen in het veld worden daarom in hoofdstuk 5 per erosietype veldkenmerken beschreven in relatie tot schaal en intensiteit van het erosieproces. In deze paragraaf wordt volstaan met een algemene karakterisering van erosie- en sedimentatievormen, toegelicht aan de hand van foto's.



Figuur 2.2.1: Diagram van een helling langs een met löss bedekt plateau in een min of meer natuurlijke situatie met bos op het plateau (naar Ngapo et al., 2013). Bovenaan de helling vindt sheet-erosie plaats die hellingafwaarts overgaat in rill-erosie. Onder in de helling concentreert het water zich via een boomvormig patroon van rills in gullies die uitmonden in een colluviaal of fluviatiel dal. Onderaan de helling kunnen colluviumwaaiers ontstaan. Deze omstandigheden komen redelijk goed overeen met de situatie op de Bemelerberg waar versnelde erosie heeft plaatsgevonden na recent plaggen van de voedselrijke bovengronden van de helling. Op de plateaurand bevindt zich een eerder aangelegde bufferstrook van dicht struweel dat instroom vanaf het plateau voorkomt.

Figure 2.2.1: Diagram of a slope along a loess-covered plateau in a more or less natural situation with a wooded plateau (after Ngapo et al., 2013). Sheet erosion will occur at the top of the slope and turn into rill erosion downward. In the lower part of the slope water is concentrated by a dendritic pattern of rills into gullies which run into a colluvial or fluvial valley. At the base of the slope colluvial fans can develop. These conditions hold more or less for the Bemelerberg where accelerated erosion took place after recent sod-cutting of the nutrient-rich top soil of the slope grasslands. On the plateau margin an earlier planted dense scrub prevents runoff from the plateau.



Figuur 2.2.2: Diagram van een helling langs een met löss bedekt plateau zoals dit veelvuldig in Limburg voorkomt en aanleiding geeft tot versnelde erosie. In tegenstelling tot de meer natuurlijke situatie (zie Figuur 2.2.1) begint de versnelde erosie al op de akkers op het glooiende plateau. Rillerosie en sedimentatie beginnen al voor de plateaurand. Hierdoor zijn rills en gullies al veel hoger op de helling te vinden en kan sedimentatie bovenin de bosrand (of bufferzone) plaatsvinden. Gullies kunnen door terugschrijdende erosie de akkerrand bereiken en er kunnen zelfs kloofvormige dalen (grubben) ontstaan. Beneden aan de helling kunnen colluviumwaaiers ontstaan. Deze situatie komt o.a. voor in het Kloosterbos. Ten noorden van de Geul is er sprake van een dikker lösspakket en komt de kalksteen vrijwel nergens aan het oppervlak. In de zone met terrasafzettingen (terraskleien) komen bronniveaus voor.

Figure 2.2.2: Diagram of a slope along a loess-covered plateau as commonly occurring in Limburg and resulting in accelerated erosion. Contrary to the more natural situation (see Figure 2.2.1) accelerated erosion starts already in the fields on the gently sloping plateau and rill erosion and sedimentation occur already before the plateau margin as well. As a result of this accelerated erosion, rills and gullies are present much higher on the slope and sedimentation can occur in the buffer zone or slope woodland near the plateau margin. Gullies can reach the fields by receding erosion and even can develop into gorge-like valleys. At the base of the slopes colluvial fans can develop. These circumstances hold e.g. for the Kloosterbos site. North of the river Geul, loess sediments are thicker such that the calcareous bedrock almost nowhere reaches the surface. Springs occur in the zone with terrace clays.

Erosie

De meest voorkomende vorm van erosie betreft lokale, kleine doorbraken die zich hellingafwaarts kunnen samenvoegen tot een vorm van oppervlakkige erosie en sedimentatie in de vorm van sheet-erosie en ondiepe rills, zoals o.a. is te zien in het Bunderbos en Savelsbos.

Sheet-flow is herkenbaar door het ontbreken van strooisel ('kale bodem'), gecombineerd met accumulatie van strooisel in 'mini vloedmerken' (Figuur 2.2.3A en B). Bij afstroom over kleiige hellingbodems (kalkverweringsgronden en aangesneden terraskleien) kan zeker na lange perioden van droogte een 'gilgai'-patroon¹ ontstaan met hobbels en ribbels (Figuur 2.2.3C). Dit patroon is het resultaat van sheet-flow met grote snelheid waarbij het afstromend water vooral eroderend werkt langs de (prismatische) structuurelementen van kleirijke bodems die bijvoorbeeld ook duidelijk worden na droge perioden in de vorm van krimpscheuren. Uiteindelijk zal ook hellingafwaarts de erosie meer gaan insnijden.

Meer geconcentreerde stromen kunnen ontstaan door interactie met contourvolgende of hellingafwaarts lopende paden. Deze situatie leidt tot rills of een combinatie van rills en sheet-flow. Op convexe overgangen tussen agrarisch gebied en natuurgebied kunnen erosie en sedimentatie oppervlakkig en over een breed front plaatsvinden (sheet-erosie). Vanuit zgn. erosie-nissen kan deze oppervlakkige erosie zich hellingafwaarts weer concentreren in een dalvormige laagte en zich gaan insnijden als rills en gullies (o.a. te zien in het Kloosterbos). Aan de koppen van grubben kan erosie zich veel heftiger openbaren. Gully- en diepe rill-erosie leiden hier tot terugschrijdende erosie tot in de akker of het grasland. Afkalving van de steilwanden van de gullies en grubben is dan het gevolg. In deze situatie kunnen gangen van o.a. dassen op de overgang van akker naar bos fungeren als aangrijpingspunt voor heftige erosie.

Sedimentatie

Sedimentatievormen zijn niet altijd goed herkenbaar in het veld. Oppervlakkige afzetting van dunne lagen sediment op de plateaurand zijn alleen goed herkenbaar als het om een recent erosieproces gaat waarbij afstroomp Patronen vaak zichtbaar worden door verplaatsing van strooisel dat accumuleert in de vorm van kleine vloedmerken (zie kopje Erosie), die in de rijke bossen van Zuid-Limburg slechts één groeiseizoen zichtbaar blijven. Dit geldt ook voor sedimentatie in de vorm van een lössfilm over de bodem, vooral goed te onderscheiden op bouwland. De korstige gelaagdheid met geringe waterdoorlatendheid (Figuur 2.2.3D) zijn het gevolg zijn van structuurverlies door druppelinslag. Doordat de druppelinslag onder bos gering is, ontbreekt deze vorm van verslemping daar (Figuur 2.2.3E). De gelaagdheid verdwijnt onder invloed van bodemactiviteit.

Dikkere pakketten blijven echter goed zichtbaar. Gering contrast tussen de bovenlaag en de ondergrond duidt op recente afzetting van het colluvium (Figuur 2.2.3F). Daar waar een strooiselpakket of een humusrijke bovengrond bedekt zijn, blijft nog lang een contrast zichtbaar tussen humusrijk en humusarm materiaal. Recente opvullingen van dalen met dikke sedimentpakketten zijn allereerst herkenbaar door het ontbreken van een vegetatie (Figuur 2.2.3G). Colluvium blijft ten opzichte van bijvoorbeeld löss in situ en kalkverweringsmateriaal herkenbaar aan de enigszins vuile kleur en bijmenging van artefacten als stukjes houtskool, baksteen en (tegenwoordig) stukjes plastic. Ook in oude pakketten colluvium verdwijnt de aanvankelijke herkenbare gelaagdheid uiteindelijk.

¹ Gilgai, zoals beschreven in de Australische literatuur, ontstaat door krimp en zwel van kleibodems onder invloed van klimaat met een duidelijke afwisseling van droge en natte seizoenen.



Figuur 2.2.3: Erosie en sedimentatievormen op hellingen in Natura 2000-gebieden in het Heuvelland. A. Mini-vloedmerken. B. Sheet-erosie met vloedmerken. C. 'Gilgai'. D. Dungelaagd sediment. E. Sheet-erosie in bos met gelaagd humusprofiel. F. Dik colluviumpakket. G. Recente afzettingen (foto's: Rein de Waal, 2016)

Figure 2.2.3: Forms of erosion and sedimentation on slopes in Natura 2000 sites in the Heuvelland region. A. Small flood marks. B. Sheet erosion with flood marks. C. 'Gilgai'. D. Thin-layered sediment. E. Sheet erosion in woodland with layered humus profile. F. Thick colluvial sediment. G. Recent sediments.

In concave erosie-nissen bij de plateaurand kan eveneens een dun laagje colluvium worden afgezet als gevolg van laag-dynamische erosie. Lager op de helling lopen deze nissen uit in meer dal- of geulvormige erosievormen. Accumulatie in reeds bestaande rills, gullies en grubben (accumulatie in smalle banen) is veel dikker en daardoor langere tijd zichtbaar in de minerale bovengrond en het humusprofiel. Een bijzondere situatie doet zich voor als het sediment geconcentreerd, bijv. vanuit het bos, in kleine waaiervormen aan de voet van de helling wordt afgezet. Dit vindt meestal plaats op de overgang van natuurgebied naar de door de landbouw benutte dalbodem (bijv. de Riesenberg).

2.2.4 Karteerbare kenmerken

Volgens de Universal Soil Loss Equation (Wischmeier & Smith, 1978) wordt het potentiële, jaarlijkse bodemverlies (gemiddeld op lange termijn) bepaald door de volgende factoren:

- *Climate erosivity (rainfall R)*
- *Soil erodibility (K)*
- *Topography (slope length L en steepness S)*
- *Landuse (crops C), management en practices (P)*.

Climate erosivity heeft betrekking op het neerslagpatroon dat vanwege de grote veranderlijkheid zelfs binnen de beperkte omvang van het studiegebied niet is meegenomen². *Management* is lastig mee te nemen omdat hiervoor geen kaarten beschikbaar zijn. Bovendien is het de vraag of dit aspect onderscheidend is omdat er in het kader van erosiebestrijding in Zuid Limburg al diverse maatregelen (zoals niet-kerende grondbewerking) zijn voorgeschreven. Ook kleine landschapselementen beïnvloeden de afvoer maar deze zijn evenmin betrokken in de analyse want deze vergen een meer gedetailleerde (lokale), lastig te automatiseren beoordeling.

Binnen het huidige onderzoek worden de overige factoren vertaald in karteerbare kenmerken als input voor de erosiegevoeligheidskaart:

- Hellingpercentage (*Steepness*). Hoe steiler hoe groter de gevoeligheid;
- Hellinglengte (*Slope length*) bepaalt de erosieve kracht van het afstromende water; deze invloed wordt vaak onderschat ten opzichte van de hellingshoek, zoals in situaties met zeer lange maar flauwe hellingen. Wij gebruiken omvang van het achterliggend (bovenstrooms) gebied/afwaterend oppervlak als benadering van hellinglengte. Hoe groter het achterland hoe groter de hoeveelheid water en daarmee ook de erosieve kracht van het afspoelende water;
- Bodemtype (*Soil erodibility*). Lössafzettingen zijn bijvoorbeeld gevoeliger voor erosie dan kalksteenafzettingen;
- Landgebruik (*Land use*). Bos en grasland houden de bodem vast in tegenstelling tot akkerland, waar de neerslag direct inwerkt op de bodemdeeltjes.

In Tabel 2.2.2 zijn de karteerbare kenmerken samengevat met een hier voorgestelde indeling in klassen. Alle factoren behalve 'afwaterend oppervlak' hebben betrekking op afzonderlijke gridcellen op de kaart. De factor 'afwaterend oppervlak' echter plaatst de gridcellen in hun ruimtelijke context. Aanname daarbij is dat erosie toeneemt met de omvang van het afwaterend oppervlak.

Er zijn twee criteria met minimumscore 1 en twee met minimumscore 0; alle criteria hebben maximumscore 5. Er zijn op voorhand geen argumenten voor een differentiatie in weging van de criteria³. We hebben er daarom voor gekozen de overall erosiegevoeligheid te bepalen door de deelscores op te tellen. Op basis van de gevolgde procedure krijgt iedere cel in het gebied daarmee een waarde tussen 2 en 20 (Tabel 2.2.3).

2 We spreken dan ook niet meer van een erosierisicokaart maar van een erosiegevoeligheidskaart.

3 Ook het gebruik van de aldus vervaardigde erosiegevoeligheidskaart heeft geen aanleiding gegeven tot differentiatie in weging van factoren.

Tabel 2.2.2: Karteerbare kenmerken van de erosiegevoeligheidskaart, informatiebron, klasse-indeling en gevoeligheidsscore voor erosie (1=verwaarloosbaar tot zeer laag, 2=laag, 3=matig, 4=hoog, 5=zeer hoog).

Table 2.2.2: Surveyable features of the erosion susceptibility map, information source, classes and score of susceptibility to erosion (1=negligible to very low, 2=low, 3=moderate, 4= high, 5=very high).

Karteerbaar kenmerk	Informatiebron	Klassen	Gevoeligheids-score voor erosie
Hellingspercentage	AHN2 (bewerkte versie zonder pits ³): 5 m resolutie	0-2%	1
		2-5%	2
		5-10%	3
		10-20%	4
		>20%	5
Oppervlakte achterland (afwaterend oppervlak)	AHN2: 5 m resolutie	< 0.1 ha	1
		0.1-0.2 ha	2
		0.2-0.5 ha	3
		0.5-1.0 ha	4
		> 1.0ha	5
Bodemtype	Bodemkaart 1 : 50 000, vlakkenkaart omgezet naar 5 x 5 m gridkaart	Lössgronden ¹	4 of 5 ⁴
		Kalksteen	1
		Groenzand (glauconiet)	4
		Niet gekarteerd	0
Landgebruik	LGN7 landgebruikskaart: 5 x 5 m gridkaart	Akkerland ²	5
		Grasland	2
		Boomgaard	2
		Bos	1
		Water, urbaan e.d.	0
		Overig	1

¹ Bijlage 2 geeft de complete vertaaltabel vanuit de bodemkaart.

² Bijlage 3 geeft de complete vertaaltabel vanuit de LGN7 eenheden.

³ Een pit is een pixel die lager ligt dan de omringende pixels, en dus geen afvoer heeft, zodat bij automatische berekening van de stromingsrichting stroming in deze pixel vastloopt (stroming verdwijnt in de pit, maar kan er niet meer uit). Daarom zijn pits opgevuld in het digitaal hoogtemodel (DEM), tot een niveau waarbij er wel afstroming naar een van de naastgelegen pixels mogelijk is.

⁴ In geval van een bovengrond met A horizont → score 5, in geval van bovengrond briklaag Bt → score 4, zie verder bijlage 2.

Tabel 2.2.3: Erosiegevoeligheidsklasse en legendakleur zoals gebruikt voor de erosiegevoeligheidskaart in relatie tot de overall score voor erosiegevoeligheid op grond van de som van scores voor criteria in Tabel 2.2.2 (overall score).

Table 2.2.3: Classes of susceptibility to erosion and colour legend used for the erosion susceptibility map and their relationship with overall susceptibility to erosion based on the sum of scores for the criteria given in Table 2.2.2 (overall score).

Erosie-gevoeligheids-klasse	Legendakleur	Overall score	Overall gevoeligheid
1	Blauw / Blue	2-4	Verwaarloosbaar tot zeer laag / Negligible to very low
2	Groen / Green	4-8	Laag / Low
3	Geel / Yellow	8-12	Matig / Moderate
4	Oranje / Orange	12-16	Hoog / High
5	Rood / Red	16-20	Zeer hoog / Very high

2.2.5 Toelichting bij de vervaardiging van de erosiegevoeligheidskaart

Deze paragraaf beschrijft hoe gridkaarten van karteerbare kenmerken van bodemerosie zijn vervaardigd. Deze kaarten worden gecombineerd tot de erosiegevoeligheidskaart zoals beschreven in de vorige paragraaf en gepresenteerd en toegepast in hoofdstuk 4.

Hellingspercentage

De AHN2 geeft per grid van 5 m × 5 m de hoogte weer in m t.o.v. NAP (Figuur 2.2.4, linksboven). Uit deze kaart is de hellingkaart afgeleid, gebaseerd op de maximale verandering in helling per cel (Figuur 2.2.4 rechtsboven). Deze kaart is vervolgens geclassificeerd volgens Tabel 2.2.2 voor de gevoeligheidskaart (Figuur 2.2.4, onder).

Achterland (afwaterend oppervlak)

Naarmate er meer water door een gridcel stroomt, kan er meer erosie plaatsvinden. Daarom is voor elke gridcel het bovenstroomse (achterliggend) gebied bepaald. Hierbij wordt allereerst op basis AHN2 de stromingsrichting vanuit elke cel bepaald in de richting van de steilste helling naar een naburige cel. Vervolgens is de gesommeerde instroming per gridcel bepaald (Figuur 2.2.5, linksboven: 'flow accumulation' met detail rechtsboven). De kaart is vervolgens vertaald in een gevoeligheidskaart op basis van de klasse-indeling in Tabel 2.2.2 (Figuur 2.2.5, linksonder met detail rechtsonder). De stroombanen zijn vaak smal door de grids van 5 m × 5 m en daardoor moeilijk te zien op de overzichtskaart (linksonder); in de detailkaart (rechtsonder) komen ze beter tot uiting.

Bodemtype

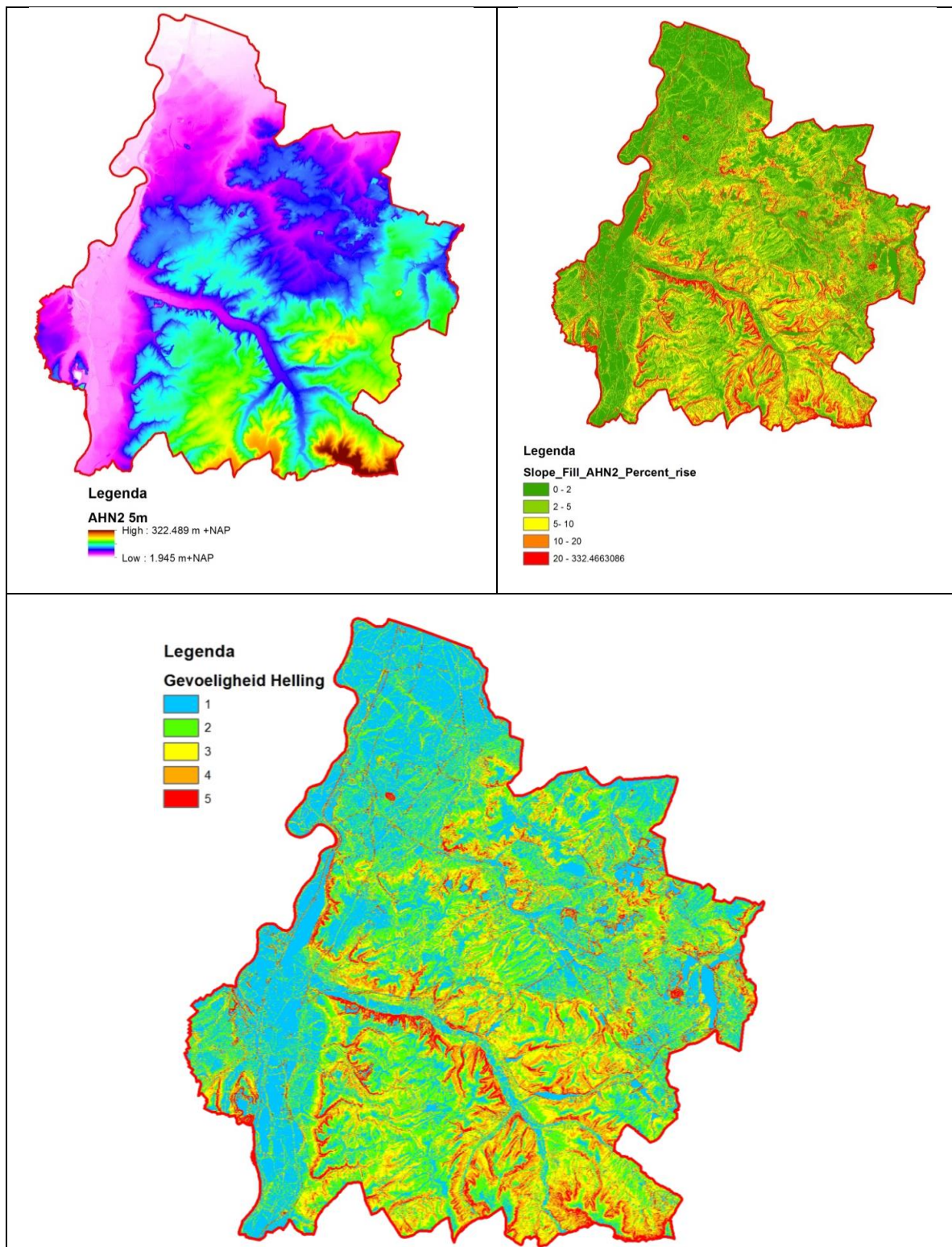
Afgezien van reliëf zijn twee aspecten van belang voor de erosiegevoeligheid van bodems: de korrelgrootte en cohesie van de bodemdeeltjes. De cohesie wordt naast het humusgehalte vooral bepaald door de aard en textuur van het bodemmateriaal. Kleideeltjes zijn uiterst klein maar vertonen zeer grote cohesie dankzij de gelaagde (micro)structuur van de kleimineralen. Bovendien bevordert een hoog kleigehalte na rijping een sterke macrostructuur. In gronden met een hoog siltgehalte zoals lössleemgronden (70-85% silt; 10-18% lutum) is de dominante korrelgrootte groter en de cohesie aanmerkelijk lager dan in gronden met een hoog lutumgehalte. De siltfractie wordt als de meest erosiegevoelige fractie beschouwd. Zand heeft een grovere korrel maar een geringere cohesie. Humus zorgt door humus-kleicomplexen voor een stabielere macrostructuur, waardoor de bovengrond minder erosiegevoelig wordt. In de beslisboom zijn deze aspecten meegewogen bij het differentiëren van het erosiegevoeligheid per bodemtype. Samengevat: lössafzettingen zijn zeer gevoelig vanwege hun korrelgrootteverdeling (textuur), lage organisch stofgehalte en zwakke structuur (Spaan *et al.*, 2010), terwijl kalkverweringskleien nauwelijks gevoelig zijn.

Per bodemtype (Figuur 2.2.6) is een inschatting gemaakt van de gevoeligheid voor erosie (Figuur 2.2.7). Zie Bijlage 2 voor de vertaling van alle voorkomende bodemtypen in het Heuvelland naar erosiegevoeligheidsklassen.

Landgebruik

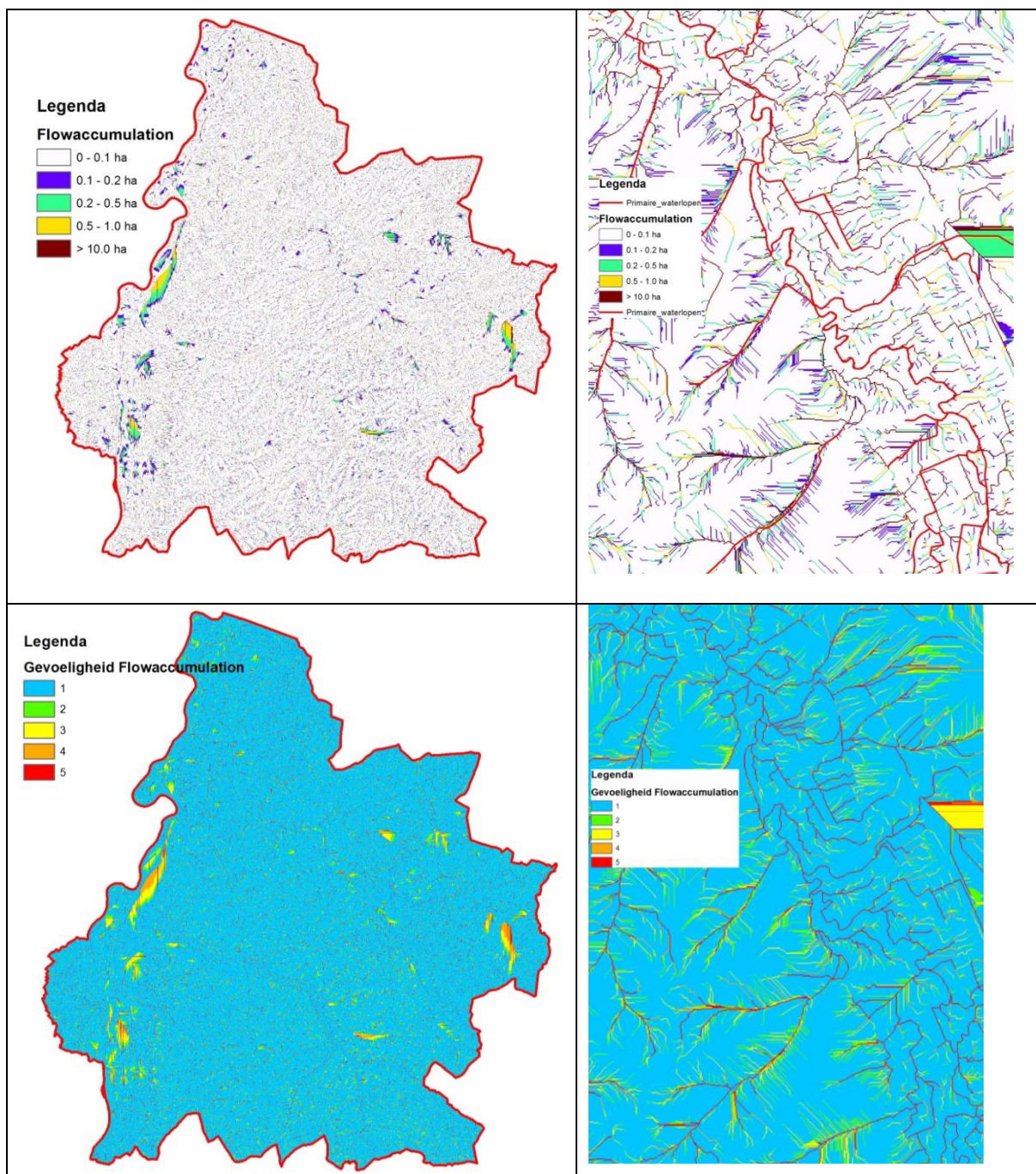
Voor het beoordelen van de erosiegevoeligheid van landgebruik is gebruik gemaakt van Landelijk Grondgebruik Nederland versie 7 (LGN7; Figuur 2.2.8). Deze meest recente versie betreft het landgebruik in 2012 (Hazeu *et al.*, 2014). Kale grond, waar de neerslag direct inwerkt op de bodemdeeltjes is gevoeliger voor erosie dan begroeide bodems, waarbij de vegetatie de grond vasthoudt; hierbij zijn houtopstanden effectiever dan gras. In Bijlage 3 is de vertaaltabel opgenomen die is gebruikt om het landgebruik te vertalen in een gevoeligheidskaart (Figuur 2.2.9).

Er is geen rekening gehouden met het gegeven dat geregeld percelen grasland worden omgezet naar akker en andersom. Bij de nadere, locatiespecifieke analyse van risicopunten moet de daar geldende historie in landgebruik worden meegenomen (zie § 5.2).



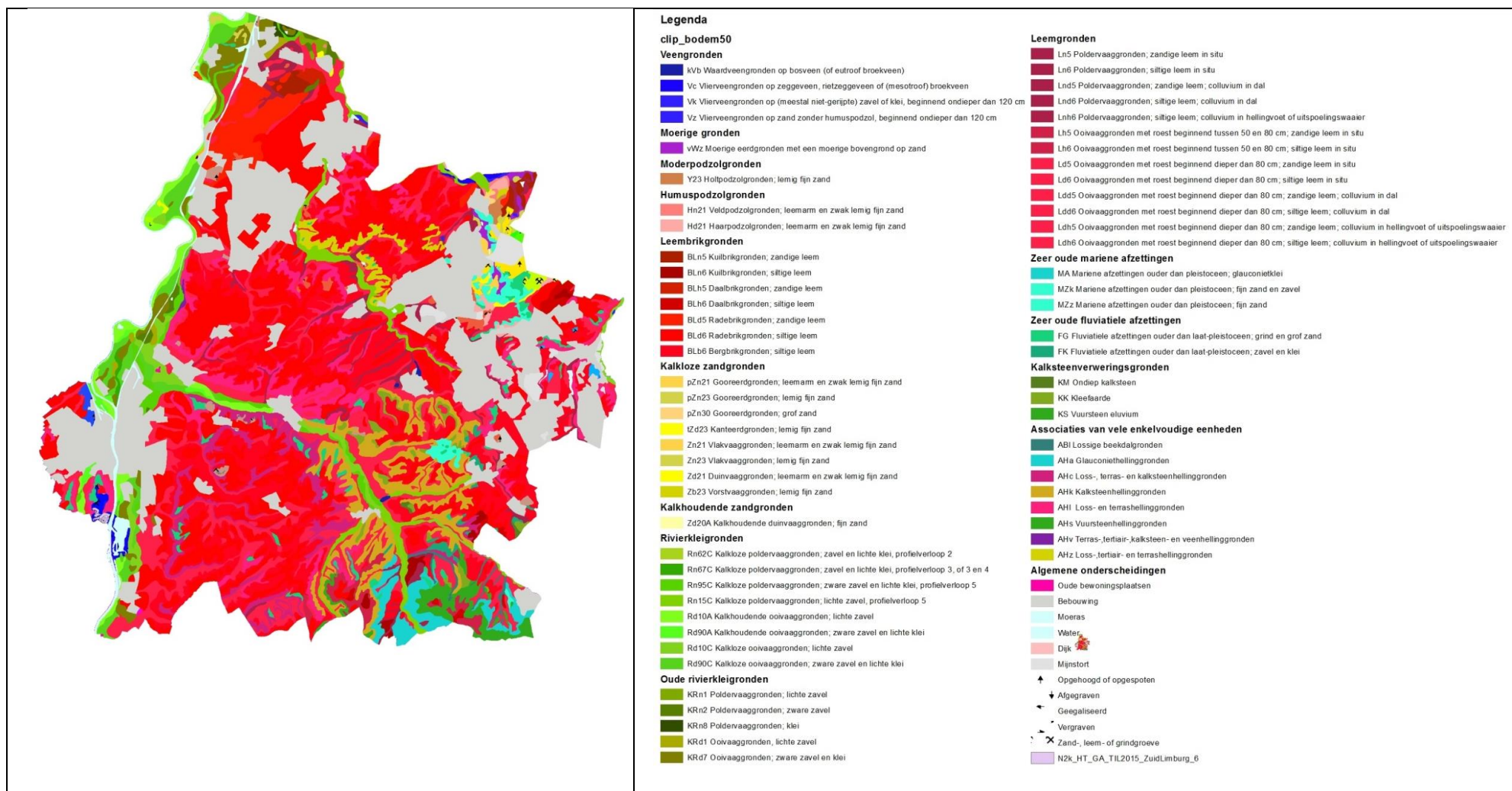
Figuur 2.2.4: Hoogtekaart AHN2 (linksboven), hellingkaart (rechtsboven) en gevoeligheidskaart voor hellingshoek in Zuid-Limburg (onder) volgens Tabel 2.2.2.

Figure 2.2.4: Elevation map AHN2 (top left), slope map (top right) and susceptibility map in South Limburg (below) based on slope classes according to Table 2.2.2.



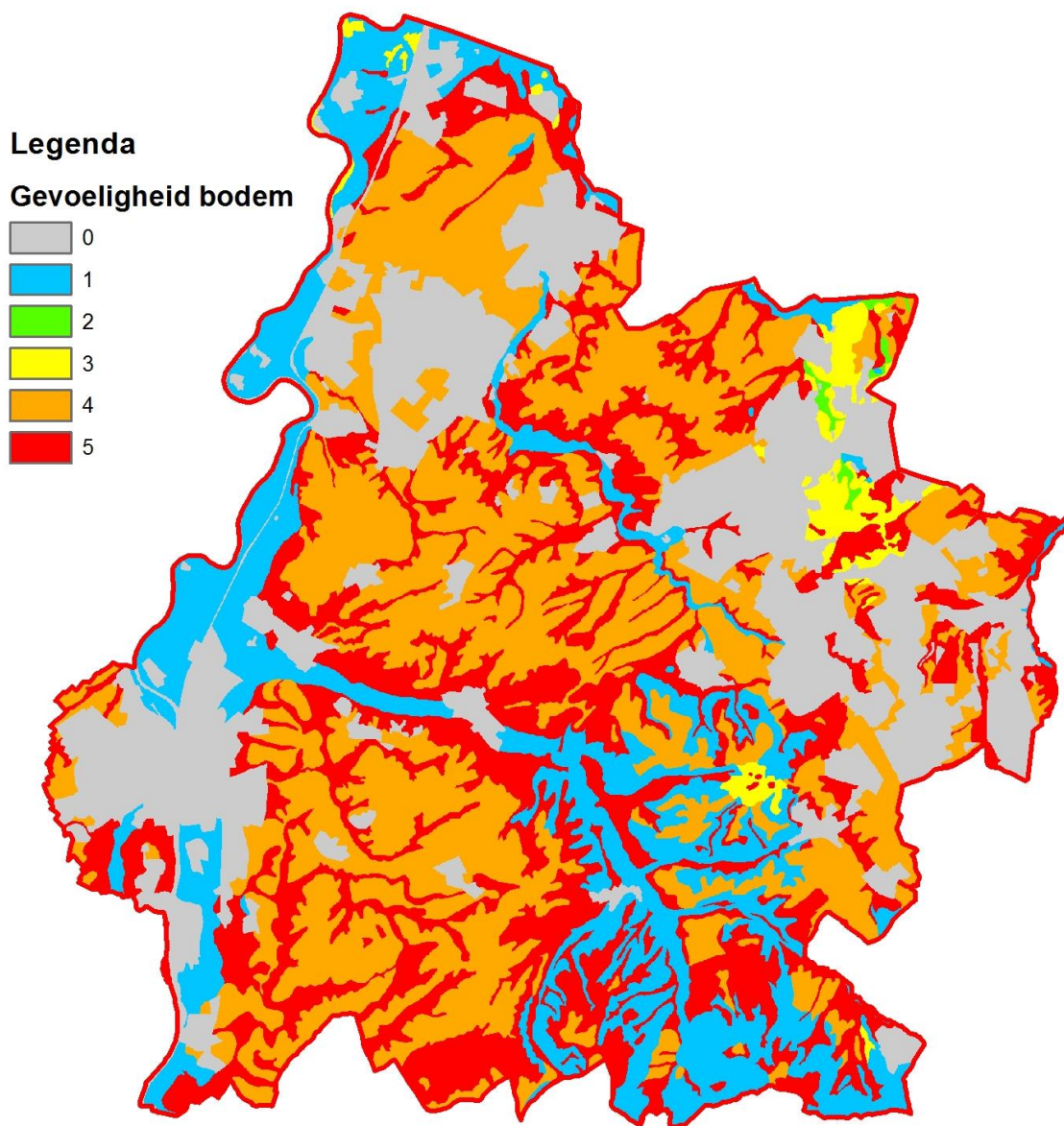
Figuur 2.2.5: Oppervlakte van het achterland van erosie per gridcel in Zuid-Limburg (linksboven) met een detailgebied (rechtsboven) en de afgeleide gevoeligheidskaart (linksonder) met detailgebied (rechtsonder).

Figure 2.2.5: Catchment area of erosion for each grid cell in South Limburg (top left) with area in more detail (top right) and derived susceptibility map (bottom left) with area in more detail (bottom right).



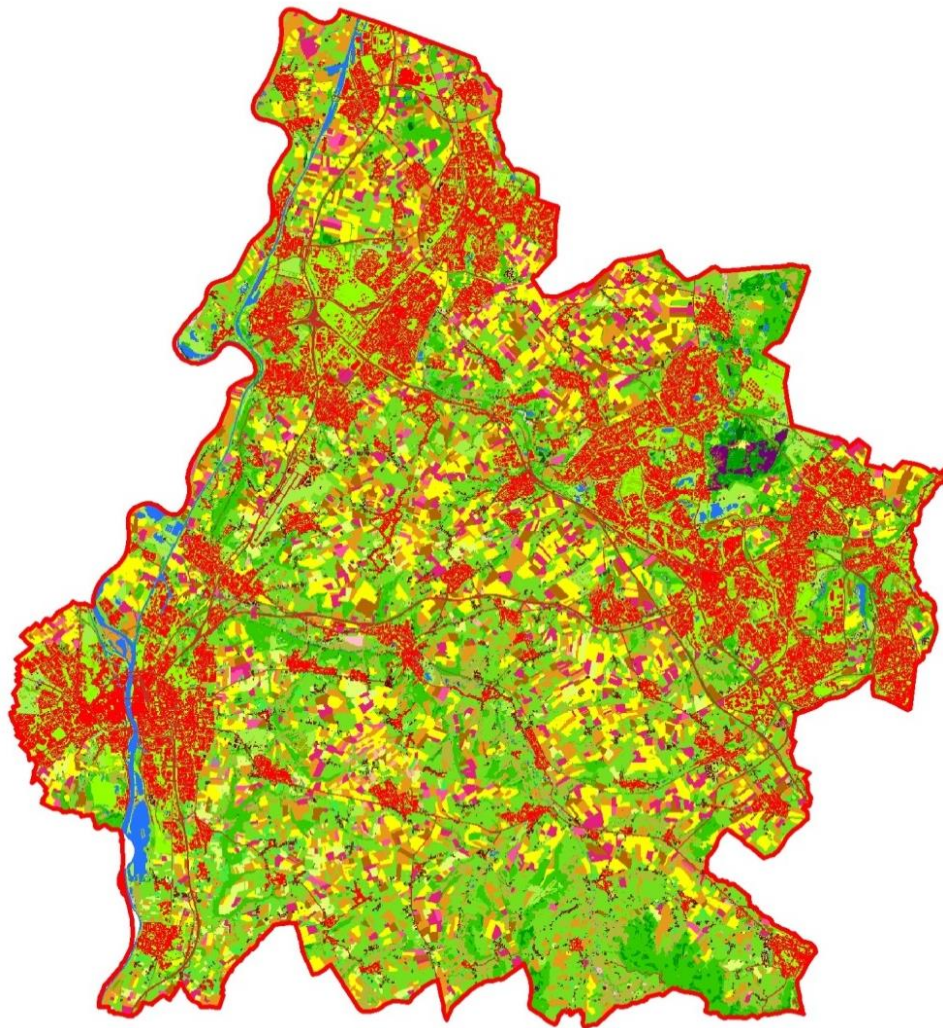
Figuur 2.2.6: Bodemkaart van Zuid-Limburg

Figure 2.2.6: Soil map of South Limburg



Figuur 2.2.7: Erosiegevoeligheid op basis van bodemtype in Zuid-Limburg

Figure 2.2.7: Susceptibility to erosion based on soil type in South Limburg.



Legenda

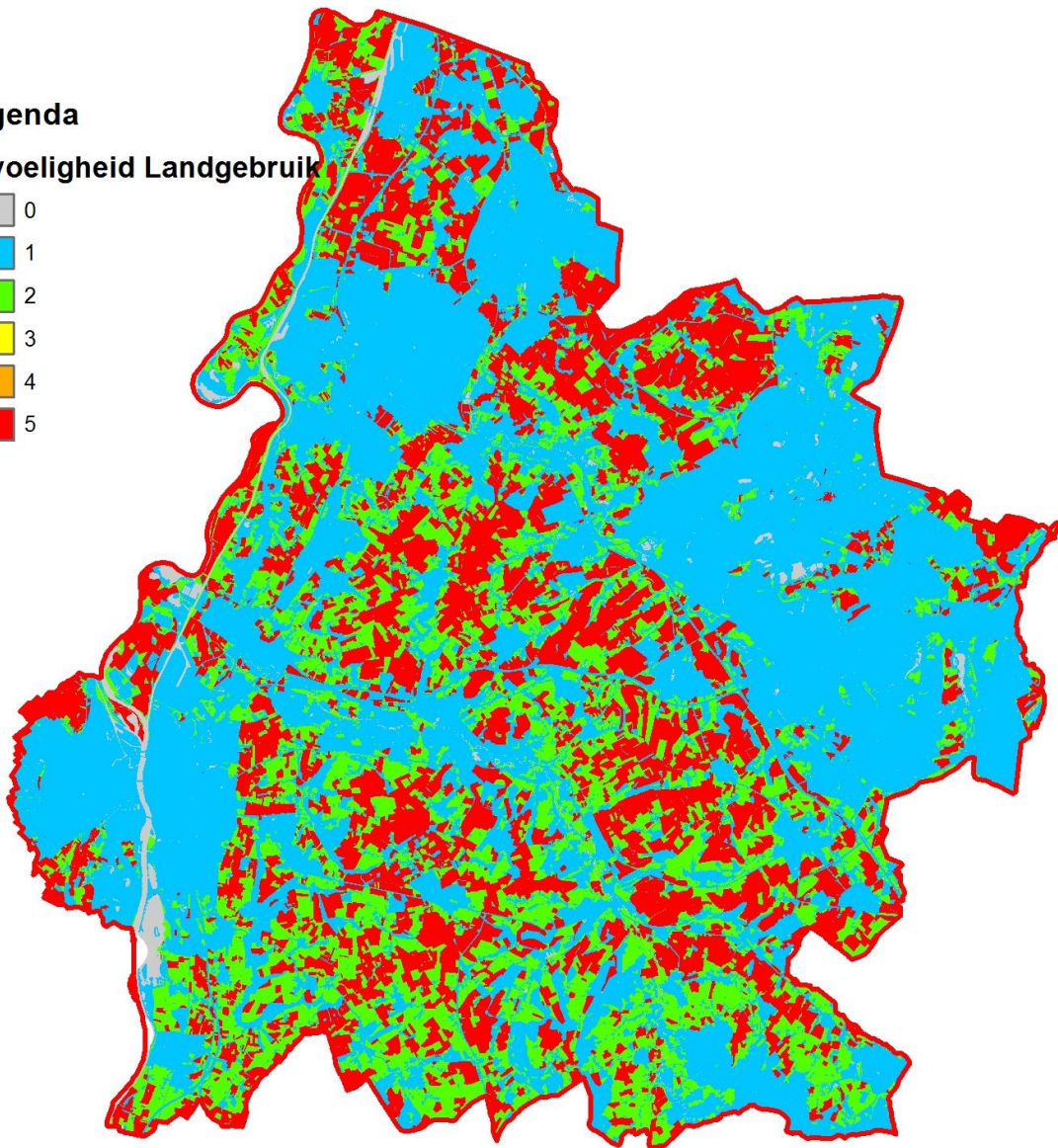
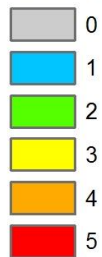
Gebiedsbegrenzing	18 - bebouwing in primair bebouwd gebied	35 - open stuifzand en/ of rivierzand
1 - agrarisch gras	19 - bebouwing in secundair bebouwd gebied	36 - heide
2 - mais	20 - bos in primair bebouwd gebied	37 - matig vergraste heide
3 - aardappelen	22 - bos in secundair bebouwd gebied	38 - sterk vergraste heide
4 - bieten	23 - gras in primair bebouwd gebied	39 - hoogveen
5 - granen	24 - kale grond in bebouwd gebied	40 - bos in hoogveengebied
6 - overige gewassen	25 - hoofdwegen en spoorwegen	41 - overige moerasvegetatie
8 - glastuinbouw	26 - bebouwing in het buitengebied	42 - rietvegetatie
9 - boomgaarden	28 - gras in secundair bebouwd gebied	43 - bos in moerasgebied
10 - bloembollen	30 - kwelders	45 - natuurgraslanden
11 - loofbos	31 - open zand in kustgebied	61 - boomkwekerijen
12 - naaldbos	32 - duinen met lage vegetatie	62 - fruitkwekerijen
16 - zoet water	33 - duinen met hoge vegetatie	
17 - zout water	34 - duinheide	

Figuur 2.2.8: Landgebruik volgens LGN7 in Zuid-Limburg.

Figure 2.2.8: Land use according to LGN7 in South Limburg.

Legenda

Gevoeligheid Landgebruik

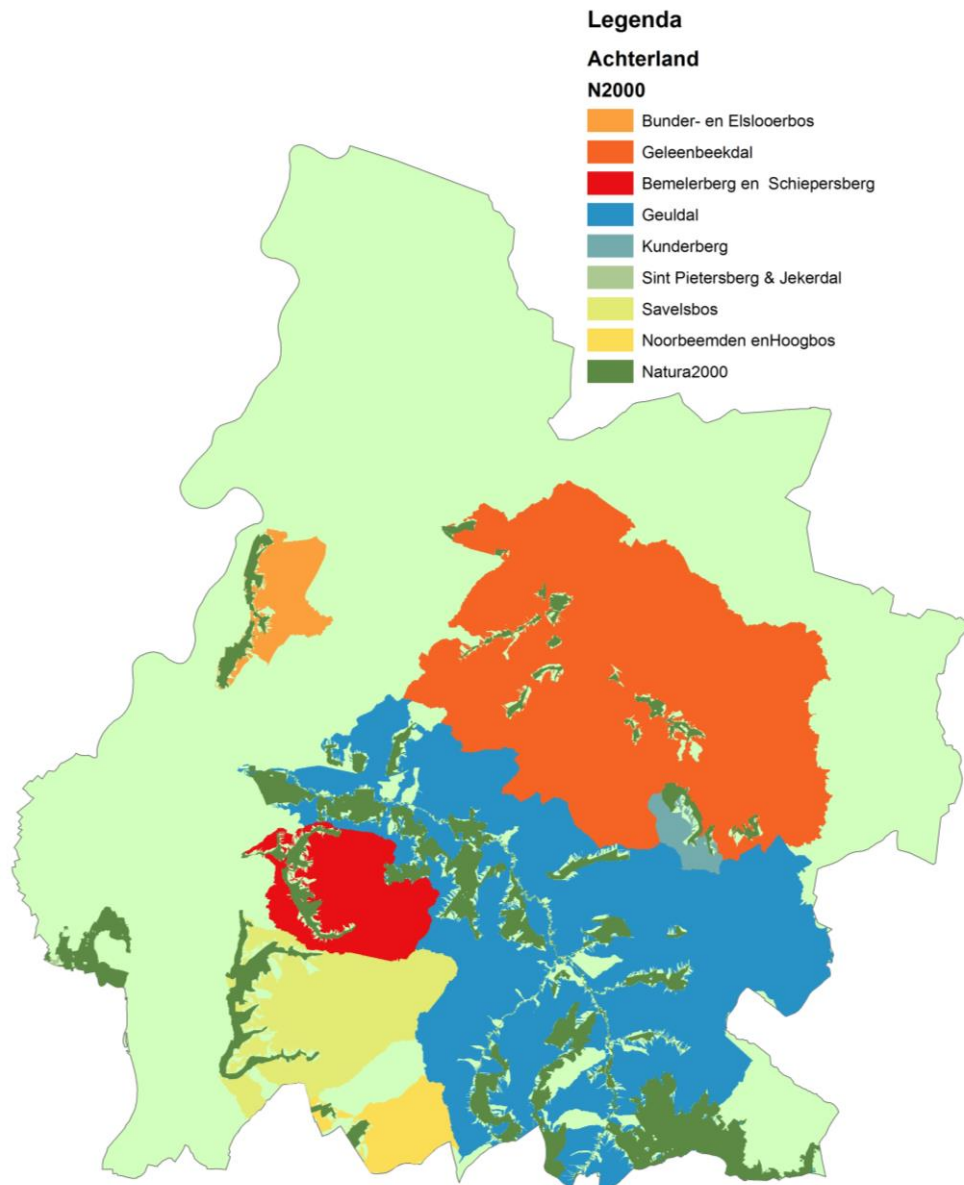


Figuur 2.2.9: Erosiegevoeligheid op basis van landgebruik in Zuid-Limburg.

Figure 2.2.9: Susceptibility to erosion based on land use in South Limburg.

2.2.6 Toelichting bij de vervaardiging van de invanggebiedenkaart

Om de mogelijke invloed van bodemerosie uit de landbouw op verschillende Natura 2000-gebieden te beoordelen, zijn alleen die delen van Zuid-Limburg van belang die via oppervlakkige instroming van water de Natura 2000-gebieden kunnen belasten. Deze zgn. invanggebieden zijn in een aantal stappen bepaald. Allereerst is een buffer van vijf meter rond de Natura-2000 gebieden gelegd. Deze bufferkaart is vervolgens over de kaart met de oppervlakte van het achterland van erosie gelegd ('flow accumulation'; Figuur 2.2.5). Voor elke gridcel in de buffer is daarmee de grootte van het achterland bekend. Omdat veel cellen een relatief klein achterland hebben, is een drempelwaarde gebruikt van 100 gridcellen (0.25 ha). Voor gridcellen met een achterland groter dan 0.25 ha is vervolgens het achterliggende stroom- of invanggebied bepaald, waarbij gebruik wordt gemaakt van de stromingsrichting. Om te voorkomen dat de natuurgebieden zelf deel uitmaken van de stroomgebieden zijn deze uit de kaart met de stromingsrichting gelaten. Als gevolg van het gebruik van de drempelwaarde zijn kleine arealen nabij Natura 2000-gebieden niet toegewezen. De eindkaart is weergegeven in Figuur 2.2.10.



Figuur 2.2.10: Het achterland (invanggebieden) van erosie voor Natura 2000-gebieden in het Heuvelland.

Figure 2.2.10: Erosion related catchment areas of Natura 2000 sites in the Heuvelland region.

2.2.7 Winderosie

Winderosie is in het Heuvelland van ondergeschikt belang ten opzichte van watererosie. 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 grondwatertrap. Gronden met lage leem- en lutumgehaltenes in de bouwvoor en diepe grondwaterstanden zijn het meest gevoelig voor verstuiven. Landschapsfactoren zoals de openheid van het landschap zijn niet meegenomen. Volgens deze kaart zijn er nauwelijks gronden in het Heuvelland die gevoelig zijn voor winderosie.

Volgens Hessel *et al.* (2011) treedt winderosie op wanneer (i) de bodem los, fijn verdeeld en droog is, (ii) wanneer de bodem vlak en kaal is en (iii) de wind sterk is. 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 & 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). Verstuivingsgevaar bestaat dus gedurende slechts een beperkte periode van het jaar, en alleen onder specifieke omstandigheden.

Zoals hierboven vermeld, treedt winderosie vooral op als de bodem los, fijn verdeeld en droog is, en zijn zandige bodems daarom gevoeliger dan bodems met fijnere en dus beter samenhangende bodemdeeltjes, zoals löss. Winderosie in Zuid-Limburg is daarom geen groot probleem, en zal waarschijnlijk alleen optreden als er onder droge omstandigheden wordt geploegd. Zelfs onder deze omstandigheden zullen er echter meer kluiten (en daarmee ruwheid) ontstaan dan bij ploegen op zandige bodems. Daarnaast zal bij de eerste regen na het ploegen de bodem weer dichtslaan, waardoor winderosie wordt beperkt. Om deze redenen is winderosie niet expliciet betrokken in het onderzoek.

2.3 Bouwstenen voor de beschrijving van bodemerosie en sedimentatie

2.3.1 Inleiding op het concept 'bouwstenen' in relatie tot het veldwerk

De gevoeligheidskaart voor bodemerosie in het Heuvelland (zie § 4.1) integreert karteerbare erosiefactoren op het schaalniveau van het landschap waarbij vijf gevoeligheidsklassen worden onderscheiden. Met deze kaart kunnen voor bodemerosie gevoelige terreindelen en locaties worden opgespoord. In hoeverre op een gevoelige locatie in de rand van een natuurgebied daadwerkelijk sprake is van een invloed van versnelde erosie moet nader worden beoordeeld. Ook maatregelen ter bestrijding of voorkoming van versnelde erosie kunnen pas worden genomen nadat eerst locatiespecifieke informatie is verzameld. De vraag is dan hoe een terreinbeheerder systematisch kan nagaan welke erosie- en sedimentatieprocessen op een bepaalde locatie optreden en hoe deze processen door lokale terreinkenmerken actueel worden beïnvloed en gestuurd.

Voor het in kaart brengen van deze informatie presenteert deze paragraaf zogenaamde bouwstenen: karakteristieke combinaties van terreinkenmerken die van invloed zijn op een bepaald traject van erosie- en/of sedimentatieprocessen in het Heuvelland. De bouwstenen zijn behulpzaam bij het eenduidig vaststellen van een verhoogde gevoeligheid voor erosie en sedimentatie. Door gebruik te maken van bouwstenen bij de beschrijving van de erosie/sedimentatie-problematiek wordt recht gedaan aan de grote lokale variatie en wordt het mogelijk om meer gericht naar oplossingen te zoeken in en rond Natura-2000-gebieden.

In de veldfase van het project zijn gebieden bezocht waarin volgens de erosiegevoeligheidskaart veel risicopunten voorkomen. Hier is gekeken naar lokale erosiefactoren en effecten op de vegetatie. De invloed van terreinkenmerken op erosie en sedimentatie is moeilijk vast te stellen in perioden met weinig neerslag; erosieverschijnselen (rills, gullies, sediment) worden in het agrarisch gebied al snel gemaskeerd door groundbewerking en gewassen en op en langs infrastructuur opgeruimd. Dankzij een periode met zware hoosbuien in juni 2016 konden veel erosiefactoren en de werking en de intensiteit van de erosieprocessen en hun invloed op de natuurterreinen goed in beeld worden gebracht. Ook het functioneren van bufferstroken kon goed worden beoordeeld.

Bij de selectie van de gebieden voor veldwerk is ervoor gezorgd dat naast hellingbossen ook kalkgraslanden aandacht kregen en dat de onderzoeksgebieden deels werden geflankeerd door bufferzones (zowel gras als struweel) en verschillende vormen van landgebruik (weide, akker, boomgaard). De bezochte gebieden zijn Kloosterbos-Oost, Ravensbos, Biebos, Savelsbos (o.a. Riesenbergr, Schone Grub), Bemelerberg/Schiepersberg (kalkgrasland), Berghofweide (kalkgrasland) en Bunderbos.

Op grond van deze veldinventarisatie is een lijst met factoren opgesteld die bijdragen aan de het ontstaan van versnelde erosie op een bepaalde locatie. Deze factoren zijn geordend en worden hier gepresenteerd in de vorm van twee groepen bouwstenen:

1. Bouwstenen voor het beschrijven van combinaties van relevante terreinkenmerken op de grens van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied (meestal om en nabij de plateaurand):
 - L: Landgebruik en vegetatie (inclusief eventuele bufferstroken);
 - R: Geomorfologische aard en positie van de plateaurand;
 - P: Paden en wegen langs de plateaurand;
 - W: Wallen en ruggetjes op de plateaurand;
2. Bouwstenen voor het beschrijven van combinaties van relevante terreinkernmerken binnen Natura 2000-gebieden:
 - H: Hellingvormen en paden en obstructies in en op de helling.

Deze twee groepen bouwstenen worden gepresenteerd in de volgende paragrafen § 2.3.2 en § 2.3.3.

In hoofdstuk 5 worden voor het beoordelen van de erosiegevoeligheid van specifieke locaties (zoals risicopunten) de in dit hoofdstuk gepresenteerde bouwstenen gecombineerd waarbij zowel de interactie tussen de bouwstenen als schaal en intensiteit van erosie en sedimentatie worden meegenomen.

2.3.2 Bouwstenen op de grens van landbouw- en natuurgebied

Op de grens van landbouwgebied naar natuurgebied wordt erosie door verschillende terreinkenmerken beïnvloed en gestuurd: landgebruik (L), ligging en geomorfologische aard van de plateaurand (R) en de interactie met eventueel aanwezige paden en wegen (P) alsook met wallen (W).

Categorie L: Landgebruik en vegetatie (inclusief eventuele bufferstroken)

Hoe geringer de bodembedekking des te gevoeliger de bodem is voor de eroderende werking van druppelinslag⁴. Akkers met gewassen zoals aardappels, voederbieten en granen zijn daarom gevoelig voor erosie (Tabel 2.3.1; Figuur 2.3.1).

Tabel 2.3.1: Crop management factor (C-factor) bepaald aan de hand van bodembedekking en teeltpraktijken voor enkele landgebruikstypen in West-Europa. Deze factor is een maat voor de erosiegevoeligheid ten opzichte van een braakliggende akker onder dezelfde omstandigheden (Bakker et al., 2008).

Table 2.3.1: Crop management factor (C-factor) determined by soil cover and cultivation practices for some land use types in western Europe. This factor describes susceptibility to erosion relative to a fallow field under the same conditions (Bakker et al., 2008).

Landgebruik / land use	C-factor
Braak / Fallow	1.0
Haver, gerst, tarwe / Oat, barley, wheat	0.21-0.31
Aardappelen, mais, bieten / Potatoes, maize, beet	0.34-0.36
Gras (tijdelijk) / Grass (temporary)	0.16
Grasland / Grassland	0.01
Bos / Woodland	0.001
Boomgaard (met ondergroei) / Orchard (with undergrowth)	0.05
Wijngaard / Vineyard	0.2

4 Normen 'voor het in goede landbouw- en milieuconditie houden van landbouwareaal' zijn onderdeel van de voorwaarden van het GLB om voor de hectare-toeslag in aanmerking te komen. Zie voetnoot § 2.2.5.

Opvallend is dat de fijnere graansoorten zoals gerst en tarwe ondanks de relatief hoge plantdichtheid afstroming van water en sediment niet substantieel verminderen ten opzichte van aardappelen e.d. Dit is mede afhankelijk van het groeistadium van het gewas. In het algemeen beschouwt men grasland gevoeliger voor erosie dan bos in vergelijkbare ligging (Tabel 2.3.1). Veldwaarnemingen in Zuid-Limburg wijzen in dezelfde richting. De afstroomsnelheid wordt door de grasmat sterk geremd doordat door de dichte wortelmat minder bodemmateriaal wordt losgemaakt na hevige regenbuien dan in akkers. Na waterverzadiging van de grasmat vindt wel brede afstroming van regenwater plaats die in extreme gevallen rills in het grasland kunnen vormen (Figuur 2.3.2). Ook hier is het groeistadium van de grasmat van belang. Pas aangelegd grasland is veel gevoeliger voor afstroming dan ouder grasland. Half-natuurlijke graslanden zijn resistent tegen erosie vanwege de hoge bedekking van de bodem. Enerzijds vermindert dit de impact van regendruppels en anderzijds vangt het veel sediment af. Alleen bij dynamische concentraties van afstromend water kunnen net als in cultuurgrasland ondiepe rills ontstaan.



Figuur 2.3.1: Erosie in akkers in het Heuvelland (foto's: Rein de Waal, 2016).

Figure 2.3.1: Erosion in arable fields with different crops in the Heuvelland region.

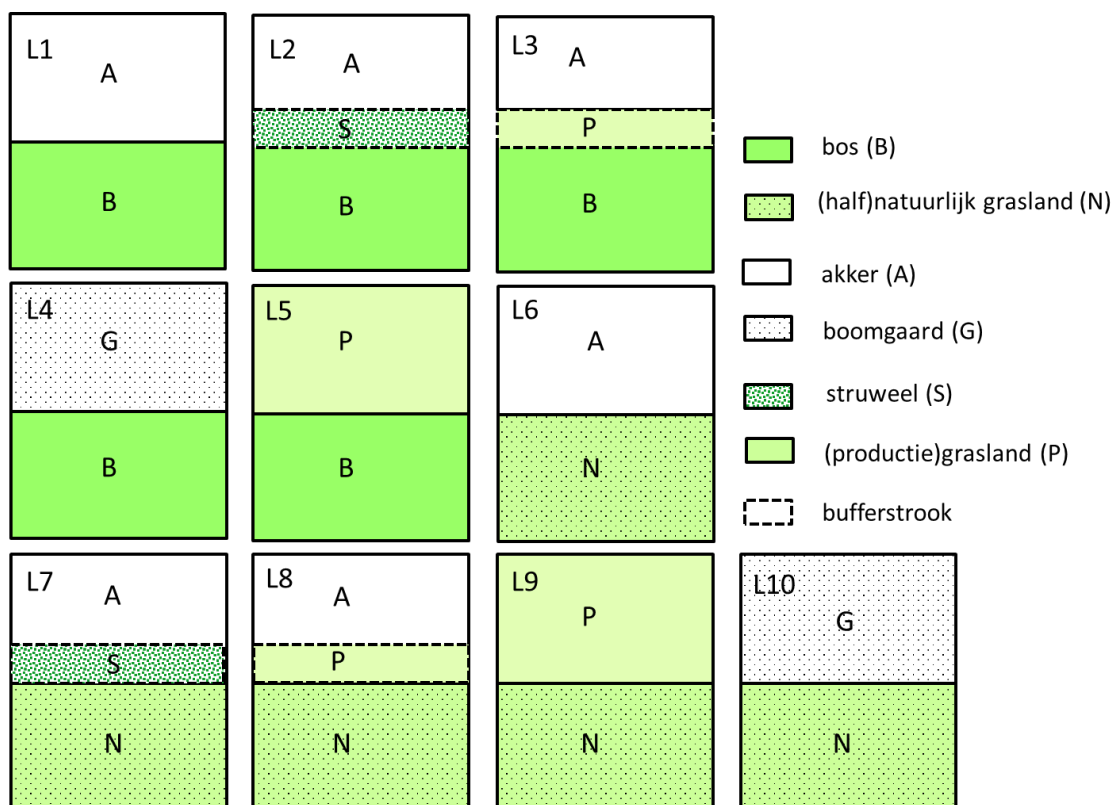


Figuur 2.3.2: Rill-erosie in een grasland bij de Berghofweide (foto: Rein de Waal, 2016).

Figure 2.3.2: Rill erosion in a grassland near the Berghofweide

Bossen zijn het minst gevoelig voor erosie omdat het bladerdak de eroderende inslag van regendruppels verhindert. De bodem onder het bladerdak is echter nooit volledig bedekt door de ondergroei. Het bos is daardoor vooral gevoelig voor aanvoer van water en sediment van buiten het bos. Uit onderzoek in hellingbossen op lössgronden in Nedersaksen blijkt dat op hellingen van 15% de humushoudende bovengrond 8-15 cm dunner is dan op hellingen van minder dan 5% (Scheffer & Schachtschabel, 1976). Boomgaarden hebben vaak een ondergroei met gras en zijn daardoor minder gevoelig voor erosie dan akkers. Bij moderne laagstamboomgaarden is de gerichtheid van de bomenrijen (ten opzichte van de contour) van groot belang. Boomgaarden met een geringe grasondergroei zijn echter wel zeer gevoelig voor erosie (Bakker *et al.*, 2008; Pfeiffenberger & Fock, 2012). Vooral in laagstamboomgaarden worden vaak brede stroken vegetatie jaarlijks doodgespoten wat de erosie zal bevorderen.

In Figuur 2.3.3 zijn de meest voorkomende overgangen tussen landbouwgebied en natuurgebied schematisch weergegeven in de vorm van L-bouwstenen. Daarbij zijn ook eventuele bufferstroken als onderdeel gezien. De meest voorkomende situatie is die van akkers grenzend aan het hellingbos (L1).



Figuur 2.3.3: Bouwstenen (categorie L) voor het karakteriseren van landgebruik op de grens van Natura 2000-gebied en agrarisch gebied op en nabij plateauranden in het Heuvelland.
Figure 2.3.3: Components (L category) used to characterize land use in the border zone of nature area and arable land at or near plateau margins in the Heuvelland region.

In Tabel 2.3.2 zijn de bouwstenen van de L-categorie geordend naar gevoeligheid voor erosie. De in Tabel 2.2.3 gebruikte klasse 'zeer laag' (gebruikt voor bos) wordt hier niet onderscheiden omdat altijd sprake is van een combinatie met niet-bos.

Tabel 2.3.2: Kwalitatieve schatting van de erosiegevoeligheid van de bouwstenen (L-categorie; zie Figuur 2.3.6) op de grens van landbouw- en natuurgebied in het Heuvelland. De situatie met bufferstroken is alleen beoordeeld voor de overgang akker-natuurgebied met de hoogste erosiegevoeligheid.

Table 2.3.2: Qualitative estimate of susceptibility ('gevoeligheid') to erosion of components ('bouwstenen'; L-category; see Figure 2.3.6) in the border zone ('grenstype') of arable land and Natura 2000-site in the Heuvelland region. Buffer zones have been considered only for the situation field - nature area with the highest susceptibility to erosion.

Grenstype landgebruik	Bouwstenen	Gevoeligheid
Akker - natuurgebied (bos en (half)natuurlijk grasland)	L1, L6	zeer hoog / very high
Akker - natuurgebied met buffer (bufferstrook met struweel of cultuurgrasland)	L2, L3, L7, L8	hoog / high
Boomgaard - natuurgebied	L4, L10	hoog tot matig / high to moderate
Boomgaard - natuurgebied met buffer	niet afgebeeld	matig / moderate
Cultuurgrasland - natuurgebied	L5, L9	matig tot laag/ moderate to low

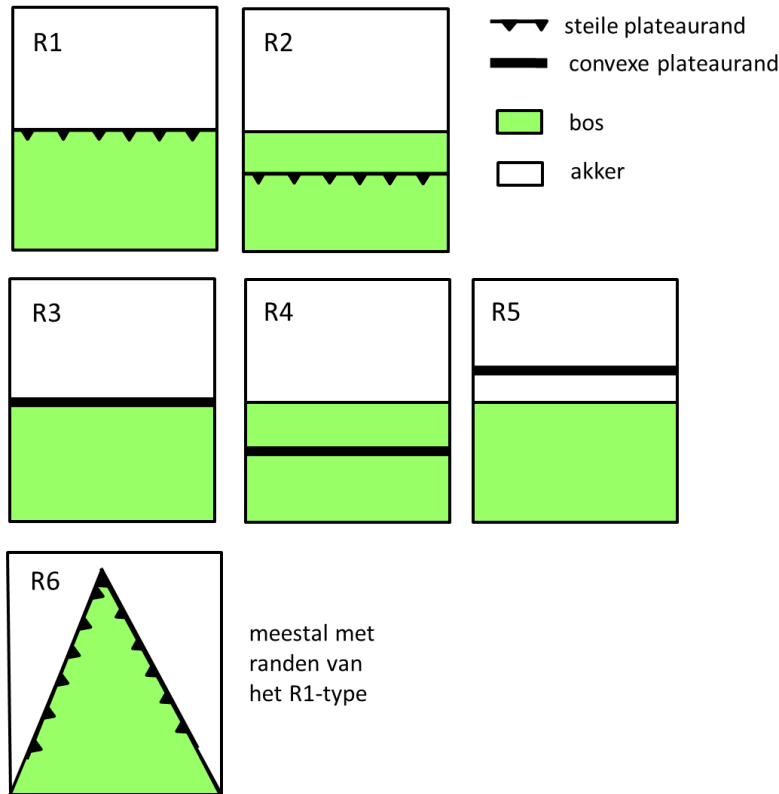
Categorie R: Geomorfologische aard en positie van de plateaurand

De laagste punten van de overgang van landbouwgebied naar natuurgebied zijn het gevoeligst voor instroom van hoger op het plateau geërodeerd materiaal van de bouwvoor. De instroom vindt 1) geconcentreerd plaats via een gully- of rill-achtige insnijding op de overgang van akker naar natuurgebied of 2) over een bredere instroomzone in de vorm van nauwelijks insnijdende sheet-erosie. Dit is afhankelijk van de lengte en steilte van de plateauhelling, de grootte van het agrarische vanggebied (achterland), randpaden en wegen en de aanwezigheid van steilranden op de plateaurand (zie ook categorieën P).

Figuur 2.3.4 ordent de geomorfologische aard en positie van de plateaurand in relatie tot erosieprocessen. Voor de plateauranden zijn twee hoofdtypen onderscheiden: de steilwand (R1, R2 en R6) en de convexe plateaurand (R3, R4 en R5). Steilwanden geven aanleiding tot dynamische en insnijdende vormen van erosie zoals rill- en gully-vorming. Rechte of convexe (meer geleidelijke) plateauranden geven aanleiding tot minder dynamische erosietypen dan steilranden, zoals sheet-erosie en geringe rill-erosie. Daarnaast kunnen langs de diepere steilwanden door watererosie veroorzaakte massabewegingen optreden (afstort en afkalving van de wanden).

Binnen deze hoofdtypen is de ligging van de plateaurand ten opzicht van de overgang in landgebruik van belang bij het beschrijven en beoordelen van erosie. Steilwanden of steilrandjes op de overgang akker-natuurgebied (R1, R3) zijn veel gevoeliger voor erosie dan die in het natuurgebied zelf (R2, R4). De steilwanden van grubben (R6) zijn vooral bij de kop van de grubbe omvangrijk en zeer erosiegevoelig. De gevoeligheid voor erosie zal het grootst zijn als de plateaurand zich in het bouwland bevindt, maar deze situatie is in de praktijk niet aannemelijk. Convexe overgangen in of op de grens van de akker (R5) zijn gevoeliger dan convexe overgangen in bos en natuurgrasland (R3, R4).

In Tabel 2.3.3 zijn de bouwstenen van de R-categorie geordend naar gevoeligheid voor erosie.



Figuur 2.3.4: Bouwstenen (categorie R) voor het karakteriseren van de positie en aard van de plateaurand op de grens van natuurgebied en agrarisch gebied in het Heuvelland (hier gemakshalve alleen weergegeven voor de grens akker-bos).

Figure 2.3.4: Components (R category) used to characterize the position and nature of the plateau margin in the border zone of nature area and arable land in the Heuvelland region (for convenience here only given for the arable field-woodland border).

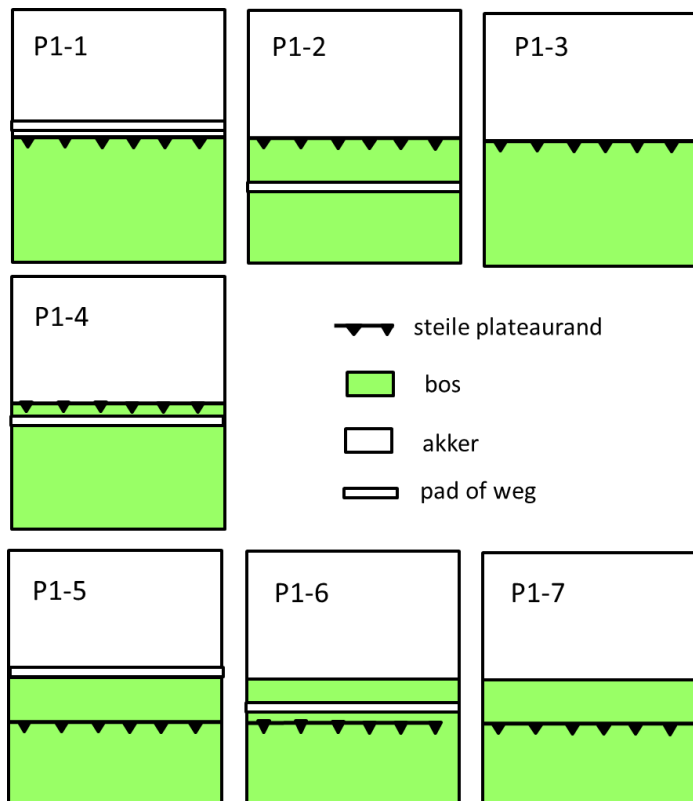
Tabel 2.3.3: Kwalitatieve schatting van de erosiegevoeligheid van de bouwstenen (R-categorie; zie Figuur 2.3.7) voor positie en aard van de plateaurand op de grens van akker en bos in het Heuvelland.

Table 2.3.3: Qualitative estimate of susceptibility ('gevoeligheid') to erosion of components ('bouwstenen'; R-category; see Figure 2.3.7) for the position and nature of the plateau margin ('plateaurand') in the border zone of arable field and woodland in the Heuvelland region.

Plateaurand	Bouwstenen	Gevoeligheid
Steilwand op landgebruiksgrens	R1	zeer gevoelig / very high
Steilwand in bos	R2	matig gevoelig / moderate
Steilwanden langs grubbe	R6	zeer gevoelig / very high
Convexe plateaurand op grens	R3	matig gevoelig / moderate
Convexe plateaurand in bos	R4	weinig gevoelig / low
Convexe plateaurand in akker	R5	zeer gevoelig / very high

Categorie P: Paden en wegen langs de plateaurand

Paden vormen preferente stroombanen voor water en colluvium. De ligging van paden nabij de plateaurand kan dus van grote invloed zijn op erosieprocessen tussen landbouw- en natuurgebied. Bouwstenen voor het beschrijven van de positie van paden zijn beschikbaar voor overgangen met een steilrand (P1: Figuur 2.3.5 tot 2.3.8) en die met een convexe overgang (P2: Figuur 2.3.9).



Figuur 2.3.5: Bouwstenen voor het karakteriseren van de positie van paden en wegen langs steile plateauranden (categorie P1) op de grens van natuurgebied en agrarisch gebied in het Heuvelland (gemakshalve alleen weergegeven voor de grens akker-bos).

Figure 2.3.5: Components used to characterize the position of rides and roads along steep plateau margins (P1 category) in the border zone of nature areas and arable land in the Heuvelland region (for convenience only given for the arable field-woodland border).

Het effect van wegen en paden die vanaf het plateau, hellingafwaarts lopen op de doorvoer van sediment is volgens verwachting: dergelijke paden fungeren als aanvoerbanen van water en sediment vanaf het plateau. Dat contour(hoogtelijn)volgende paden ook een grote invloed hebben op erosie- en sedimentatiepatronen is wel verrassend. Dit komt vooral doordat ze niet volkomen vlak liggen. Bovendien zijn wegen en paden ook als ze niet verhard zijn zodanig verdicht dat het water niet goed infiltrateert in de ondergrond maar oppervlakkig afstroomt. Ze hebben een geringe helling maar de hellingslengte kan sterk variëren. Ze fungeren op deze wijze als een opvang van kleinere, lokale colluviumstromen vanuit bijvoorbeeld een akker waardoor een geconcentreerde stroom water en erosiemateriaal ontstaat die op de laagste punten van de weg of het pad het natuurgebied kunnen inlopen (Figuur 2.3.6). Veel van deze contourvolgende paden versterken aldus erosieprocessen. Bij dit alles is zowel de ligging van de weg of het pad ten opzichte van de akker, het grasland en het bos cruciaal, alsook de positie ten opzichte van de steilrand of convexe helling. Als het pad de bos/akkerrand volgt en de steilwand zich aan de bosrand bevindt (P1-1), zal het op het pad verzamelde water en sediment zich onder vorming van korte rills en zelfs gullies zich een weg banen het bos in (bijv. zo langs het Kloosterbos-Oost en Bunderbos). Bij sommige grubben kan dit bij de kop leiden tot ernstige terugschrijdende erosie en afkalving van de steilrand als water vanaf het laagste punt van het pad de grubbe instroomt.

Als de akker hoger ligt dan het pad en door een steilrand begrensd wordt (P1-4), beginnen deze vormen van erosie vooral in de akkerrand (Figuur 2.3.7).



Figuur 2.3.6: Afstroom van water en sediment over een contourvolgende weg in het Savelsbos. Op het laagste punt van de weg stroomt het sediment alsnog het bos in (links) (foto: Rein de Waal, 2016).

Figure 2.3.6: Runoff of water and sediment over a contour following road in the Savelsbos site. At the lowest point of the road the stream enters the woodland after all (to the left).



Figuur 2.3.7: Erosie aan de rand van een hoger gelegen akker en een pad tussen akker en bosrand (foto: Rein de Waal, 2016).

Figuur 2.3.7: Erosion near the edge of a higher lying arable field and a ride between the field and the woodland margin.

Als het contourvolgende pad of weg meer in het bos ligt, fungeert de bosstrook tussen pad en akker als een bufferstrook (P1-2) en wordt de instroom verder het bos in vertraagd. In deze situatie kunnen echter preferente erosiebanen of paden hellingafwaarts door deze bosstrook in eerste instantie het pad of de weg voeden met erosiemateriaal (Figuur 2.3.8).



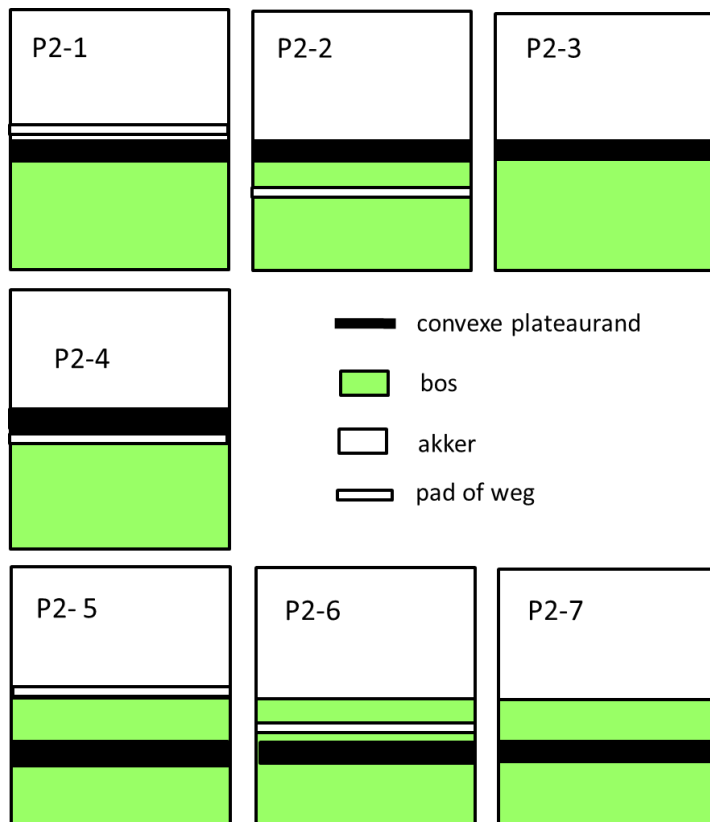
Figuur 2.3.8: Erosie op en langs een hellingafwaarts lopend pad in het Bunderbos. De foto is hellingafwaarts genomen. Het is duidelijk te zien dat de rill het pad verlaat en (rechts) een erosiedal in het bos inloopt (foto: Rein de Waal, 2016).

Figure 2.3.8: Erosion on and along a descending ride in the Bunderbos. The photo has been taken in the direction of descent. Clearly visible is that the rill enters an erosion valley (to the right) in the woodland.

Steilwanden zonder pad (P1-3) zijn nog steeds gevoelig voor korte rill- en gully-vorming maar missen het versterkend effect van het pad dat aanleiding geeft tot grotere en diepere erosievormen. Dit geldt overigens niet voor de koppen van grubben zonder pad. De terugschrijdende erosie is hier weinig anders dan met pad. Steilranden in het bos P1-5, P1-6 en P1-7 zijn minder gevoelig voor erosie dan de hiervoor geschetste bouwstenen. De strook bos tussen akker en pad fungeert in deze situatie als een bufferstrook. Situatie P1-6 kan ernstiger zijn indien het contourvolgende pad gevoed wordt door dwarsverbindingen met het plateau (bijv. Riesenbergrand bij Cadier en Keer).

Voor de convexe plateauranden (P2: Figuur 2.3.9) geldt een vergelijkbare toelichting als voor plateauranden met een steilrand. Het overall-effect is echter minder ernstig dan bij steilranden en beperkt zich tot sheet-erosie en -sedimentatie en ondiepe rills.

In Tabel 2.3.4 zijn de bouwstenen van de P1- en P2-categorie geordend naar gevoeligheid voor erosie.



Figuur 2.3.9: Bouwstenen voor het karakteriseren van de positie van paden en wegen langs convexe plateauranden (categorie P2) op de grens van natuurgebied en agrarisch gebied in het Heuvelland (hier gemakshalve alleen weergegeven voor de grens akker-bos).

Figure 2.3.9: Components used to characterize the position of rides and roads along convex plateau margins (P2 category) in the border zone of nature areas and arable land in the Heuvelland region (for convenience here only given for the arable field-woodland border).

Tabel 2.3.4: Kwalitatieve schatting van de erosiegevoeligheid van de bouwstenen (P1- en P2-categorie; zie Figuur 2.3.5 en 2.3.9) voor positie van contourvolgende paden en wegen nabij de plateaurand op de grens van akker en bos in het Heuvelland.

Table 2.3.4: Qualitative estimate of susceptibility ('gevoeligheid') to erosion of components ('bouwstenen'; P1- and P2-category; see Figure 2.3.5 and 2.3.9) for the position of contour following rides and roads ('paden en wegen') near the plateau margin in the border zone of arable field and woodland in the Heuvelland region.

Paden en wegen	Bouwstenen*	Gevoeligheid
Randpad langs plateaurand maar onder steilrand met akker	P1-4	zeer hoog / very high
Randpad langs plateaurand	P1-1	hoog / high
Randpad boven plateaurand	P1-5, P2-5, P2-1, P2-4	matig / moderate
Pad in bos onder plateaurand	P1-2, P2-2	matig tot laag / moderate to low
Pad in bos langs plateaurand	P1-6, P2-6	laag/ low

*Bouwstenen zonder paden zijn niet opgenomen.

Categorie W: Wallen en ruggetjes op de plateaurand

In het veld is de invloed van wallen en ruggetjes op het erosieproces op de plateaurand weliswaar op weinig plaatsen vastgesteld (zoals bij de Riesenberg; Figuur 2.3.10) maar lage wallen kunnen bij matig sterke erosie en beperkte aanvoer van sediment grotendeels voorkomen dat water en colluvium het bos instromen.



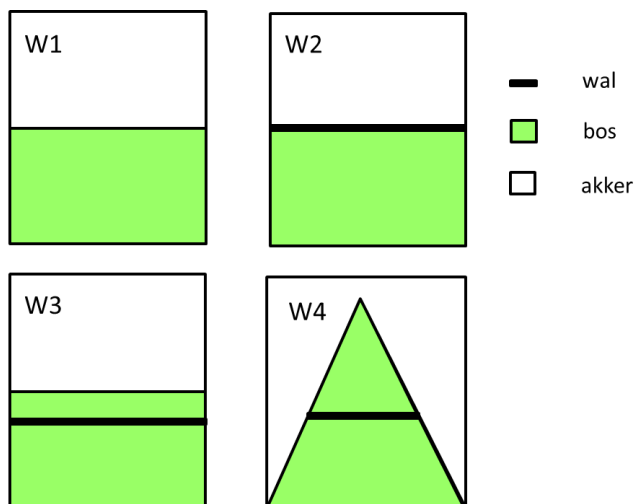
Figuur 2.3.10: Sedimentatie voor een laag walletje op de plateaurand in bos nabij de Riesenberg (Savelsbos) (foto: Rein de Waal, 2016).

Figure 2.3.10: Sedimentation in front of a low bank on the plateau margin in woodland near the Riesenberg, Savelsbos site.

In Figuur 2.3.11 zijn de bouwstenen weergegeven voor de positie van walletjes nabij de plateaurand. Walletjes op de overgang van akker naar bos verminderen op korte termijn de gevoeligheid voor erosie van het Natura-2000-gebied. In situatie W1 (zonder wal) wordt het aangevoerde colluvium niet in het aangrenzend deel van de akker gebufferd. Bij bouwsteen W2 en W3 vindt de buffering grotendeels plaats in de bosrand, respectievelijk bufferstrook bos (Figuur 2.3.10). In bouwsteen W4 wordt door een dammetje of wal het colluvium opgevangen in het 'bovenstroomse' deel van de grubbe.

Wallen (eventueel in combinatie met greppels) kunnen dus zowel sedimentatie als heftige vormen van erosie (rill-vorming of erger) in het bos of kalkgrasland voorkomen. Probleem hierbij is echter dat de capaciteit voor opvang van sediment achter een wal of dam beperkt is en dat doorbraak van deze wallen aanleiding geeft tot een geconcentreerde, insnijdende vorm van erosie. Onderhoud van wallen is dus essentieel. De westelijke grubbe in het Kloosterbos-Oost is deels van type W5 en laat zien hoe deze vorm van buffering door het uitblijven van onderhoud van oplossing tot probleem kan worden.

In Tabel 2.3.5 zijn de bouwstenen van de W-categorie geordend naar korte-termijinvloed op het erosie/sedimentatie-proces.



Figuur 2.3.11: Bouwstenen (categorie W) voor het karakteriseren van de positie van wallen, ruggetjes en dammetjes op de grens van natuurgebied en bos in het Heuvelland.

Figure 2.3.11: Components (W category) used to characterize the position of banks, ridges and small dams in the border zone of agricultural area and woodland in the Heuvelland region.

Tabel 2.3.5: Kwalitatieve schatting van de korte-termijninvloed van bouwstenen voor de positie van wallen of dammen in de plateaurand (categorie W; zie Figuur 2.3.11) op instroom van sediment in natuurgebied op de grens van akker en bos in het Heuvelland.

Table 2.3.5: Qualitative estimate of the short-term impact ('invloed') of components ('bouwstenen'; W category; see Figure 2.3.11) for the position of banks and small dams near the plateau margin on runoff into nature area in the border zone of arable field and woodland in the Heuvelland region.

Wallen en dammen	Bouwstenen	Invloed
Wal langs akker	W2	groot / large
Wal in bos	W3	gering / moderate
Dam in kop van grubbe	W4	matig /moderate

2.3.3 Bouwstenen binnen het Natura 2000-gebied

Terreinkenmerken op de grens van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied (meestal om en nabij de plateaurand) bepalen of en hoe erosie- en sedimentatieprocessen het natuurgebied inlopen of niet. Deze kenmerken zijn in de vorige paragraaf beschreven met categorieën van bouwstenen. De processen afkomstig uit de rand van het gebied kunnen zich voortzetten binnen het gebied (op de hellingen tot in en voorbij de hellingvoet) en worden daarbij gestuurd door terreinkenmerken die in deze paragraaf worden samengevat tot hellingvormen en sedimentatievormen. Hoe en waar erosie en sedimentatie optreden in het Natura 2000-gebied, zal sterk bepalen of maatregelen wenselijk zijn.

Hellingvormen

Veel van de in het landschap zichtbare erosie- en sedimentatievormen stammen uit een ver verleden, ontstaan onder klimaatomstandigheden die sterk afwijken van de huidige. Hetzelfde geldt voor het landgebruik⁵. Deze fossiele terreinvormen zijn echter wel mede bepalend voor het verloop van de huidige, veel kleinschaliger erosieprocessen (Figuur

⁵ Denk voor de hellingen bijvoorbeeld aan oude graften en wijngaarden die nu in het bos liggen, en voor de plateaus aan een verleden als bos.

2.3.12) en worden daarom ook als bouwstenen gepresenteerd voor het beschrijven en begrijpen van de werking van erosie- en sedimentatieprocessen binnen Natura 2000-gebieden (H-categorie; Figuur 2.3.13). Hierbij zijn verschillende terreinvormen gecombineerd tot de in Natura 2000-gebieden in het Heuvelland aangetroffen vormen.

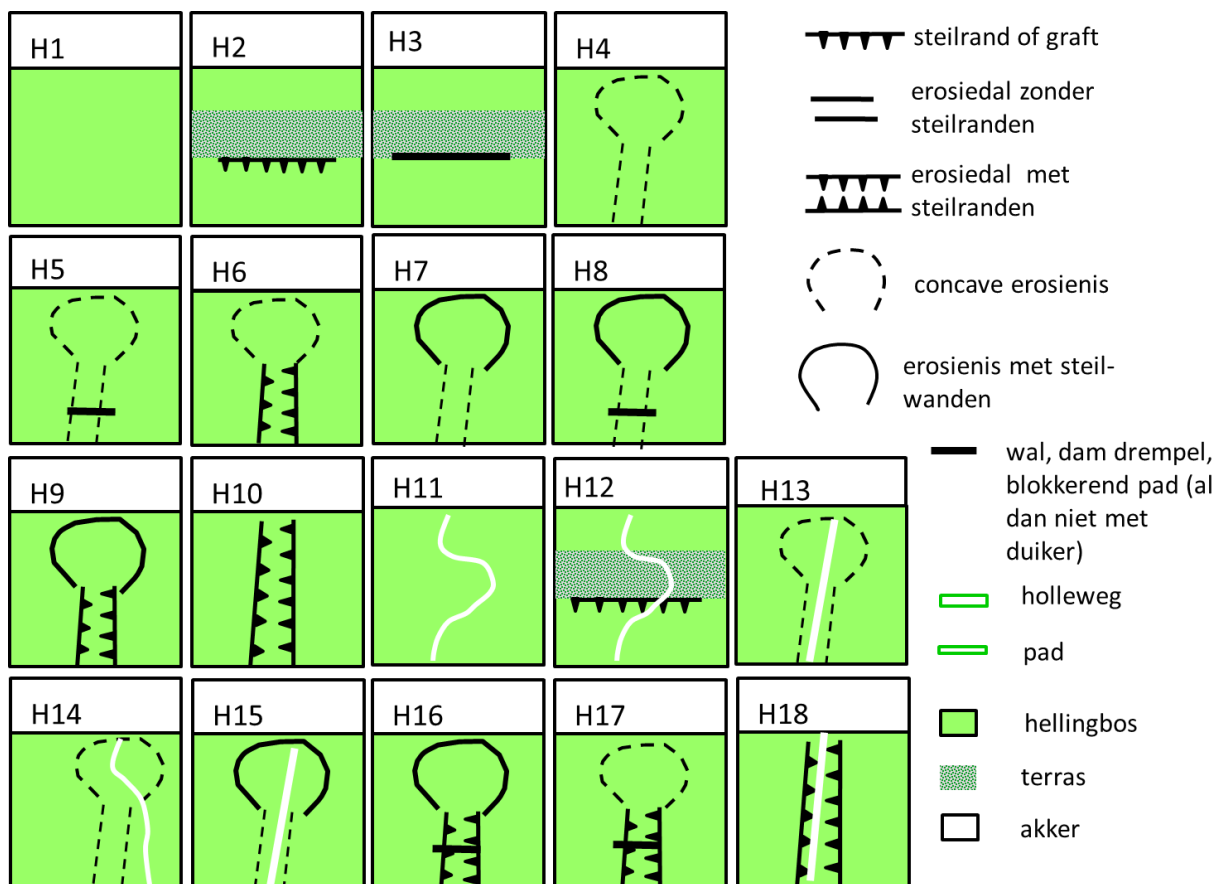


Figuur 2.3.12: Erosienis (links) en dalvormige laagte (rechts) in de plateauhelling bij de Riesenbergr. Hoewel het hier om verstillde ('fossiele') terreinvormen gaat, zijn ze wel van invloed op de actuele erosie- en sedimentatiepatronen (foto: Rein de Waal, 2016).

Figure 2.3.12: Erosion niche (left) and small valley (right) in the plateau slope near the Riesenbergr. Despite their ancient ('fossil') nature, these terrain forms still influence actual erosion and sedimentation patterns.

Relevante terreinvormen in hellingen binnen Natura 2000-gebieden zijn graften (H2), erosie-nissen (o.a. H4-H9), dalvormen (o.a. H6, H10) en terrassen (H3). Grubben (H10, H18) zijn in een ver verleden ontstaan maar nog steeds onderdeel van het erosieproces. Ook geldt dit geheel of gedeeltelijk voor uitgebreide hellingafzettingen zoals solifluctiepakketten, dalbodems en colluviale hellingvoeten en terrassen. Hoewel ze uit een minder ver verleden stammen, zijn ook groeves (H7) relevant. Daarnaast vormen paden (H11, H12 en H14) afhankelijk van ligging en richting preferente erosiebanen (vergelijk P-bouwstenen in de plateaurand). Sommige hellingafwaarts lopende paden hebben zich daardoor zelfs ontwikkeld tot gullies (bijv. Kloosterbos-Oost) en gullies met paden wellicht tot grubben met holle wegen (H13, H15, H18; bijv. Schone grub) waarbij onderhoud moest voorkomen dat de bodem van de grubbe geen onbegaanbare insnijding werd.

In het algemeen vindt op rechte en convexe hellingvormen (H1) en concave erosie-nissen (H4) vooral sheet-erosie plaats. Plaatselijk kunnen ondiepe rills ontstaan. Hierbij kunnen wildwissels of dassenroutes als preferente erosiebaan optreden. Hellingafwaarts kunnen de sheet-stromen paden volgen of zich concentreren in dalvormen. Langs steilwanden (H2, H7, H10, H18) zal de neiging bestaan tot de vorming van rills of kleine, korte gullies in de steilwand, gecombineerd met meer afkalving. Barricades in hellingen (H3, H8, H16, H17) zoals dammen (Kloosterbos-Oost), drempels en opgehoogde paden (Ravensbos) kunnen bedoeld en onbedoeld van grote invloed zijn op de sedimentatie. Ook dalbodems binnen natuurgebieden zijn van nature opvangbekkens voor erosiemateriaal (o.a. bij de Schiepersberg).

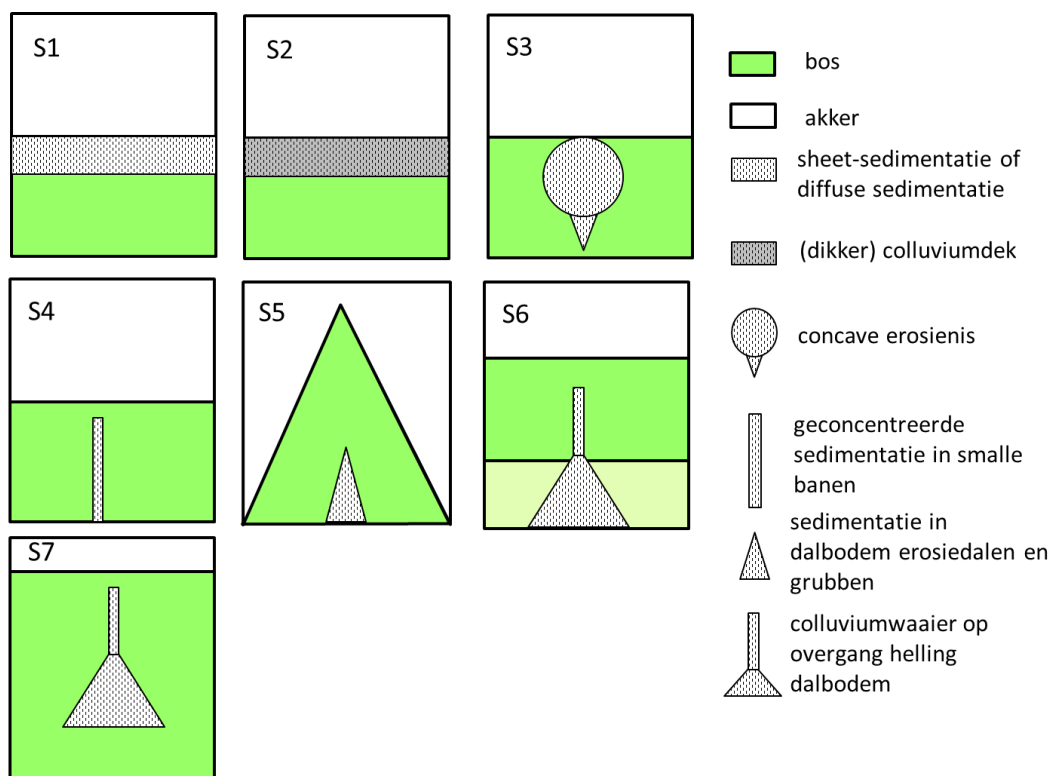


Figuur 2.3.13: Bouwstenen (categorie H) voor het karakteriseren van terreinvormen met invloed op erosie- en sedimentatiepatronen binnen Natura 2000-gebieden in het Heuvelland.

Figure 2.3.13: Components (H category) used to characterize terrain forms which influence erosion and sedimentation patterns within Natura 2000-sites in the Heuvelland region.

Sedimentatievormen

Sediment kan op verschillende manieren accumuleren binnen het Natura 2000-gebied, opnieuw afhankelijk van terreinkenmerken. Deze sedimentatievormen worden gepresenteerd in Figuur 2.3.14. Geringe accumulatie binnen het gebied treedt op als gevolg van sheet-erosie bovenaan de helling (S1) of op de bodem van erosie-nissen (S3). De meeste sedimentatie betreft doorvoer via erosie-nissen naar smalle banen of grubben (S3 overgaand in S4, S6 en S7). Sediment afgezet op de bodem van smalle banen (S4) kan hier ook weer eroderen. Substantiëlere accumulatie vindt plaats in bufferstroken of voor een barricade (S2). In grubben (S5) is altijd materiaal onderweg (erosie-sedimentatie). Aanzienlijke accumulatie in de vorm van colluviumwaaiers kan zowel in het bos optreden (S7, bijv. in het Ravensbos) als in grasland buiten het bos als 'puinwaaier' binnen het Natura 2000-gebied (S6).



Figuur 2.3.14: Bouwstenen (categorie S) voor het karakteriseren van sedimentatievormen binnen Natura 2000-gebieden in het Heuvelland.

Figure 2.3.14: Components (S category) used to characterize sedimentation patterns within Natura 2000-sites in the Heuvelland region.

2.4 Effecten van erosie en sedimentatie op de vegetatie

Bodemerosie en -sedimentatie zijn inherent aan het Zuid-Limburgse landschap en hebben op elk ruimtelijk schaalniveau opvallende en meer subtiele sporen nagelaten. Sheet-, rill- en gully-erosie doen zich nog steeds voor als een min of meer continu proces in interactie met andere hellingprocessen, zoals massabewegingen (zie § 2.2.2). Effecten van bodemerosie op de vegetatie zijn daarom alleen in specifieke gevallen eenduidig als zodanig te herkennen, met name effecten op de korte termijn, dus na perioden met zware regenval. Voor sheet-erosie is het effect op korte termijn goed zichtbaar. In het geval van rill- en gully-erosie is het de vraag wat onder een effect op de vegetatie moet worden verstaan.

Het sedimentatieproces is eenvoudiger te herleiden uit bodemkenmerken dan het erosieproces, maar ook voor sedimentatie geldt dat effecten op de vegetatie op de wat langere termijn lastig zijn te isoleren ten opzichte van andere factoren die bijdragen aan vegetatiedynamiek en verschillen in vegetatiesamenstelling over korte afstand zoals groeiplaats (geologie).

De beoordeling van effecten van bodemerrosie- en sedimentatie aan de hand van alleen de vegetatiesamenstelling is extra lastig in de randzones van natuurgebieden doordat

- plateauranden van nature een afwijkende groeiplaats (en vegetatie) hebben ten opzichte van de lager gelegen hellinggedeelten;
- de groeiplaats van de plateaurand van plek tot plek kan variëren van een dik lösspakket tot vrijwel dagzomend terrasmateriaal, met grote verschillen in (natuurlijke) vegetatiesamenstelling en gevoeligheid voor verzuuring;
- in de randzone met agrarisch gebied de vegetatiesamenstelling sterk kan afwijken van die in de kern van het natuurstype door inwaai vanuit aangrenzend agrarisch gebied;
- struweel- en bosranden een verhoogde depositie (invang) hebben van stof en nutriënten en een sterke gradiënt in lichtbeschikbaarheid waardoor tal van indicatorsoorten voor hoge nutriëntenbeschikbaarheid opvallend aanwezig zijn ook in afwezigheid van directe invloed vanuit aangrenzend agrarisch gebied (bramen, vlier, ruigtkruiden, klimop e.d.);
- historisch landgebruik lang doorwerkt in de vegetatiesamenstelling, niet alleen in bufferstroken die (betrekkelijk recent) zijn aangelegd op voormalige akkers maar ook in uit landbouw afkomstige percelen die al langer geleden zijn toegevoegd aan een natuurgebied.

In § 5.1 (Erosietypen in Zuid-Limburg) worden per erosietype veldkenmerken en waar mogelijk de betekenis voor de vegetatie nader toegelicht.

In § 5.2 wordt een stappenplan voor de beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen op gebiedsniveau gepresenteerd.

2.5 Functionaliteit van (bodem)erosiebuffers

Deze paragraaf geeft een samenvatting van theoretische inzichten en empirische bevindingen over de functionaliteit van erosiebuffers. Deze kennis zal worden gebruikt bij het uitwerken van maatregelen voor het afremmen of stoppen van erosie- en sedimentatieprocessen (zie hoofdstuk 6).

2.5.1 Inleiding en raamwerk

In het geval instroom van nutriënten uit aangrenzend agrarisch gebied (nog) niet voldoende kan worden voorkomen, worden bufferstroken en hiermee samenhangende maatregelen in het algemeen gezien als een effectieve bescherming van natuurgebieden (Kronvang *et al.*, 2000; Richert & Achtziger, 2016; Haddaway *et al.*, 2016; Stehle *et al.*, 2016). De effectiviteit van bufferstroken is een veel besproken onderwerp in de literatuur, meestal als een maatregel om de instroom van stoffen vanuit landbouwgebied naar oppervlaktewater te voorkomen of te verminderen (Barling & Moore, 1994; Dorioz *et al.*, 2006; Haag & Kaupenjohann, 2001; Hoffmann *et al.*, 2009; Mayer *et al.*, 2007; Noij *et al.*, 2012a, 2012b; Polyakov *et al.*, 2005; Ranalli & Macalady, 2010; White & Arnold, 2009; Zhang *et al.*, 2010). Daarnaast kunnen bufferstroken ook een functie vervullen om de biodiversiteit te verhogen, hetzij in de bufferstrook zelf (McCracken *et al.*, 2012), hetzij door te functioneren als corridor voor het verbinden van natuurgebieden.

Rond enkele Natura 2000-gebieden in Zuid-Limburg (Bemelerberg/Schiepersberg, Savelsbos) zijn bufferstroken (gras, struweel, bos) aangelegd om instroom en inwaai te voorkomen of te beperken (zie § 6.2); de rand van de meeste Natura-2000-gebieden is echter grotendeels onbeschermd tegen instroom van water en sediment. Noij *et al.* (2014) hebben een raamwerk opgesteld voor het beoordelen van de multifunctionaliteit van bufferstroken en het ontwerpen en onderhouden van bufferstroken. Daarin zijn naast waterkwaliteit en biodiversiteit aspecten opgenomen over landschappelijke

kwaliteit en klimaat (zowel mitigatie als adaptatie). Voor het doel van het OBN-project beperken we ons tot de effectiviteit van bufferstroken als maatregel om stofvrachten te beperken. Hoewel het in Zuid-Limburg vooral gaat om het beperken van stofvrachten (opgeloste stoffen en sediment) van landbouwplateaus naar natuur op de hellingen, en dus niet over belasting van oppervlaktewater, is de verzamelde kennis over het effect van bufferstroken op oppervlaktewater ook hier zeker relevant, omdat 1) zowel natuur als oppervlaktewater gebaat zijn bij zo min mogelijk belasting met stoffen en 2) de natuurhellingen en oppervlaktewateren benedenstrooms liggen ten opzichte van de brongebieden, waardoor dezelfde landschappelijke processen voor beide doelen de effectiviteit van de bufferstrook bepalen.

Voor het beoordelen van de effectiviteit van bufferstroken voor het reduceren van stofvrachten maken we onderscheid in vaste en opgeloste stoffen. Dit is van belang omdat de vracht(reductie) in het geval van vaste stoffen bepaald wordt door erosie en sedimentatie (hellende gebieden), en in het geval van opgeloste stoffen door uit- en afspoeling (ook in vlakke gebieden). De omvang van de belasting is in het geval van hellende gebieden in het algemeen groter omdat er met vaste deeltjes grotere hoeveelheden ongewenste stoffen mee worden gevoerd, en omdat het slib zelf meestal ook ongewenst is. Bovendien zullen ook opgeloste stoffen in hellende gebieden voor een relatief groot deel via oppervlakkige afvoer afspoelen. De route die opgeloste stoffen afleggen, en daarmee het lot van deze stoffen, wordt sterk bepaald door de hydrologische en bodemkundige condities. Sleutelbegrippen zijn daarbij de verblijf- of reistijd en de stroombaan. Hoe langer een stof onderweg is van bron naar het "object", des te meer kans er is op retentie van deze stof (bijvoorbeeld adsorptie van fosfaat, en denitrificatie van nitraat). De mate van retentie wordt daarnaast bepaald door de aard van het poreuze materiaal waar de stroombaan langs komt. Denk aan de aanwezigheid in de ondergrond van ijzer en aluminium voor P vastlegging, of van afbreekbare organische stof of pyriet voor denitrificatie. In het geval van afspoeling over de bodem is het water het kortst onderweg en bevat daarom de hoogste concentraties aan stoffen die aan het bodemoppervlak zijn opgenomen (vergeleken met diepere stroombanen). Zeker waar de oppervlakkige route gepaard gaat met erosie zoals in Zuid Limburg is deze veruit het belangrijkste. Belasting van lager gelegen natuur door nitraatuitspoeling vanuit de plateaus kan echter in Zuid Limburg ook optreden, zoals blijkt uit de nitraatbelasting van bronnen (zoals in het Bunderbos; Smolders *et al.*, 2014).

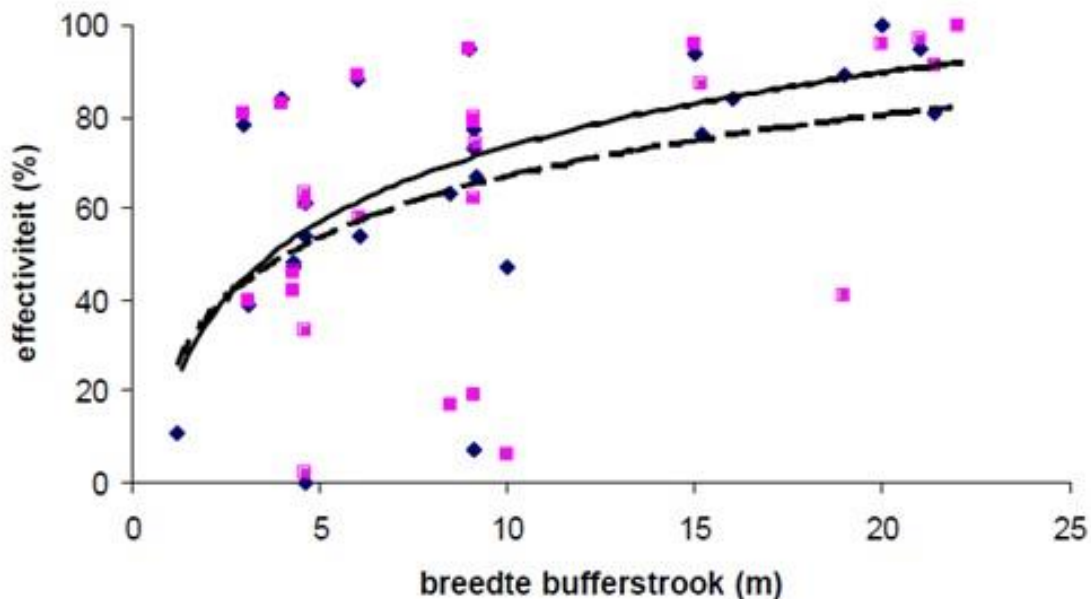
De werking van bufferstroken om stofvrachten te reduceren berust op drie mechanismen:

1. Het afremmen van de oppervlakkige waterstroom waardoor vaste deeltjes kunnen bezinken en opgeloste stoffen kunnen infiltreren. Om deze werking te optimaliseren is een dichte vegetatie zoals gras gewenst, en wanneer veel slib wordt afgezet dan is onderhoud nodig voor het handhaven van deze remmende werking. Dit is voor bescherming van natuurhellingen in het heuvelland de meest belangrijke werking.
2. De opname van nutriënten door de planten in de bufferstrook. Dit effect is natuurlijk sterker wanneer biomassa geregeld uit de bufferstrook wordt afgevoerd. Korte ondiep wortelende vegetatie is alleen effectief voor oppervlakkige afvoer en ondiepe stroombanen; wanneer diepere stroombanen relevant zijn, dan is een dieper wortelende vegetatie gewenst. Dit mechanisme is voor bescherming van natuurhellingen in het heuvelland ook relevant, waarbij de keuze voor diep of ondiep wortelend mede af zou moeten hangen van de helling.
3. Het creëren van een afwisselend aeroob en anaeroob milieu met voldoende input van afbreekbare organische stof, waardoor stikstof kan worden afgebroken (nitraat gedenitrificeerd). Dit geldt ook voor sommige andere (toxische) stoffen die in het kader van het OBN-project minder relevant zijn. Om de werking over voldoende diepte te stimuleren kan het zinvol zijn diep wortelende gewassen in te zetten. Dit mechanisme speelt vooral in zogenaamde natte bufferstroken die langs sommige waterlopen voorkomen of worden aangelegd. A priori lijkt dit mechanisme minder relevant in Zuid Limburg, tenzij er sprake is van uittredend nitraatrijk water onder aan of in een helling. Daar zou een natte buffer functioneel zijn.

Noij *et al.* (2014) presenteren een raamwerk gebruikt om ideale omstandigheden, ontwerp en onderhoud van bufferstroken te duiden voor verschillende doelen. We beperken ons hier tot vrachtreductie en de aspecten, die ook relevant zijn voor Zuid Limburg. De breedte van de bufferstrook is een belangrijke factor (§ 2.5.2) maar er spelen ook andere factoren (§ 2.5.3).

2.5.2 Breedte van de bufferstrook

In zijn algemeenheid zijn bredere bufferstroken effectiever met een afnemende toename met toenemende breedte.



Figuur 2.5.1: Effectiviteit van droge bufferstroken als functie van de breedte van de bufferstrook (in m), bepaald als procentuele afname van de uit- en afspoeling van N en P naar het oppervlaktewater op basis van literatuurdata. Getrokken lijn: N totaal (effectiviteit = $17+23 \ln(\text{breedte})$, $p=0.001$); onderbroken lijn: P totaal (effectiviteit = $23 \ln(\text{breedte})$, $p=0.04$). Uit: Klok *et al.* (2003, Figuur 10).

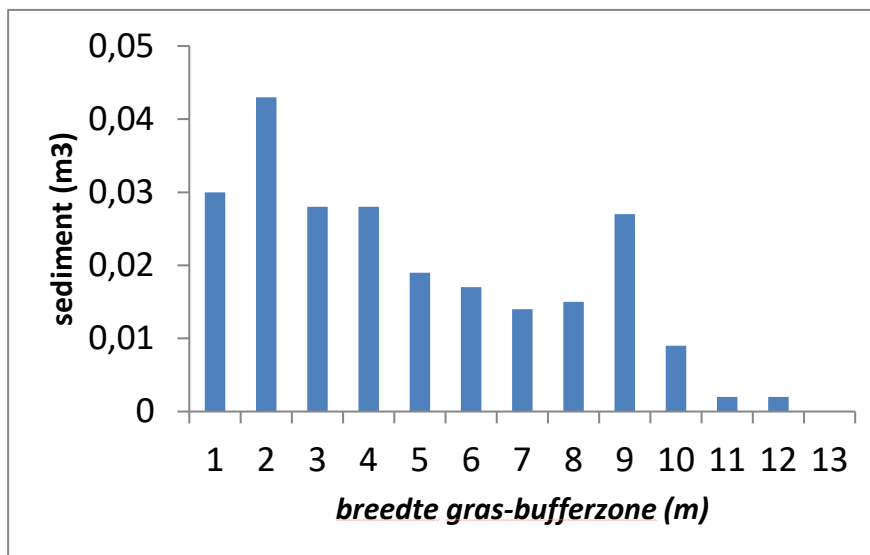
Figure 2.5.1: Effectivity of dry buffer strips as a function of strip width (in m), determined as percentage decline of washout and runoff of N and P to the surface water, based on literature data. Continuous line: total N (effectivity = $17+ 23 \ln(\text{width})$, $p=0.001$); dashed line: total P (effectivity = $23 \ln(\text{width})$, $p=0.04$). From: Klok *et al.* (2003, Figuur 10).

Gegevens in tal van publicaties in gematigde klimaatzones wijzen eveneens op een dergelijk verloop van de effectiviteit van bufferzones ten aanzien van instroom vanuit agrarisch gebied. Het meeste sediment wordt opgevangen in de eerste meters. Het buigpunt waarbij meer dan 80% van de runoff (sediment en N en P) wordt vastgehouden in de bufferzone varieert voor bos van 7 tot 25 m en voor grasland van 10 tot 30 m (Castelle *et al.*, 1994). Gemiddeld wordt onder de meeste omstandigheden een breedte van 15 m aangenomen voor de bescherming van natuurgebied en oppervlaktewater (Castelle *et al.*, 1994).

De vraag is hoe breed is effectief genoeg? De gewenste breedte hangt sterk af van de omstandigheden en de betrokken stoffen. Het is belangrijk om de breedte van de bufferstrook af te stemmen op de verwachte aanvoer, met andere woorden, daar waar meer aanvoer is, is een bredere bufferstrook gewenst dan waar geen of minder aanvoer is (Polyakov *et al.*, 2005; White & Arnold, 2009; Piechnik *et al.*, 2012; Sebti & Rudra, 2010).

De kaarten en analyses in het kader van dit project maken dit mogelijk (zie § 2.2.5 en stappenplan in § 5.2).

Onderzoek in Denemarken naar de effectiviteit van bufferzones voor de invang van P-houdend colluvium vanuit hellend agrarisch gebied geven een meer gedetailleerd beeld van de effecten. Kronvang *et al.* (2000) beschouwen erosie vanuit graslanden met een gemiddelde hellingspercentage van 7% (range 2-20%) als te verwaarlozen. De doorvoer werd gemeten voor het rill-systeem dat ontstond in de akker. In een bufferstrook (grasland) van 29 m werd geen P of sediment doorgelaten. Een bufferstrook van 0.5 m liet 38% van de geërodeerde bodem en 68% van het fosfaat door (helling 14%). Alle P en sediment werd binnen een breedte van 12 m gebufferd (Figuur 2.5.2).



Figuur 2.5.2: Opvang van P-houdend sediment (m^3) in opeenvolgende zones van een bufferstrook (grasland). Bij een breedte van 8 m is ongeveer 80% van de P gebufferd en bij 10 m breedte vrijwel 100% (naar Kronvang *et al.*, 2000, Figure 5).

Figure 2.5.2: Sediment deposition (m^3) in successive zones of a buffer strip (grassland). A width of 8 m results in about 80% retention of sediment and for 10 m this is almost 100% (after Kronvang *et al.*, 2000, Figure 5).

De effectiviteit van bufferstroken kan ernstig verminderen als er zich diepere rills en gullies in hebben gevormd (Stehle *et al.*, 2016).

2.5.3 Overige factoren en ontwerp-opties

De overige door Noij *et al.* (2014) onderscheiden factoren worden hier kort besproken:

- Plaatsing van de bufferstrook: vaste breedte versus maatwerk. Bij voorkeur maatwerk, dus contourvolgend.
- Vegetatiestructuur in de bufferstrook: kort & productief (met name productiegrasland) versus hoog & natuurlijk (grazige, halfnatuurlijke vegetatie met struiken of struweel). Een dicht struweel is het meest effectief. Voor grazige vegetatie is een combinatie van kort en dicht, en van diep wortelend en lang het best om zoveel mogelijk stoffen in te vangen.
- Onderhoud van de vegetatie: frequent tot nooit. Voor het benutten van mechanisme 2 (zie § 2.5.1) is zoveel mogelijk biomassa afvoeren het best, maar in de context van deze studie ligt de korte dichte grasvegetatie vlak naast de akkers het meest voor de hand. Idealiter zou met de boer een overeenkomst voor het onderhoud van die strook kunnen worden gesloten. Deze biomassa zou als aanvullende organische stof

kunnen worden ingezet op bouwland, of als minderwaardig veevoer voor droge koeien en jongvee.

- d. Helling. Bufferstroken zijn het effectiefst in hellingen met klein hellingspercentage. Idealiter ligt een bufferstrook vrijwel vlak. Op steilere hellingen (>10%) wordt de capaciteit van de bufferstrook al snel overschreden. Hierin voorziet de erosieverordening omdat bij hellingen >18% in Zuid-Limburg grasland wordt voorgeschreven. Volgens Ziegler *et al.* (2006) neemt bij een gewenste effectiviteit $\geq 85\%$ de bufferbreedte toe evenredig met $\ln(\text{hellingsgetal})$, voor hellingsgetallen tussen $0.01-1.0 \text{ m m}^{-1}$ (hellingspercentage 1-100%), wat neerkomt op een range in breedte van ca. 30-100 m. Voor een effectiviteit $\geq 65\%$ ligt deze range tussen ca. 15 en 30 m.
- e. Bouwland versus permanent grasland. Bufferstroken zijn uiteraard effectiever naast bouwland vanwege het grotere risico op erosie. Hiermee is al rekening gehouden in de erosiegevoeligheidskaart. In geval van graslandpercelen kan een onbemeste perceelrand de rol overnemen van een geplande grasbufferstrook, maar deze zal dan minder vrachtreductie tot gevolg hebben, omdat de uitgangssituatie gunstiger is.

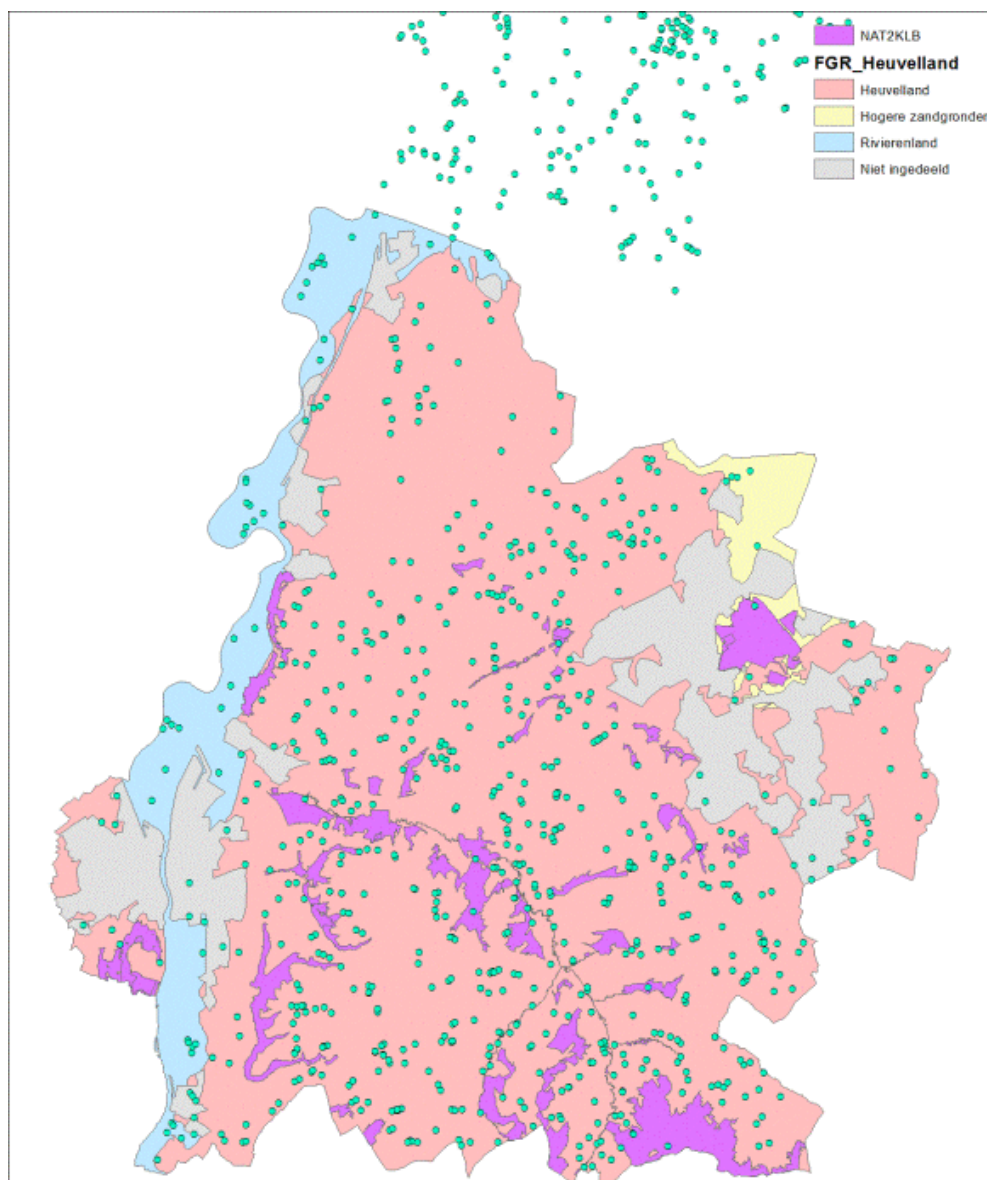
Deze richtlijnen gaan ervan uit dat bufferstroken geheel kunnen worden ontworpen wat in de praktijk lang niet altijd mogelijk is. De ambitie van dit project is primair om vrachten te voorkomen, maar men kan ook streven naar meerdere doelen, met name biodiversiteit, tenzij ontwerp- en managementvereisten hiervoor contra productief zijn. Daarom zijn bufferstroken met meerdere zones voorgesteld in de EU (Stutter *et al.*, 2012; Christen & Dalgaard, 2013) en in de VS (Schultz *et al.*, 1995; Bentrup, 2008). Een dubbele strook kan overwogen worden, waarbij men zich richt op biodiversiteit met meer variatie in vegetatie en vrachtreductie met korter, meer productief geoogst gras tussen de eerste strook en de landbouvvelden om stoffen uit te filteren.

Christen & Dalgaard (2013) hebben een driezone buffer ontwerp voorgesteld, overgenomen uit de VS (Schultz *et al.*, 1995). Ze bieden de beste perspectieven voor het bereiken van gecombineerde doelen.

3 Resultaten ammoniakemissie en -depositie

3.1 Ligging van landbouwbedrijven en -percelen

Voor het vaststellen en beoordelen van ammoniakemissie en -depositie zijn allereerst de emissiebronnen, zowel de oppervlakte bronnen (de landbouwpercelen) als de puntbronnen (de stallen) en de begrenzings van de Natura 2000-gebieden in kaart gebracht (Figuur 3.1).



Figuur 3.1: De ligging van bedrijven in het Heuvelland. De bedrijven buiten het Heuvelland hebben percelen binnen het Heuvelland. Natura 2000-gebieden blauw (NAT2KLB).

Figure 3.1: The locations of farms in the Heuvelland region. Farms outside the Heuvelland region have parcels within this region. Natura 2000 sites in blue (NAT2KLB).

Volgens de landbouwtelling 2013 zijn er 738 veehouderijbedrijven en 523 akker- en tuinbouwbedrijven, die percelen binnen het Heuvelland hebben (zie Tabel 3.1 and Figuur 3.1).

Tabel 3.1: Aantal bedrijven en dieraantallen in het Heuvelland en bedrijven daarbuiten met percelen in het Heuvelland.

Table 3.1: Number of farms (Aantal bedrijven) and corresponding animal heads (Aantal dieren) in the Heuvelland region including farms with parcels within this region.

Bedrijfstype	Aantal bedrijven	Aantal dieren
Melkvee ¹⁾ / Dairy	189	26663
Overige rundvee ²⁾ / Other cattle	207	11713
Varkens ³⁾ / Pigs	17	17723
Pluimvee / Poultry	16	84175
Schape - geiten / Sheep - goats	90	6606
Paarden en pony's / Horses and ponies	139	2573
Gemengd bedrijf ⁴⁾ / Mixed farms	77	119623
Overig ⁵⁾ / Others	3	31300
Totaal / Total	738	300376
Akker- en tuinbouw / Arable and horticultural	523	0
Totaal / Total	1261	

¹⁾ Bedrijven met vnl. melkvee

²⁾ Bedrijven zonder melkvee

⁴⁾ Het merendeel van dit dieraantal, 103680, bevindt zich in 3 pluimveebedrijven met rundvee

⁵⁾ 2 Kalkoenbedrijven en 1 nertsbedrijf

3.2 Bemesting en beweiding

Percelen met steile helling

Volgens de mestwet (LNV, 1997) is het verboden om dierlijke mest te gebruiken op niet-beteelde grond met een hellingspercentage van 7 tot 18%, tenzij de mest binnen acht dagen na toediening wordt ondergewerkt. In de praktijk wordt de mest veelal direct na toediening ondergewerkt. Op percelen met een hellingspercentage van 7% of meer die zijn aangetast door rill-erosie mag noch dierlijke noch kunstmest worden gebruikt. Deze situatie komt naar verwachting weinig voor.

Op bouwland met een hellingspercentage van 18% of meer is het zowel verboden om dierlijke als stikstofkunstmest te gebruiken (LNV, 1997). Volgens de verordening van het Productschap Akkerbouw Erosiebestrijding Zuid-Limburg (Akkerbouw, 2013) mogen percelen met een hellingspercentage van 18% of meer uitsluitend als grasland gebruikt worden. Omdat de indruk bestaat dat dit in redelijke mate voor kan komen en omdat in INITIATOR hier geen rekening mee wordt gehouden is hiervan een inschatting gemaakt op basis van een combinatie van het BRP en de Hoogtekaart AHN2 (Figuur 2.2.4).

Tabel 3.2 geeft een overzicht van het aandeel percelen op hellingen van $\geq 18\%$ en de verdeling van gewassen over de percelen met helling. Het blijkt dat 2.6% van de graslandpercelen een helling van $\geq 18\%$ heeft. Voor bouwland zijn geen percelen gevonden met een helling van $\geq 18\%$. Wel komt er 9 ha overige gewassen voor op percelen met een helling van $\geq 18\%$. Dit betreft vnl. fruitteelt. Gemiddeld ligt 0.9% van alle landbouwpercelen op een helling van $\geq 18\%$.

Bij de standaard INITIATOR-berekening van de mestverdeling wordt in het model met deze beperking geen rekening gehouden. Om het effect van het niet bemesten van hellingen van $\geq 18\%$ is in deze studie ook een aangepaste variant doorgerekend waarbij rekening gehouden wordt met dit verbod uit de mestwet.

Tabel 3.2: Verdeling van gewassen over percelen met een helling van meer dan 18% in het Heuvelland.

Table 3.2: Distribution of crops over parcels with slope exceeding 18% in the Heuvelland region.

Gewas	Oppervlakte (ha)			Aandeel ≥18% per gewas (%)	Aandeel ≥18% van totaal (%)
	Helling <18%	Helling ≥18%	Totaal		
Gras / Grass	9743	253	9996	2.6%	0.9%
Mais / Maize	4727		4727	0%	0%
Aardappel / Potato	1851		1851	0%	0%
Tarwe / Wheat	4988		4988	0%	0%
Suikerbieten / Sugar beet	2572		2572	0%	0%
Overig graan / Other cereals	1432		1432	0%	0%
Overige gewassen / Other crops ¹⁾	2597	9	2606	0.4%	0%
Braak / Fallow	19		19		
Totaal / Total	27928	262	28190	3.0%	0.9%

¹⁾ Voornamelijk boomgaarden / mainly orchards.

Percelen in Natura 2000-gebieden

Voor de landbouwpercelen die in de Natura 2000-gebieden liggen, zijn we er vooralsnog vanuit gegaan dat deze als reguliere landbouwpercelen bemest en beweid worden. Op basis van vervoersbewijzen blijkt dat er dierlijke mest naar natuurterrein wordt afgezet (Van Bruggen *et al.*, 2012). We maken in deze studie daarom geen onderscheid tussen landbouwpercelen binnen en buiten de Natura 2000-begrenzing.

Toedieningstechniek

In Tabel 3.3 is een overzicht geven van de toedieningstechniek zoals is opgenomen in GIAB. Deze informatie is gebaseerd op de metellinggegevens van 2010. Dit betreft het laatste jaar waarbij de toedieningstechniek is geïnventariseerd. In het jaar 2015 is de toedieningstechniek wederom geïnventariseerd, maar deze gegevens waren nog niet beschikbaar voor dit onderzoek.

In vergelijking met de landelijk gemiddelde gegevens (zie Tabel 3.4) blijkt dat er in het heuvelland relatief meer gebruik gemaakt wordt van de meest emissiearme technieken, d.w.z. de zodenbemester voor gras (77% t.o.v. 56%) en de bouwlandinjecteur voor bouwland (83% t.o.v. 61%).

Van de in totaal 829 bedrijven zijn er een aantal die bovengronds mest uitrijden. Het gaat hierbij om:

- 159 bedrijven die bovengronds mest uitrijden op grasland. Daarvan zijn er 75 die voor 100% bovengronds uitrijden op gras (4 met vaste en drijfmest, 56 met vaste mest, 15 met drijfmest).
- 68 bedrijven die bovengronds uitrijden op bouwland. Daarvan zijn er 13 die voor 100% bovengronds uitrijden op bouwland (11 met vaste mest, 2 met drijfmest).

Omdat het bovengronds uitrijden van drijfmest verboden is, hebben we de aangepaste variant doorgerekend waarbij hellingen ≥18% niet worden bemest. Verder is het bovengronds uitrijden van drijfmest vervangen door het uitrijden met de zodenbemester (grasland) of bouwlandinjecteur. Volgens de landbouwstatistiek (inventarisatie 2010) wordt er ook nog gebruik gemaakt van de sleufkouter op grasland. Deze techniek is sinds 1 januari 2014 verboden voor zand- en lössgronden. Daarom is bij de aangepaste variant ook de

mesttoediening van drijfmest met sleufkouter vervangen door het uitrijden met de zodenbemester of bouwlandinjecteur.

Tabel 3.3: Gebruikte mesttoedieningstechniek volgens GIAB 2010 en de aanpassing op basis van deskundigen oordeel.

Table 3.3: Technique of manure application according to GIAB 2010 and adjustment based on expert judgement.

Techniek	Oppervlakte (ha)	Aandeel (%)	Aanpassing
Grasland			
Bovengronds drijfmest	184	1%	> Zodenbemester
Bovengronds vaste mest	1374	9%	
Sleepslang gras	35	0.2%	
Sleepvoet gras ¹⁾	590	4%	> Zodenbemester
Sleufkouter gras	1281	8%	
Zodenbemester gras	11630	77%	
Bouwland			
Bouwlandinjecteur	16533	83%	
Bovengronds + direct onderwerken, vaste mest	620	3%	
Bovengronds + later onderwerken, vaste mest	1511	8%	
Bovengronds drijfmest	50	0.3%	> Bouwlandinjecteur
Bovengronds vaste mest	654	3%	
Sleepslang	0	0%	
Sleepvoet	0	0%	
Sleufkouter	74	0.4%	
Zodenbemester onbeteelde grond	30	0.2%	
Zodenbemester beteelde grond	477	2%	

¹⁾ Verboden sinds 1 januari 2014

Tabel 3.4: Aandeel toedieningstechniek (%) in 2010 in Nederland. Mesttoedieningstechniek volgens GIAB 2010 en de aanpassing op basis van deskundigenoordeel (Bron: Van Bruggen et al., 2012).

Table 3.4: Contribution of manure application (%) in 2010 in the Netherlands. Techniques according to GIAB 2010 (Source: Van Bruggen et al., 2012).

Techniek	Gemiddeld	Dunne mest	Vaste mest
		2009-2010	2009-2010
Grasland			
Zodenbemester	56	60	-
Sleufkouter	12	13	-
Sleepvoeten en -slangen	23	25	-
Bovengronds	9	3	100
Bouwland			
Mestinjectie	61	68	-
Zodenbemester	8	9	-
Sleepvoeten en -slangen	6	7	-
Sleufkouter	7	8	-
Onderwerken in 1 werkgang	3	3	-
Onderwerken in 2 werkgangen	11	5	62
Bovengronds	4	-	38

Scenario's

Om het effect van de geconstateerde verschillen in mesttoediening, bovengronds mest toedienen op hellingen van $\geq 18\%$, en het gebruik van de sleepvoet, inzichtelijk te maken zijn er twee varianten doorgerekend:

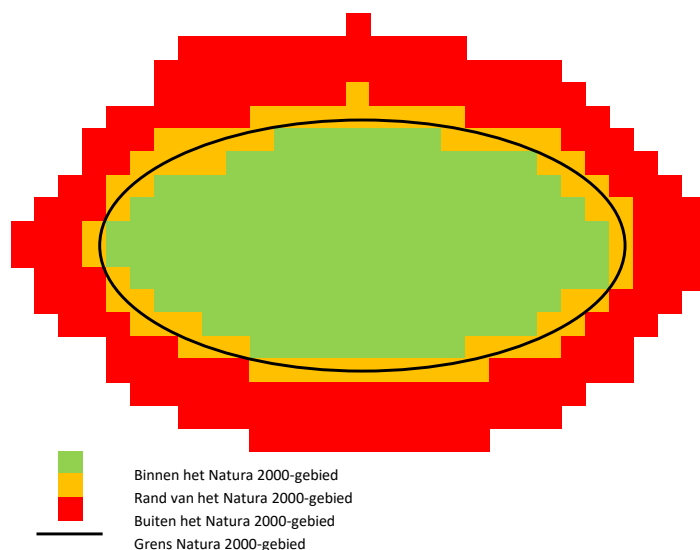
- Referentievariant: Een referentieberekening met emissiefracties/techniek volgens GIAB 2013 (=2010 voor mesttoedieningstechniek) en standaard mestverdeling.
- Aangepaste variant: Specifieke berekening met:
 - geen dierlijke mest toediening op hellingen van $\geq 18\%$, maar wel beweiding;
 - bovengrondse drijfmesttoediening vervangen door zodebemester (gras) of bouwlandinjecteur en bouwland);
 - mesttoediening met sleepvoet vervangen door zodebemester (gras).

3.3 Depositie op de Natura 2000-gebieden

Voor de beoordeling van regio-eigen depositie door ammoniakemissie door mesttoediening en beweiding (dus exclusief depositie door emissie uit stallen) in het Heuvelland wordt gewerkt met een zonering (zie Figuur 3.2):

1. binnen het Natura 2000-gebied;
2. de rand van het Natura 2000-gebied, d.w.z. alle $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ cellen die door de grens van het gebied worden aangesneden;
3. buiten het Natura 2000-gebied (maar binnen het Heuvelland).

Dit onderscheid is gemaakt om een indruk te krijgen in welke mate mesttoediening en beweiding in de nabijheid van dan wel in het Natura 2000-gebied bijdraagt aan de NH_3 -depositie in het gebied (zonder rekening te houden met effecten op grondwater).



Figuur 3.2: Schematische weergave van het binnen-, rand- en buitengebied van een hypothetisch Natura 2000-gebied

Figure 3.2: Schematic representation of the inner, border and outer area of a hypothetical Natura 2000-site.

In Tabel 3.5 zijn de gemiddelde deposities op de Natura 2000-gebieden in Heuvelland weergegeven die het gevolg zijn van de stal- en opslagemissie en de emissie door bemesting en beweiding van de bedrijven in het gebied voor het standaard scenario.

Tabel 3.5: Gemiddelde NH₃-depositie per Natura 2000-gebied door emissie vanuit stallen en opslagen en door bemesting en beweiding in het Heuvelland voor het jaar 2013 voor de referentie situatie. Bij bemesting en beweiding is nader onderscheid gemaakt in depositie door emissie buiten (Buiten) en binnen (Binnen) het Natura 2000-gebied en de depositie in de randzone (Rand) (zie Figuur 3.2).

Table 3.5: Mean NH₃ deposition per Natura 2000-site by emission from stables and storages, manure application and grazing in the Heuvelland region for the year 2013 in the reference situation. For fertilization and grazing a distinction has been made in deposition resulting from emission in the outer (Buiten), border (Rand) and inner (Binnen) area of the site (see Figure 3.2).

Natura 2000-gebied	NH ₃ depositie (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)					Relatieve bijdrage bem. en bew. (%)
	Stal	Bemesting en beweiding				
		Totaal	Buiten	Binnen	Rand	
Bunder- en Elslooërbos	63	107	57	7	42	63%
Geleenbeekdal	75	181	101	6	74	71%
Bemelerberg & Schiepersberg	82	205	88	20	96	72%
Geuldal	85	203	93	26	84	70%
Kunderberg	62	267	97	56	115	81%
Sint Pietersberg & Jekerdal	18	69	20	20	30	79%
Savelsbos	67	176	90	8	78	72%
Noorbeemden & Hoogbos	55	374	69	104	202	87%
Totaal	77	191	87	23	81	71%

De gemiddelde depositie ten gevolge van de emissie in het Heuvelland blijkt behoorlijk te verschillen per gebied. Zo is deze het laagst in Sint Pietersberg & Jekerdal (ca. 70 mol ha⁻¹ jr⁻¹) en het hoogst in het Noorbeemden & Hoogbos (ca. 375 mol ha⁻¹ jr⁻¹). De regio-eigen depositie op de Natura 2000-gebieden wordt meer bepaald door bemesting en beweiding dan door stallen en opslagen. Dit wordt met name veroorzaakt door de grootte van het gebied waardoor de eigen bijdrage van kleine gebieden, zoals Kunderberg en Noorbeemden & Hoogbos, relatief groot is. Gemiddeld draagt bemesting en beweiding voor ca. 70% bij aan de regio-eigen depositie, variërend van ca. 65% voor het Bunder- en Elslooërbos tot ca. 85% voor Noorbeemden & Hoogbos. De hoge bijdrage door beweiding in het Noorbeemden & Hoogbos komt vooral door beweiding nabij de rand van het gebied en door emissies binnen het gebied. Gemiddeld is de bijdrage van de emissie vanuit de rand vrijwel even groot (81 mol ha⁻¹ jr⁻¹) als die van buiten het gebied (87 mol ha⁻¹ jr⁻¹).

Het effect van het toepassen van de aangepaste variant levert gemiddeld een reductie van de regio-eigen depositie van ca. 5% (Tabel 3.6). Het grootste effect wordt gevonden in het Noorbeemden & Hoogbos en in het Geuldal waar de gemiddelde regio-eigen depositie hierdoor 6 tot 7% lager uitvalt.

Tabel 3.6: Gemiddelde NH₃-depositie per Natura 2000-gebied door emissie vanuit stallen en opslagen en door bemesting en beweiding in het Heuvelland voor het jaar 2013 voor de aangepaste situatie. Bij bemesting en beweiding is nader onderscheid gemaakt in depositie door emissie buiten (Buiten) en binnen (Binnen) het Natura 2000-gebied en de depositie in de randzone (Rand)(zie Figuur 3.2).

Table 3.6: Mean NH₃ deposition per Natura 2000-site by emission from stables and storages, manure application and grazing in the Heuvelland region for the year 2013 in the adjusted situation. For fertilization and grazing a distinction has been made in deposition resulting from emission in the outer (Buiten), border (Rand) and inner (Binnen) area of the site (see Figure 3.2).

Natura 2000-gebied	NH ₃ depositie (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)					Afname depositie ¹⁾ t.o.v. referentie	
	Stal	Bemesting en beweiding				Absoluut (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)	Relatief (%)
		Totaal	Buiten	Binnen	Rand		
Bunder- en Elslooërbos	63	106	56	7	42	1	1.0%
Geleenbeekdal	75	179	100	6	74	2	1.1%
Bemelerberg & Schiepersberg	82	203	87	20	96	1	0.5%
Geuldal	85	190	90	23	77	13	6.4%
Kunderberg	62	262	95	56	111	6	2.1%
Sint Pietersberg & Jekerdal	18	67	19	19	29	2	2.4%
Savelsbos	67	175	89	8	78	1	0.4%
Noorbeemden & Hoogbos	55	347	61	104	182	27	7.2%
Totaal	77	181	84	21	76	9	4.8%

¹⁾ Door het niet bemesten van hellingen van ≥18% en mestinjectie in plaats van bovengronds uitrijden van drijfmest en bij gebruik van sleepvoet.

Tabel 3.7: Bijdrage aan de gemiddelde NH₃ depositie per Natura 2000-gebied door de achtergrond (van emissies buiten de landbouw en buiten het Heuvelland) en de emissie vanuit stallen en opslagen en door bemesting en beweiding in het Heuvelland voor het jaar 2013 in de referentie situatie.

Table 3.7: Contribution to the mean NH₃ deposition per Natura 2000-site by background deposition (from non-agricultural emissions and outside the Heuvelland region) and the emission from stables and storages and manure application and grazing in the Heuvelland region for 2013 in the reference situation.

Natura 2000-gebied	NH ₃ depositie (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)				Aandeel gebied
	Achtergrond	Stal	Bemesting / beweiding	Totaal	
Bunder- en Elslooërbos	1017	63	107	1187	14%
Geleenbeekdal	708	75	181	964	27%
Bemelerberg & Schiepersberg	614	81	205	900	32%
Geuldal	635	85	202	922	31%
Kunderberg	525	62	267	854	39%
Sint Pietersberg & Jekerdal	763	18	69	850	10%
Savelsbos	726	67	176	969	25%
Noorbeemden & Hoogbos	433	55	374	861	50%
Totaal	667	77	191	934	29%

De gemiddelde bijdrage van de regio-eigen depositie aan de totale NH₃-depositie op de Natura 2000-gebieden bedraagt ca. 30% (in het referentiescenario) en varieert van 10% voor Sint Pietersberg & Jekerdal tot 50% voor Noorbeemden & Hoogbos (Tabel 3.7). Tot nu toe hebben we alleen gekeken naar de NH₃-depositie. Voor het vaststellen van de mate waarin de KDW wordt overschreden is het noodzakelijk de totale N-depositie te bepalen, dus naast de bijdrage van NH₃ ook de bijdrage van NO_x. De gemiddelde totale N-depositie per gebied is weergegeven in Tabel 3.8. Gemiddeld draagt de regio-eigen NH₃-depositie ca. 18% bij aan de totale N-depositie op de Natura 2000-gebieden in het Heuvelland. Deze bijdrage varieert van 6% voor het Sint Pietersberg & Jekerdal tot ruim 30% voor het Noorbeemden & Hoogbos.

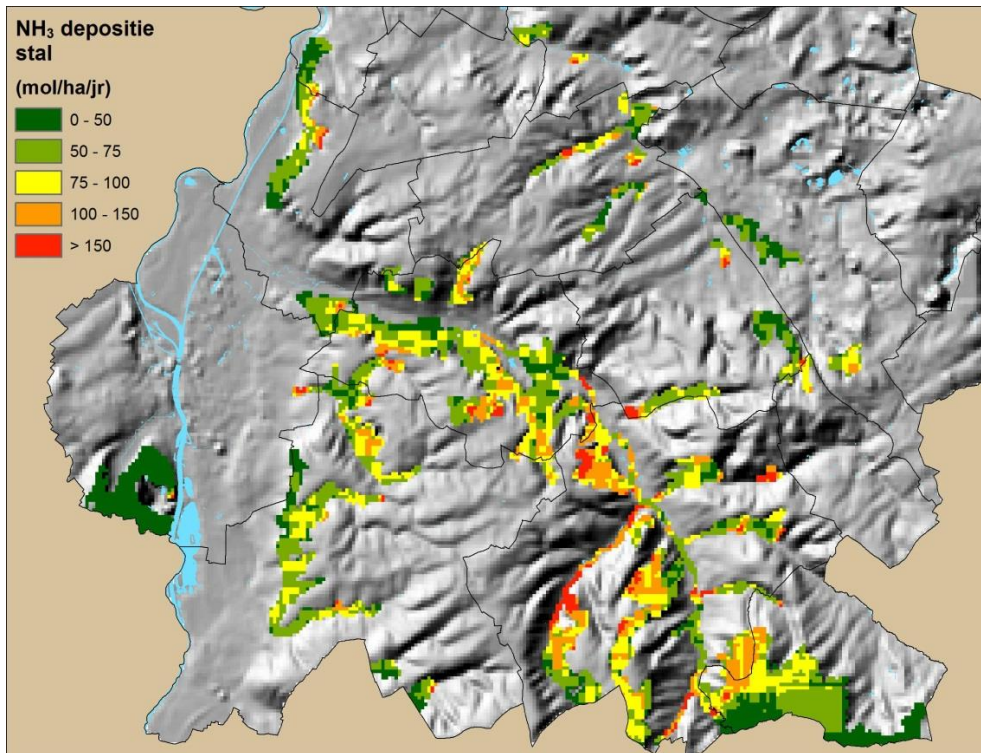
Tabel 3.8: Bijdrage aan de gemiddelde N depositie per Natura 2000-gebied door de achtergrond (buiten landbouw en Heuvelland) van NH₃ en NO_x en de regio-eigen NH₃ depositie voor het jaar 2013 voor de referentie situatie.

Table 3.8: Contribution to the mean N deposition per Natura 2000-site by background deposition (non-agricultural and from outside the Heuvelland region) of NH₃ and NO_x and region specific NH₃ deposition for 2013 in the reference situation.

Natura 2000-gebied	N depositie (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)			Totaal N	Aandeel gebied (%)
	Achtergrond NO _x	Achtergrond NH ₃	Gebied NH ₃		
Bunder- en Elslooërbos	599	1017	170	1786	10%
Geleenbeekdal	620	708	256	1584	16%
Bemelerberg & Schiepersberg	548	614	286	1448	20%
Geuldal	548	635	287	1470	20%
Kunderberg	552	525	329	1406	23%
Sint Pietersberg & Jekerdal	564	763	87	1414	6%
Savelsbos	564	726	243	1533	16%
Noorbeemden & Hoogbos	515	433	429	1376	31%
Totaal	558	667	267	1492	18%

Het ruimtelijk beeld van de huidige (2013) NH₃-depositie op de Natura 2000-gebieden in het Heuvelland ten gevolge van de stal- en opslagmissie in het Heuvelland is weergegeven in Figuur 3.3 (referentie-variant) en die ten gevolge van bemesting en beweiding in Figuur 3.4 (beide varianten). Figuur 3.3 laat zien dat de beïnvloeding van de NH₃-depositie door de NH₃-emissie vanuit de stallen en opslagen het grootst is in de langgerekte gebieden zoals het Geuldal en in kleine geïsoleerd gelegen gebiedjes. Daarnaast vindt de hoogste depositie plaats vnl. aan de rand van het Natura 2000-gebied. Dit geldt niet voor de gebieden die aan de grens liggen, omdat er geen detailinformatie van buitenlandse bronnen is meegenomen. Zo grenst het Geuldal voor een belangrijk deel aan België. In dit deel van België worden door de Vlaamse Milieumaatschappij beduidend hogere depositiewaarden berekend, ca. 30 kg (2140 mol) N ha⁻¹ jr⁻¹ (zie www.milieurapport.be) dan aan de Nederlandse kant van de grens. Zo wordt aan de zuidgrens van het Geuldal een totale N depositie van 14 tot 28 kg N (1000-2000 mol) ha⁻¹ jr⁻¹ berekend (zie Figuur 3.10).

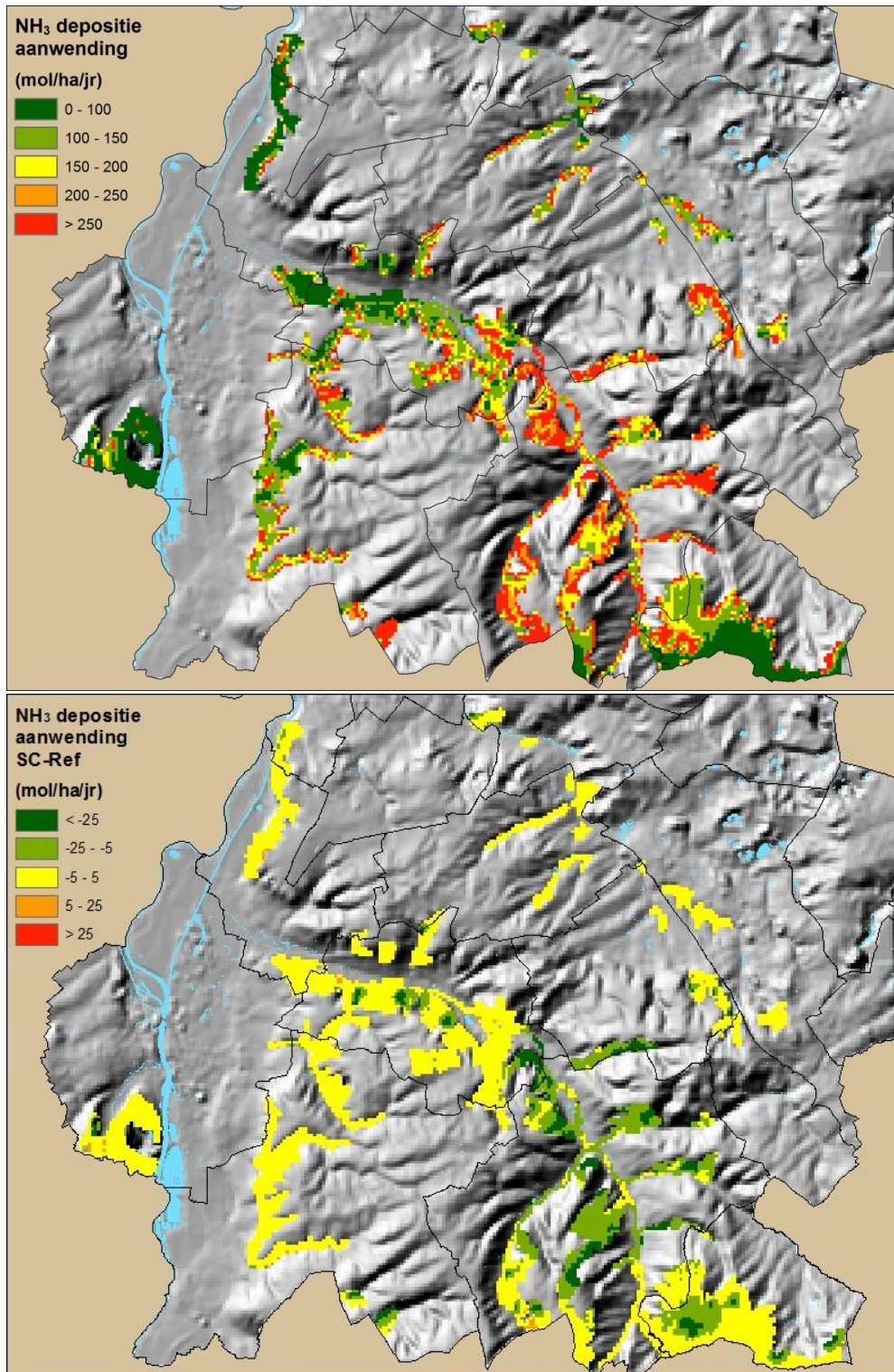
Zowel de regio-eigen depositie door stalemissie (Figuur 3.3) als door mesttoedieningen en beweiding (Figuur 3.4, boven) laten een duidelijke gradiënt van hoog naar laag zien van de rand naar het centrum van het gebied. Dit heeft tot gevolg dat in vooral de smalle langgerekte delen van het Geuldal de depositie hoger uitvalt (zoals in het Gulpdal) dan in het bovenstroomse deel van het Geuldal. Het effect van de aangepaste variant laat zien (Figuur 3.4, onder) dat vooral in het Geuldal sprake is van een verlaging van de NH₃-depositie, van 5 tot ruim 25 mol ha⁻¹ jr⁻¹. Deze verlaging vindt vooral plaats in langgerekte delen van het gebied. Daarnaast vindt er ook een verlaging plaats midden in het gebied Noorbeemden & Hoogbos (met name in Noorbeemden). Dit is het gevolg van aanpassingen bij de mesttoediening van graslandpercelen die midden in het gebied liggen (zie Figuur 2.1.2).



Figuur 3.3: De NH₃ depositie (in mol NH₃ ha⁻¹ jr⁻¹) op de Natura 2000-gebieden ten gevolge van de stal- en opslagemissie van de bedrijven in het Heuvelland in 2013 op een 100 m x 100 m resolutie.

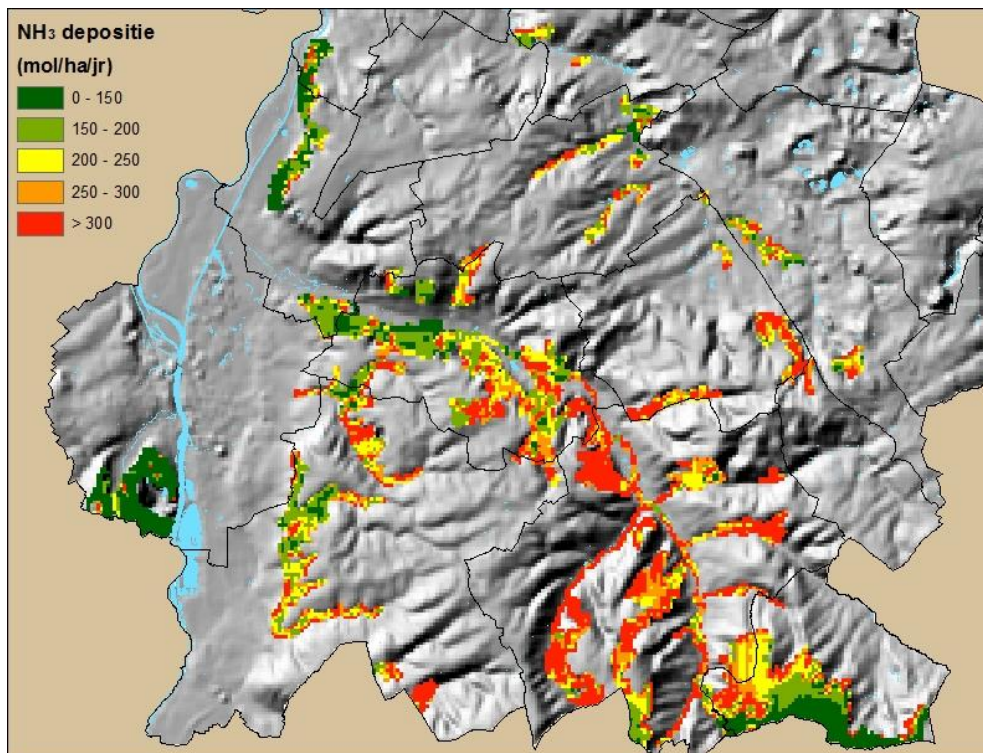
Figure 3.3: The NH₃ deposition (in mol NH₃ ha⁻¹ yr⁻¹) on Natura 2000-sites resulting from emission from stables and storages in the Heuvelland region in 2013 on a 100 m x 100 m resolution.

De totale regio-eigen NH₃-depositie is weergegeven in Figuur 3.5. Deze kaart geeft het handelingsperspectief in het Heuvelland ten aanzien van het beïnvloeden van de NH₃-depositie op de Natura 2000-gebieden. Figuur 3.6 geeft het ruimtelijk beeld van de totale NH₃-depositie (resolutie van 1 km × 1 km), welke is gebruikt voor het berekenen van de achtergronddepositie (Figuur 3.7). Het ruimtelijk beeld van de totale NO_x op een 1 km × 1 km resolutie is weergegeven in Figuur 3.8. Op basis hiervan is de totale achtergrond N-depositie (Figuur 3.9) en de totale N depositie (Figuur 3.10) bepaald (100 m × 100 m resolutie).



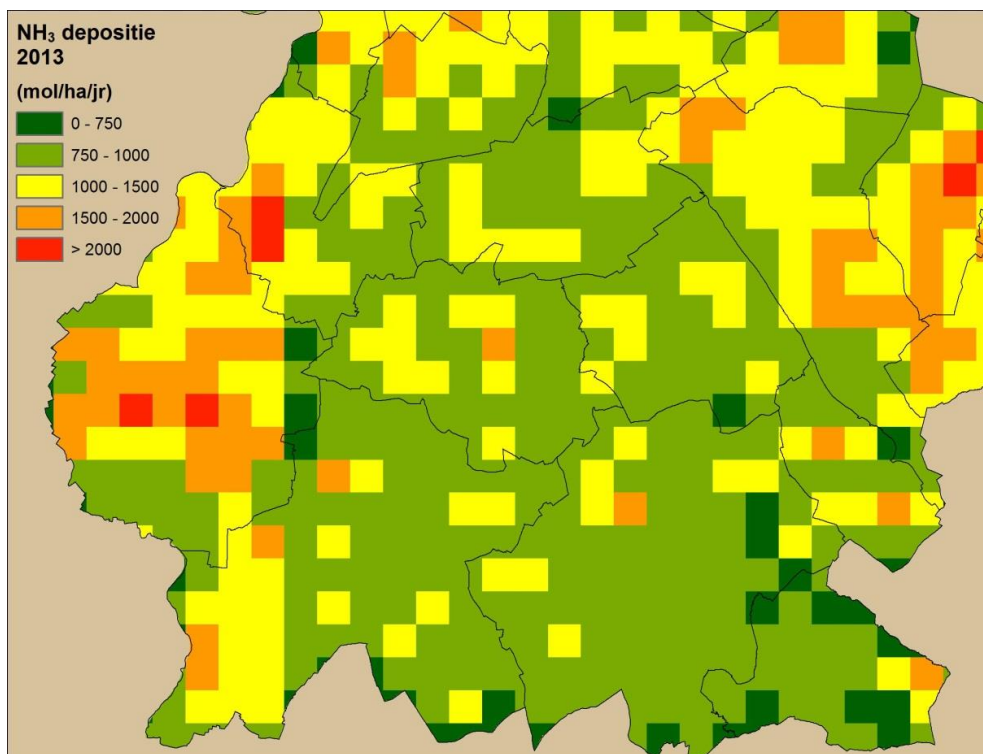
Figuur 3.4: De NH₃-depositie (in mol NH₃ ha⁻¹ jr⁻¹) op de Natura 2000-gebieden (100 m × 100 m resolutie) ten gevolge van de emissie door bemesting en beweiding in het Heuvelland in 2013 in de referentie-variant (boven) en de verandering door de aangepaste variant (SC-Ref) (onder). Zie 3.1.2 onder Scenario's voor een toelichting op deze varianten.

Figure 3.4: The NH₃-deposition (in mol NH₃ ha⁻¹ yr⁻¹) on Natura 2000-sites (100 m x 100 m resolution) resulting from emission by manure application and grazing in the Heuvelland region in 2013 in the reference situation (above) and changes caused by the adjusted situation (SC-Ref)(below).



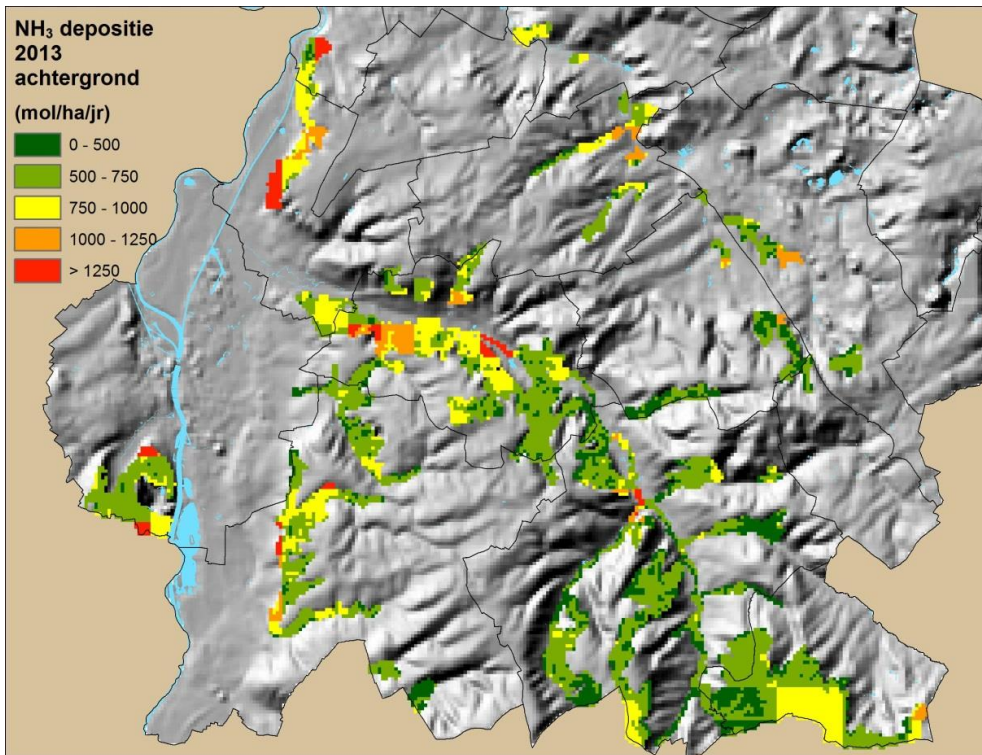
Figuur 3.5: De totale regio-eigen NH₃-depositie (in mol NH₃ ha⁻¹ jr⁻¹) op de Natura 2000-gebieden (100 m × 100 m resolutie) ten gevolge van de emissie door stallen- en opslagen, bemesting en beweiding in het Heuvelland in 2013 voor de referentie-variant.

Figure 3.5: The total region-specific NH₃ deposition (in mol NH₃ ha⁻¹ yr⁻¹) on Natura 2000-sites (100 m × 100 m resolution) resulting from emission from stables and storages, manure application and grazing in the Heuvelland region in 2013 for the reference situation.



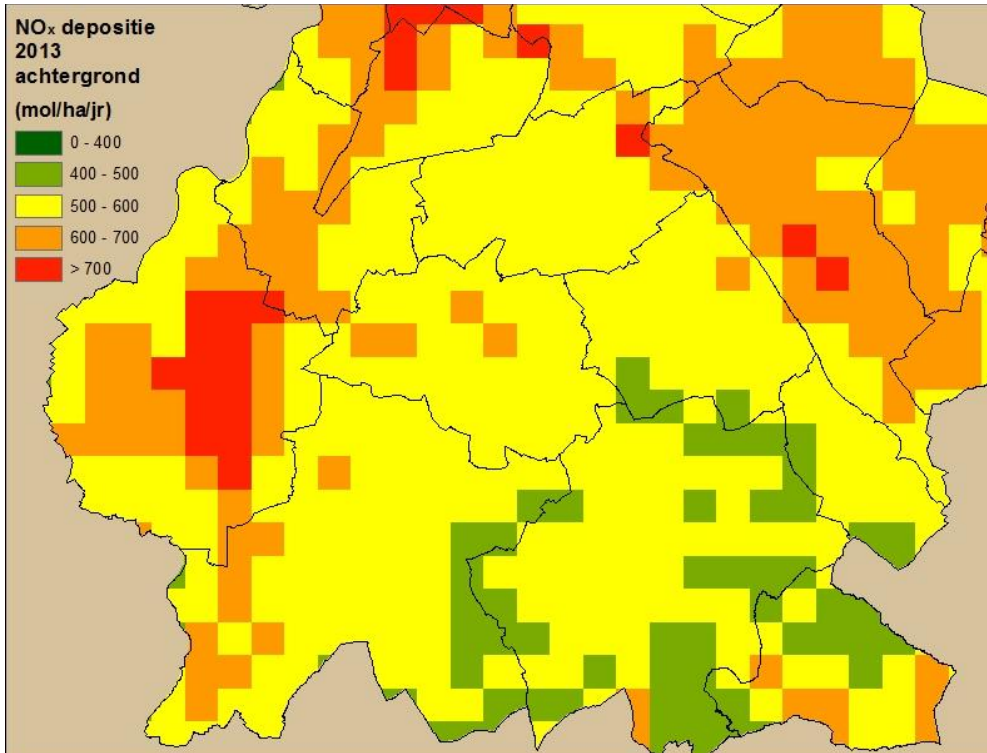
Figuur 3.6: De totale NH₃ depositie (in mol N ha⁻¹ jr⁻¹) in Zuid-Limburg in 2013 met 1 km × 1 km resolutie (bron: RIVM).

Figure 3.6: The total NH₃ deposition (in mol N ha⁻¹ yr⁻¹) in South Limburg in 2013 with 1 km × 1 km resolution (source: RIVM).



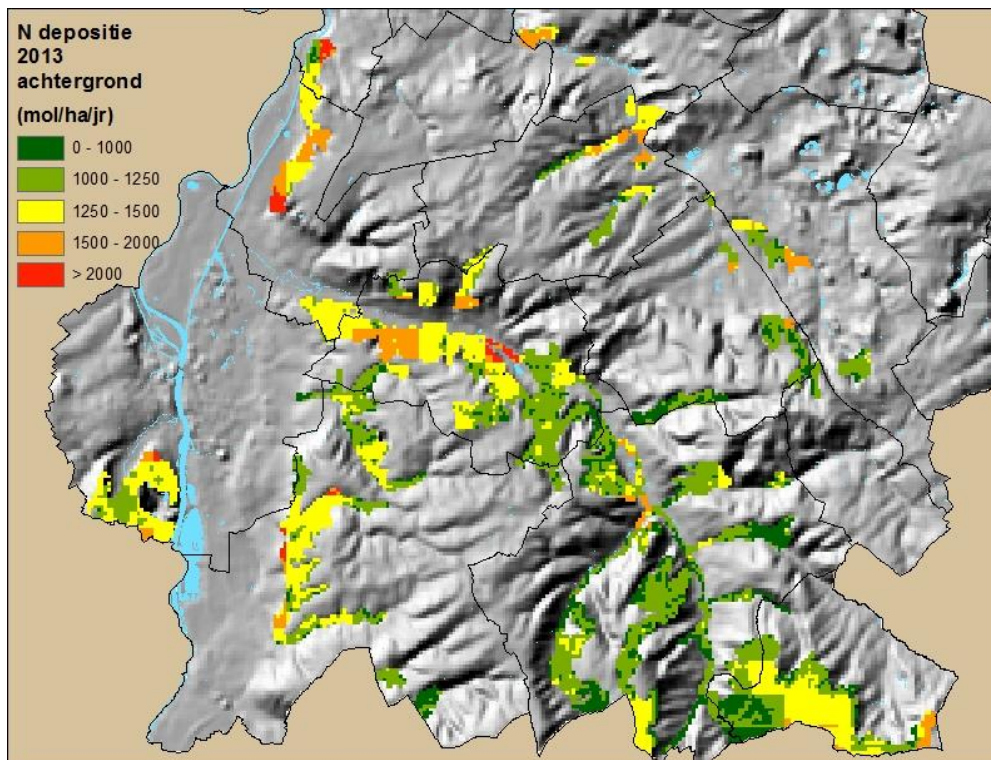
Figuur 3.7: De achtergrond NH_3 depositie (in $\text{mol N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) voor de referentievariant op de Natura 2000-gebieden in 2013 met $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ resolutie.

Figure 3.7: The background NH_3 deposition (in $\text{mol N ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) for the reference situation on Natura 2000-sites in 2013 with $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ resolution.



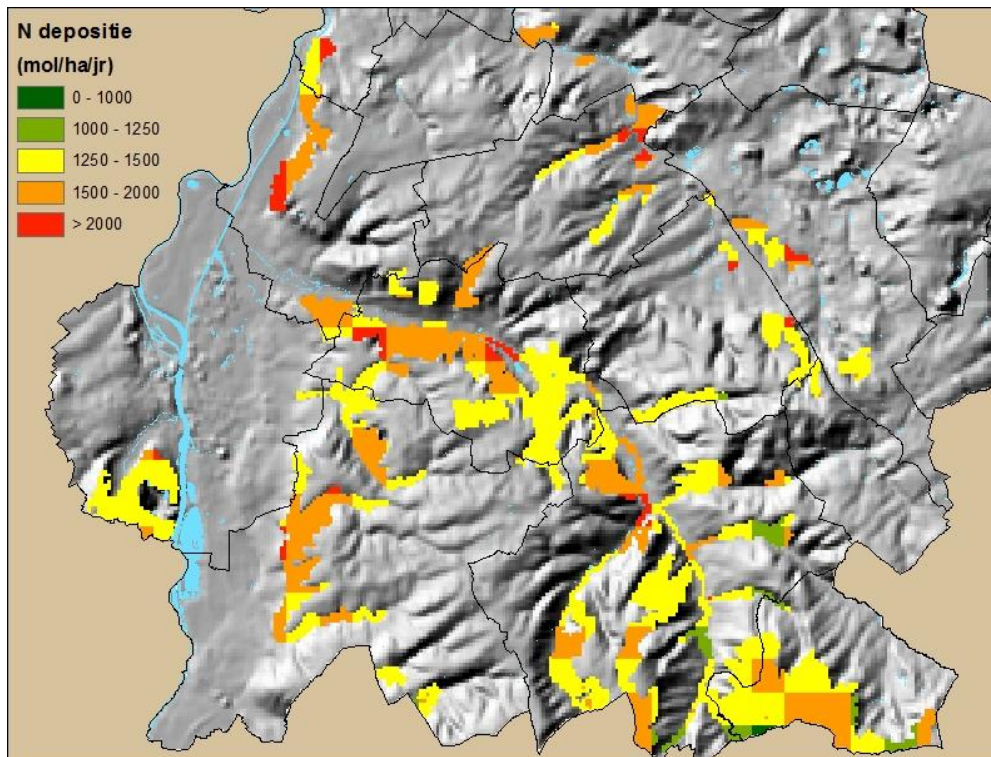
Figuur 3.8: De totale NO_x depositie (in $\text{mol N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) in Zuid-Limburg in 2013 met $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ resolutie (bron: RIVM).

Figure 3.8: The total NO_x deposition (in $\text{mol N ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) in South Limburg in 2013 with $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ resolution (source: RIVM).



Figuur 3.9: De totale N achtergronddepositie (in mol N ha⁻¹ jr⁻¹) op de Natura 2000-gebieden in 2013 voor de referentie variant met 100 m × 100 m resolutie.

Figure 3.9: The total N background deposition (in mol N ha⁻¹ yr⁻¹) on Natura 2000-sites for the reference situation in 2013 with 100 m × 100 m resolution.



Figuur 3.10: De totale N depositie (in mol N ha⁻¹ jr⁻¹) op de Natura 2000-gebieden in 2013 met 100 m × 100 m resolutie.

Figure 3.10: The total N deposition (in mol N ha⁻¹ yr⁻¹) on Natura 2000-sites in 2013 with 100 m × 100 m resolution.

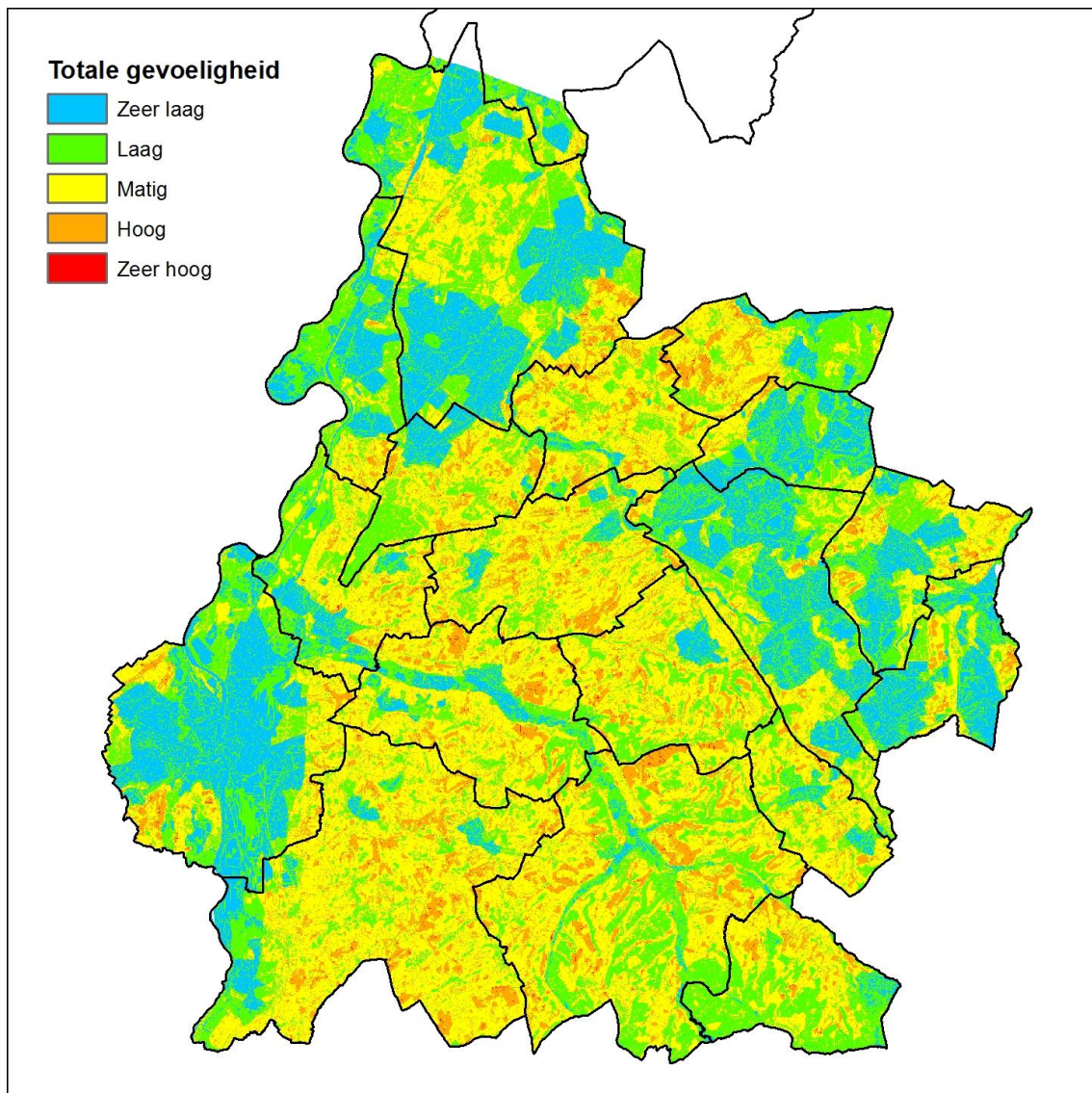
3.4 Conclusies ammoniakemissie en -depositie

- De ammoniakemissies vanuit het Heuvelland zelf dragen gemiddeld voor ca. 20% bij aan de N depositie op de habitats in de Natura 2000-gebieden. De hoogste bijdrage vindt plaats in Noorbeemden & Hoogbos, ca. 30%, en de laagste in Sint Pietersberg & Jekerdal, ca 5%.
- De grootste bijdrage aan de regio-eigen NH₃-depositie wordt geleverd door bemesting en beweiding, 71% tegen 29% door stal- en opslagmissie. Deze verhouding wijkt duidelijk af van het landelijk gemiddelde waarbij de bijdrage gelijk is verdeeld over beide bronnen.
- Het niet bemesten van graslanden op steile hellingen (hellingspercentage meer dan 18%) levert een reductie van de regio-eigen depositie van ca. 5%, variërend van minder dan 1% in Bemelerberg & Schiepersberg tot ruim 7% in Noorbeemden & Hoogbos.
- De aanleg of aanpassing van bufferstroken (mede) om negatieve effecten van N-depositie tegen te gaan, is zinvol juist op locaties waar de (beïnvloedbare) regio-eigen bijdrage aan de NH₃-depositie groot is (zeg > 200 mol/ha/jr; zie Figuur 3.5).

4 Resultaten erosiekaarten

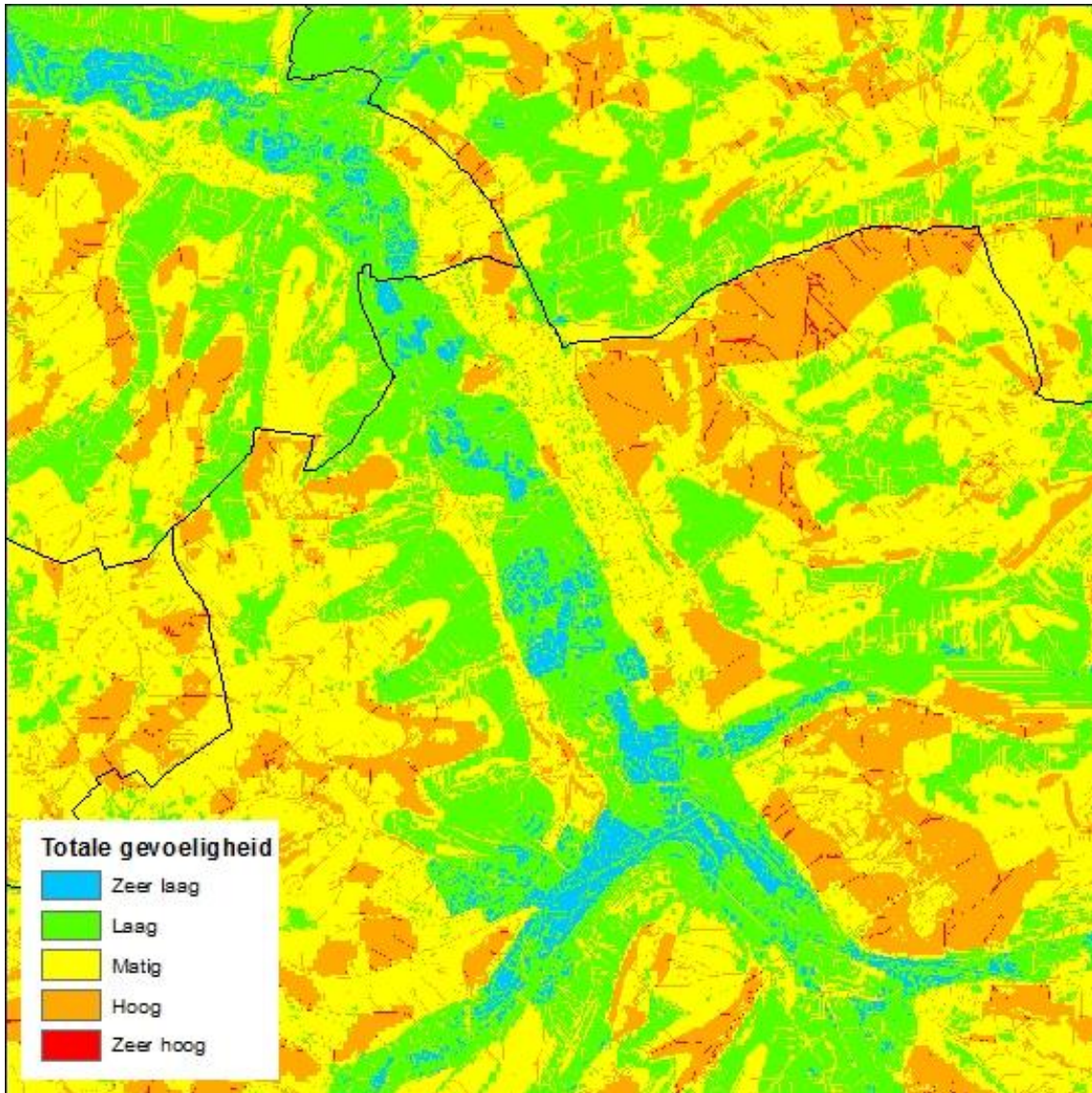
4.1 Erosiegevoeligheidskaart

De deelkaarten van erosiegevoeligheid voor hellingshoek van de bodem, afwaterend oppervlak, bodemtype en landgebruik (zie § 2.2.5) zijn samengevoegd tot een overall erosiegevoeligheidskaart, geclassificeerd van zeer laag tot zeer hoog in vijf klassen (zie Tabel 2.2.3). Figuur 4.1 geeft deze overall erosiegevoeligheidskaart met een detailuitsnede in Figuur 4.2. De toepassing van deze kaart wordt toegelicht in § 4.3.



Figuur 4.1: Erosiegevoeligheidskaart van Zuid-Limburg. Gemeentegrenzen zwart.

Figure 4.1: Map of the susceptibility to erosion of South Limburg. Municipality boundaries in black. Susceptibility ranges from very low (blue) to very high (red).



Figuur 4.2: Detail van de erosiegevoeligheidskaart (vergelijk Figuur 4.1).

Figure 4.2: Detail of the map of susceptibility to erosion (compare Figure 4.1).

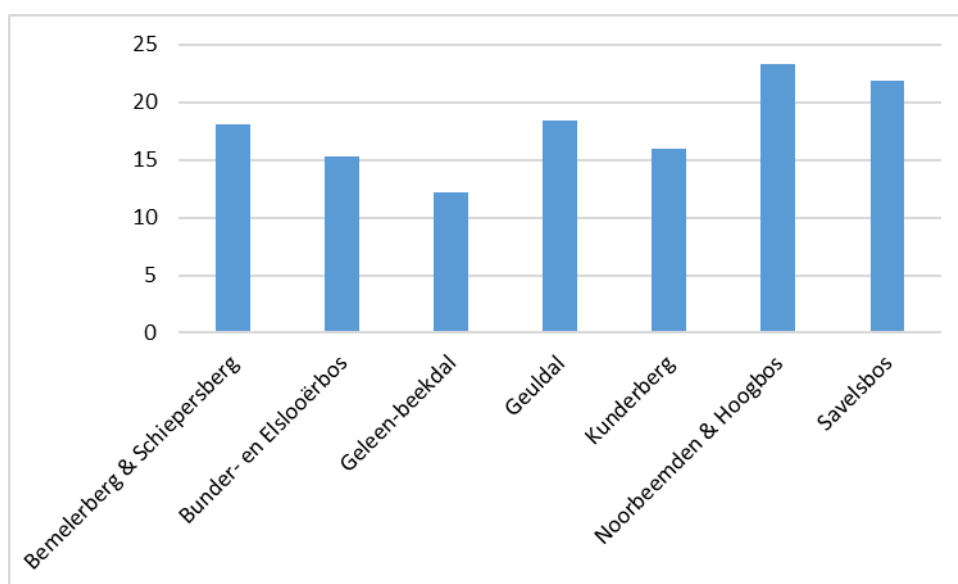
4.2 Invanggebiedenkaart

In Figuur 2.2.10 is weergegeven welke delen van Zuid-Limburg als invanggebied ('achterland') fungeren voor bodemerosie rond Natura-2000 gebieden. Per Natura 2000-gebied is in Tabel 4.1 de areaalverdeling naar erosiegevoeligheidsklassen weergegeven binnen het voor bodemerosie relevante achterland. De erosiegevoeligheid van het achterland is ontleend aan Figuur 4.1. Hiervan afgeleid is Figuur 4.3 met het oppervlakte-aandeel gridcellen met hoge en zeer hoge erosiegevoeligheid waarbij het Geleenbeekdal als laagste en Noorbeemden & Hoogbos als hoogst scoort.

Tabel 4.1: Areaalverdeling (ha) over erosiegevoeligheidsklassen van het achterland van Natura 2000-gebieden in het Heuvelland

Table 4.1: Area distribution (ha) over erosion susceptibility classes within catchment areas of Natura 2000 sites in the Heuvelland region.

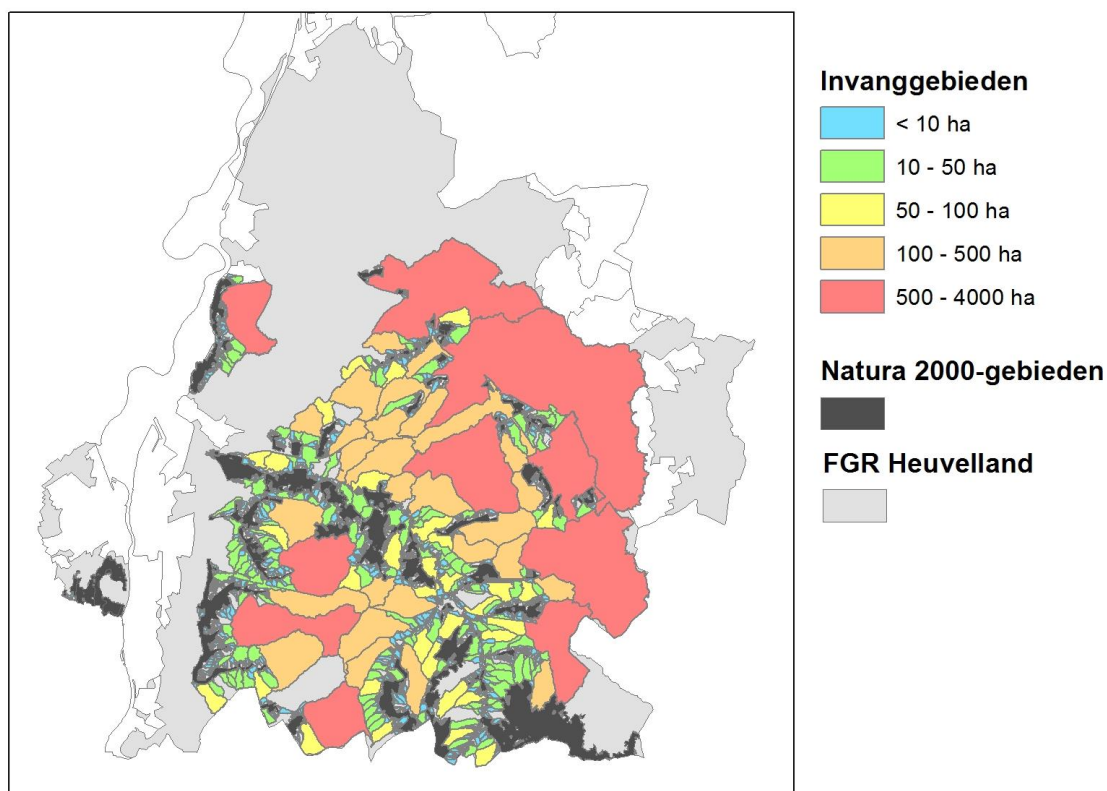
N2 gebied	Zeer laag	Laag	Matig	Hoog	Zeer hoog	Totaal
Bemelerberg & Schiepersberg	54	250	1030	288	6	1628
Bunder- en Elslooërbos	18	216	379	109	2	724
Geleenbeekdal	2122	2802	4181	1235	24	10364
Geuldal	462	2674	5821	1973	54	10984
Kunderberg	0	77	159	44	1	281
Noorbeemden & Hoogbos	0	50	493	161	4	708
Savelsbos	31	320	1524	513	13	2401
Sint Pietersberg & Jekerdal	0	0	7	1	0	8
Totaal	2687	6389	13594	4324	104	27098



Figuur 4.3: Percentage gridcellen (oppervlakte) met hoge en zeer hoge erosiegevoeligheid in invanggebieden van de Natura 2000-gebieden in het Heuvelland (behalve Sint Pietersberg & Jekerdal) gebaseerd op Tabel 4.1.

Figure 4.3: Percentage raster cells (surface area) with high and very high susceptibility to erosion in local catchment areas of Natura 2000 sites in the Heuvelland region (except Sint Pietersberg & Jekerdal), based on Table 4.1.

Het voor bodemerosie relevante achterland is per Natura 2000-gebied opgesplitst in lokale invanggebieden (Figuur 4.4 met detailuitsnede in Figuur 4.5). In Tabel 4.2 is de verdeling van het aantal invanggebieden per Natura 2000-gebied weergegeven en in Tabel 4.3 de verdeling van de oppervlakte van invanggebieden. Om beide statistieken enigszins te kunnen vergelijken tussen de gebieden die sterk verschillen in grootte en vorm zijn aantallen en oppervlakten uitgedrukt per km randlengte.

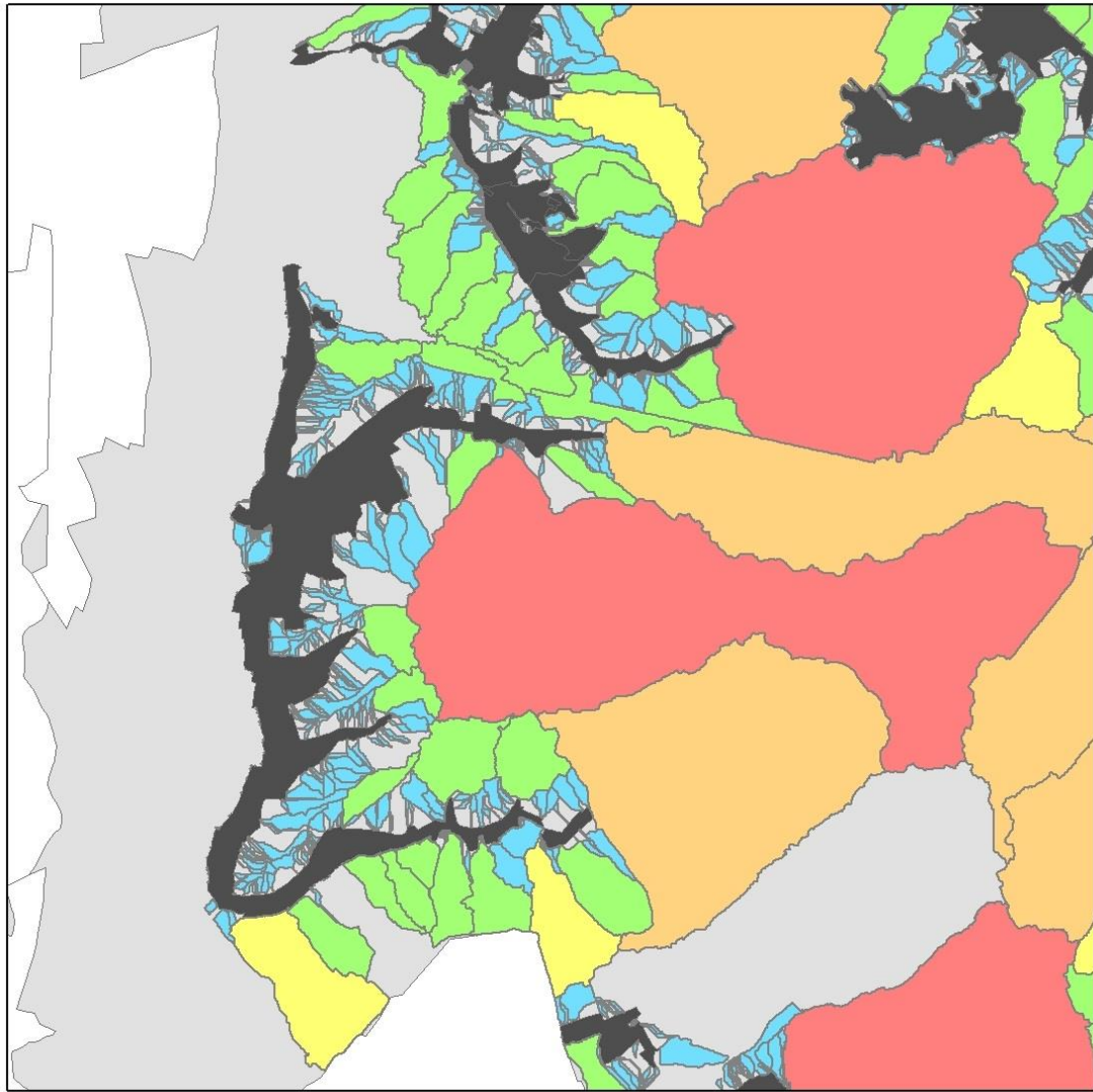


Figuur 4.4: Lokale invanggebieden voor bodemerosie rond Natura 2000-gebieden, geclassificeerd naar grootte.

Figure 4.4: Local catchment areas for soil erosion around Natura 2000 sites, classified by size.

In totaal worden 14101 invanggebieden onderscheiden, 99% hiervan is kleiner dan 10 ha, maar tezamen beslaan ze slechts 9% van het areaal. Omgekeerd zijn 10 gebieden, oftewel 0,1% van het aantal invanggebieden >500 ha; deze 10 gebieden vertegenwoordigen echter wel 47% van het totale areaal.

De invanggebiedenkaart is bedoeld voor een nadere beoordeling van het achterland van Natura 2000-gebieden binnen het Heuvelland. De erosiegevoeligheid van de randzones van Natura 2000-gebieden wordt weliswaar mede bepaald door de oppervlakte van het achterland maar hierbij zijn vooral invanggebieden kleiner dan 10 ha belangrijk (vergelijk Tabel 2.2.2 en Figuur 4.5).



Figuur 4.5: Detail van de invanggebiedenkaart rond Natura 2000-gebied Savelsbos en aangrenzende delen van Bemelerberg & Schiepersberg, Geuldal en Noorbeemden & Hoogbos (vergelijk Figuur 4.4).

Figure 4.5: Detail of the map of catchment areas around Natura 2000 site Savelsbos and adjacent parts of Bemelerberg & Schiepersberg, Geuldal and Noorbeemden & Hoogbos (compare Figure 4.4).

Tabel 4.2: Verdeling van het aantal lokale invanggebieden naar grootte per km randlengte van Natura-2000 gebieden in het Heuvelland. Voorbeeld: Geuldal heeft 30 lokale invanggebieden <10 ha per km randlengte.

Table 4.2: Distribution of the number of local catchments classified by size per km perimeter of Natura 2000 sites in the Heuvelland region. Example: Geuldal has 30 catchments <10 ha per km perimeter.

N2-gebied	<10 ha	10-50 ha	50-100 ha	100-500 ha	>500 ha	totaal aantal	perimeter (km)
Bemelerberg & Schiepersberg	29.8	0.6	0.0	0.0	0.0	995	32.7
Bunder- en Elslooërbos	43.6	0.2	0.0	0.0	0.0	903	20.6
Geleenbeekdal	26.7	0.3	0.1	0.2	0.1	1383	50.5
Geuldal	30.0	0.3	0.1	0.1	0.0	8604	282.8
Kunderberg	47.6	0.2	0.1	0.1	0.0	546	11.4
Noorbeemden & Hoogbos	39.5	0.2	0.2	0.0	0.2	250	6.3
Savelsbos	33.8	0.5	0.1	0.1	0.0	1178	34.2
Sint Pietersberg & Jekerdal	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	242	35.2

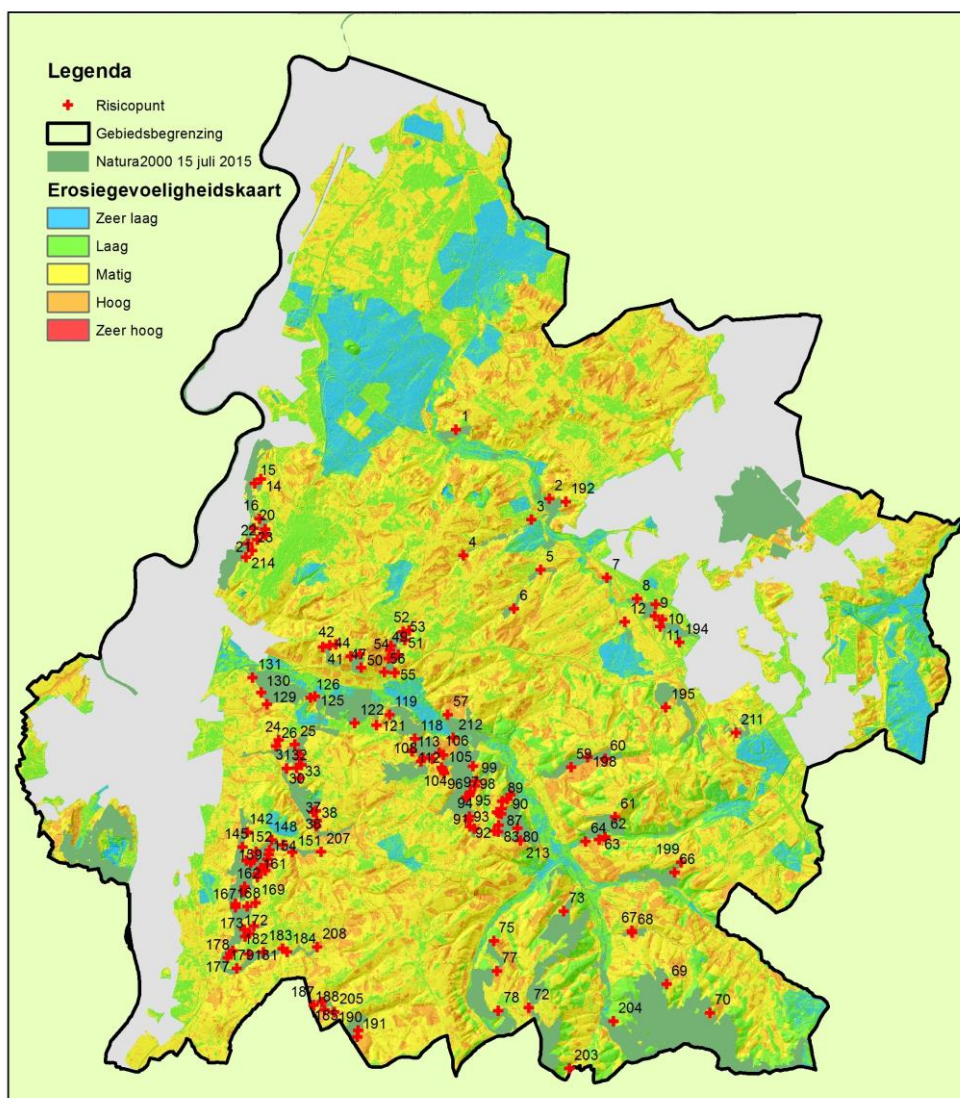
Tabel 4.3: Verdeling van de totale oppervlakte van lokale invanggebieden naar grootte per km randlengte van Natura-2000 gebieden in het Heuvelland.

Table 4.3: Distribution of the total area of local catchments classified by size per km perimeter for Natura 2000 sites in the Heuvelland region.

N2-gebied	<10 ha	10-50 ha	50-100 ha	100-500 ha	>500 ha	totaal opp (ha)	perimeter (km)
Bemelerberg & Schiepersberg	6.7	10.8	2.1	10.0	20.1	1626.7	32.7
Bunder- en Elslooërbos	5.4	5.1	0.0	0.0	24.7	723.5	20.6
Geleenbeekdal	6.7	8.3	3.9	32.7	153.5	10364.3	50.5
Geuldal	5.2	6.7	6.0	12.0	9.0	10995.5	282.8
Kunderberg	2.9	4.2	5.0	12.5	0.0	281.2	11.4
Noorbeemden & Hoogbos	8.9	3.1	14.8	0.0	86.9	710.9	6.3
Savelsbos	8.4	10.2	4.0	24.2	23.4	2401.6	34.2
Sint Pietersberg & Jekerdal	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	35.2

4.3 Risicopuntenkaart

De erosiegevoeligheidskaart is gelegd over de habitatkaart (versie augustus 2015). Op grond hiervan zijn in de rand van Natura 2000-gebieden punten geselecteerd in terreindelen met hoge en/of zeer hoge gevoeligheid voor erosie vanuit landbouwgronden. Deze locaties zijn vervolgens in een gezamenlijke sessie met de beheerders (LL: Arjan Ova; NM: Frenk Janssen; SBB: Patrick Kloet) getoetst aan de beschikbare gebiedskennis. Hierbij zijn een aantal locaties afgevallen, bijv. als tussen het landbouwgebied en het natuurgebied een weg of waterloop ligt. Ook zijn punten toegevoegd. Op grond van dit proces is aan elke risicolocatie een status toegekend volgens Tabel 4.4. Het aldus ontstane puntenbestand is de risicopuntenkaart (Figuur 4.6) met 163 risicolocaties. Aan deze punten is een aantal kenmerken gekoppeld (Tabel 4.5).



Figuur 4.6: Erosierisicopunten rond Natura 2000-gebieden weergegeven op de erosiegevoeligheidskaart van het Heuvelland.

Figure 4.6: Points of high erosion risk around Natura 2000 sites added to the erosion susceptibility map of the Heuvelland region.

Tabel 4.4: Status van risicopunten voor erosie vanuit landbouwgrond in Natura 2000-gebieden in het Heuvelland.

Table 4.4: Status of points with high risk of erosion from farmland into Natura 2000 sites in the Heuvelland region.

Status	Toelichting	Aantal punten
1	Niet expliciet beoordeeld anders dan op ligging ten opzichte van bron en barrières	87
2	Expliciet beoordeeld en herkend in sessie met TBO's	59
3	Toegevoegd tijdens sessie met TBO's	17

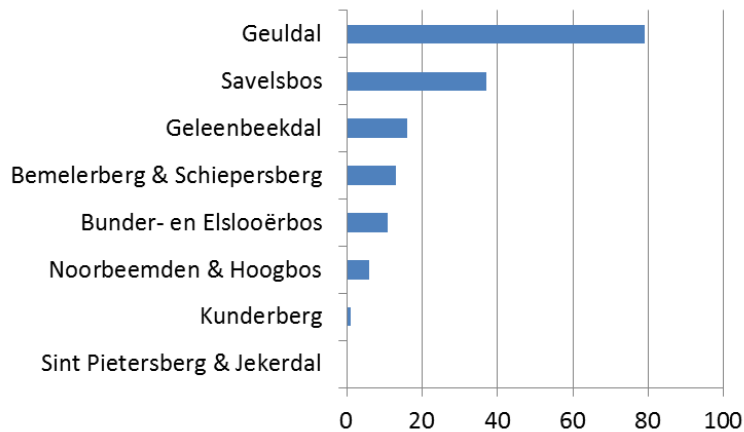
Tabel 4.5: Kenmerken (velden) van risicopunten afgeleid uit de erosiegevoeligheidskaart.

Table 4.5: Features (fields) of points with high susceptibility to erosion derived from the erosion susceptibility map.

Veld	Toelichting
Gebiednr	Nummer Natura 2000-gebied:
TBO	Terreinbeherende organisatie (niet volledig)
HType	Habitattypen op risicolocatie
Toponiem	Unieke naam van locatie op grond van topografische kaart
Locatienr	Uniek nummer
Status	Status volgens tabel 4.4 (1, 2 of 3)
Point_X	X-coördinaat van locatie
Point_Y	Y-coördinaat van locatie
NDEPO	Berekende N-depositie
Exposition	Expositie geclassificeerd naar 8 (wind)richtingen
Helling	Helling
Helling_kl	Helling toegekend aan klasse volgens tabel 2.2.2
Flowaccumu	Flowaccumulation: maat voor de omvang van het achterland van de risico-locatie
Flowacc33	Maximale waarde van Flowaccumu binnen een venster van 3*3 gridcellen rond de risico-locatie, voor het geval het risicopunt niet exact op de stroomlijn is gelegen
Flowa33_kl	Waarde Flowacc33 toegekend aan klasse volgens tabel 2.2.2 (Oppervlakte achterland)

In hoeverre de risicopunten daadwerkelijk een hoge erosiegevoeligheid hebben en zo ja in welke mate versnelde erosie al optreedt, is niet systematisch in het veld beoordeeld. Ook is niet gezegd dat alle locaties met een hoge erosiegevoeligheid in beeld zijn, gegeven de vrij grove schaal van de gebruikte bestanden. Uit het in 2016 uitgevoerde veldwerk bleek wel dat vrijwel alle bezochte risicopunten inderdaad betrekking hebben op versnelde erosie maar dat de erosiegevoeligheid afhangt van lokale terreinkenmerken. Een nauwkeurig overzicht van risicopunten vereist een nadere beoordeling in het veld zoals beschreven in Hoofdstuk 5 (§ 5.2 Beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen)

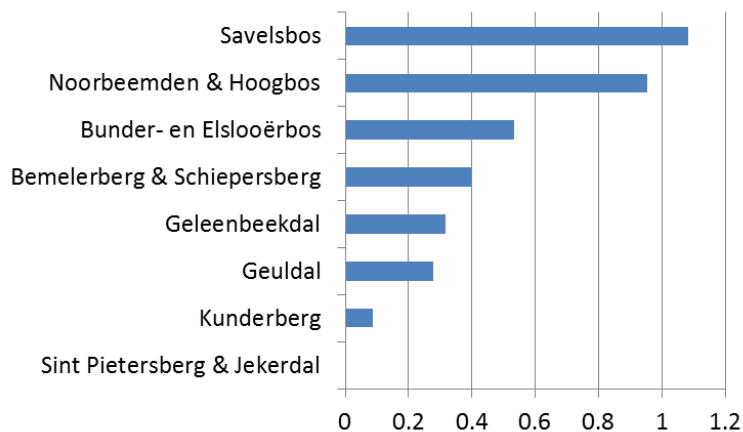
De verdeling van het aantal risicopunten over de Natura 2000-gebieden van het Heuvelland is weergegeven in Figuur 4.7.



Figuur 4.7: De verdeling van de 163 erosierisicopunten over de Natura 2000-gebieden.

Figure 4.7: The distribution of the 163 points of high erosion risk over the Natura 2000 sites.

De meeste risicopunten liggen binnen het Geuldal en het Savelsbos, samen 71%. Uitgedrukt per km perimeter van Natura 2000-gebieden scoort Savelsbos het hoogst en blijkt het Geuldal juist relatief weinig risicopunten te hebben (Figuur 4.8).



Figuur 4.8: De verdeling van het aantal risicopunten per km randlengte van Natura 2000-gebieden in het Heuvelland.

Figure 4.8: The distribution of the number of points of high erosion risk per km perimeter of the Natura 2000 sites in the Heuvelland region.

Tabel 4.6 geeft de verdeling van risicopunten over habitattypen en Natura 2000-gebieden.

Tabel 4.6: Verdeling van de risicopunten over gebieden en habitattypen. Een risicopunt kan betrekking hebben op meerdere habitattypen.

Table 4.6: Distribution of the risk points on areas and habitat types. A risk point can be related to more than one habitat type.

Habitatype	Bemelerberg & Schiepersberg	Bunder- en Elsooërbos	Geleenbeekdal	Geuldal	Kunderberg	Hoogbos	Noorbeemden & Noorbeemden & Hoogbos	Savelbos	Totaal
H6110	1								1
H6210	3			6	1				10
H6230				2					2
H6430C				1					1
H6510A				1					1
H7220		3		3					6
H7230			1						1
H9110				5					5
H9210	1		1	23			5		30
H9160B	4	11	4	45			32		96
H91E0C		4	11	8		1			24
H0000	9	1	6	31	1	6	31		85
Totaal	18	19	23	125	2	7	68		

Een risicopunt heeft betrekking op maximaal 4 habitattypen incl. H0000 (geen habitatype). Veruit de meeste punten betreffen bossen, vooral Eiken-haagbeukenbossen (H9160B) en Beuken-eikenbossen met hulst (H9120). Slechts 10 punten (6%) hebben betrekking op schraalgraslanden (Kalkgraslanden H6210, Heischrale graslanden H6230, en Glanshaverhooilanden H6510A). Hoewel het project zich niet primair richt op door grondwater beïnvloede habitattypen, blijkt uit Tabel 4.6 dat ten minste 24 risicopunten (ook) betrekking hebben op Beekbegeleidende bossen (H91E0C), Kalktufbronnen (H7220) en/of Kalkmoerassen (H7230).

5 Herkenning en beoordeling van typen van erosie en sedimentatie in het Heuvelland

De voor de beoordeling van erosie- en sedimentatieverschijnselen belangrijkste erosietypen zijn al beknopt beschreven: sheet-erosie, rill- en gully-erosie en erosie in kloofvormige dalen (Tabel 2.2.1, Figuren 2.2.1 en 2.2.2). In dit hoofdstuk wordt nader toegelicht hoe deze typen kunnen worden herkend (§ 5.1) en beoordeeld (§ 5.2) aan de hand van bouwstenen die in deze paragraaf voor elk erosietype worden besproken.

5.1 Erosietypen in het Heuvelland

5.1.1 Sheet-erosie

Werking

Sheet-erosie is het min of meer gelijkmatig over het oppervlak afstromen van door regendruppelinslag losgemaakte bodemdeeltjes met water als agens. Sheet-erosie is de minst ingrijpende vorm van erosie maar beslaat relatief grote oppervlakken. De tegenhanger van sheet-erosie is de insnijdende erosie in smalle lineaire stroombanen (zie § 5.1.2). In akkers (ploegvoren) en in minder mate graslanden zal er meestal sprake zijn van ondiepe lineaire erosie. Deze kan echter in een bosrand overgaan in sheet-erosie op hellingen met gelijkmatige, convexe of rechte hellingsegmenten en bodems met een weerstand tegen erosie, zoals kleibodems (voorbeelden: Figuur 2.2.3B, Figuur 5.1). Hellingafwaarts zal de oppervlakkige afstroom 'doodlopen' of bij substantiële aanvoer weer overgaan in lineaire erosievormen. Bij de minst heftige vorm van sheet-erosie hoort sedimentatie van een zeer dun laagje (<2 cm) colluvium op de helling. Vaak blijft sheet-erosie beperkt tot het plaatselijk verwijderen en weer afzetten van strooisel. Onder bos zelf zal nauwelijks sheet-erosie ontstaan doordat de voor sheet-erosie benodigde druppelinslag op de bodem niet kan optreden of (in de winter) wordt verhinderd door een boom- en struiklaag.

Bouwstenen

Tabel 5.1 geeft de voor de beschrijving van sheet-erosie benodigde bouwstenen.

Tabel 5.1: Bouwstenen voor de karakterisering van sheet-erosie in een gebied.

Table 5.1: Components for the characterization of sheet erosion in a site.

Bouwsteen	Relevantie
L: Landgebruik en vegetatie op de grens van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied (Figuur 2.3.3)	Alle bouwstenen zijn relevant (overgangen akker/grasland/bos); akkers geven vooral aanleiding tot rill-erosie, maar deze kan in de bosrand overgaan in sheet-erosie, bijv. in een erosie-nis.
R: Geomorfologische aard en positie van de plateaurand (Figuur 2.3.4)	Convexe plateauranden zijn sterk geassocieerd met sheet-erosie (R3-R5). Steile plateauranden (R1, R2) geven aanvankelijk rill- en gully-erosie die (in het gunstige geval) hellingafwaarts over kan gaan in sheet-erosie. Voor R6 (Steilwanden langs grubbe) is sheet-erosie niet relevant.

Bouwsteen	Relevantie
P1: Paden en wegen langs de steile plateaurand (Figuur 2.3.5)	Doorgaans niet geassocieerd met sheet-erosie in het geval de steilrand zich onder het pad bevindt (P1-1, P1-4, P1-5, P1-6), want deze combinatie werkt juist versterkend t.a.v. rill- en gully-erosie. Steilwandjes geven aanvankelijk rill- en gully-erosie maar deze kan in het gunstigste geval 'doodlopen' en overgaan in sheet-erosie. P1-7 (Steilrand in bos zonder pad) is in dit opzicht het meest relevant maar geeft nog altijd sterkere rill- en gully-erosie dan als er geen steilrand is.
P2: Paden en wegen langs de convexe plateaurand (Figuur 2.3.9)	Zeer relevant voor sheet-erosie. Via paden kan een erosiestroom zich vanuit de akker wel concentreren en alsnog aanleiding geven tot rill-erosie maar veel minder sterk dan bij P1.
W: Wallen en ruggetjes op de plateaurand (Figuur 2.3.11)	W2 (Wal in bos) en W3 (Wal tussen bufferstrook en bos) voorkomen of stoppen sheet-erosie. Bij W3 treedt hellingopwaarts wel sheet-erosie op. W4 (Dam in kop van grubbe) is niet relevant.
H: Hellingvormen, paden en obstructies binnen het Natura 2000-gebied (Figuur 2.3.13)	Sheet-erosie treedt op bij alle hellingvormen maar is het minst relevant voor steilranden en grubben. H1 (Stabiele helling), H2 (Terrasrand in bos) en H3 (Terras met wal in bos) zijn het meest relevant nabij de bosrand. Sheet-erosie in en vanuit stabiele erosie-nissen (H4 - H6) kan zich concentreren en aanleiding geven tot insnijdende erosie. Bouwstenen H7 - H18 betreffen doorgaans ernstiger vormen van erosie en zijn daardoor voor sheet-erosie minder relevant.

Relatie met sedimentatie (bouwstenen: Figuur 2.3.14)

Sheet-erosie geeft aanleiding tot sedimentatie van dunne laagjes ('films'; bouwsteen S1). Door barricades komt sheet-erosie (versneld) tot stilstand en kan accumulatie van sediment optreden (bouwsteen S2).

Herkenning in het veld

Door sheet-erosie wordt strooisel en oppervlakkig bodemmateriaal verplaatst waarbij de minerale bodem en wortels bloot kunnen komen te liggen ('denudatie': Figuur 5.1 links). Verplaatsing van strooisel is ook herkenbaar aan structuren van mini-vloedmerken en als concentraties rond boomvoeten en rond stengels in de kruidlaag (Figuur 2.2.3A en B). Deze structuren zijn na een voorjaarsseizoen meestal weer verdwenen. Sheet-erosie resulteert in sedimentatie van dunne colluviumlaagjes die na afzetting als een compacte korst zijn te herkennen (Figuur 2.2.3D). Binnen enkele seizoenen kan deze korst onder invloed van het bodemleven vervagen en gemengd worden met de oorspronkelijke bovengrond maar soms blijft een fijne gelaagdheid van humusrijke en humusarme laagjes aanwezig.

Sheet-erosie is een natuurlijk proces in Zuid-Limburg dat in in de loop van het Holoceen door ontginning is geïntensiveerd tot versnelde erosie waarbij 'onthoofding' van het oorspronkelijke bodemprofiel heeft plaatsgevonden (Jungerius & Kwaad, 1973), met name in de plateauranden. Door eeuwenlange blootstelling aan sheet-erosie zijn in lösspakketten de oorspronkelijke humusrijke bovengrond en de daaronder liggende klei-uitspoelingslaag deels afgespoeld en zijn er uit de oorspronkelijke (niet-onthoofde) radebrikgronden bergbrikgronden ontstaan (De Bakker & Schelling, 1966; Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990). Men spreekt dan van gedenudeerde bodems. Dit eeuwenlange proces heeft er toe bijgedragen dat dikke colluviumpakketten in dalbodems en aan de hellingvoeten zijn ontstaan. Deze bodems zijn in het algemeen iets minder kleirijk, hebben minder bodemvorming ondergaan en hebben door een iets hoger humusgehalte een valere kleur in vergelijking met lössbodems in situ. Eeuwenlange blootstelling aan sheet-erosie is dus ook herkenbaar in het bodemprofiel. Ook zijn er in colluvium meer artefacten zoals

baksteenfragmenten en houtskoolresten aan te treffen. Solifluctie-afzettingen op de helling zijn niet ontstaan door sheet-erosie maar stammen uit een nog verder, kouder verleden (Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990), te herkennen aan de afwezigheid van artefacten.

Voorbeeldgebieden

- Komt algemeen voor op convexe hellingen, ook in gebieden waar vooral steilranden in de rand van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied domineren, zoals in het Bunderbos (Figuur 5.1 rechts).
- In bufferzones algemeen zowel als bosstrook (bijv. Bemelerberg) als grasstrook (bijv. O-rand Savelsbos).
- Op de Bemelerberg (Verlengde Winkelberg) voorbeelden van sheet-erosie met rills in geplagd grasland (Figuur 5.5 links).



Figuur 5.1: Voorbeelden van sheet-erosie. Links: In de vorm van denudatie in het Kloosterbos. Rechts: Uitgebreide sheet-erosie op een convexe plateaurand in het Bunderbos (foto's: Rein de Waal, 2016).

Figure 5.1: Examples of sheet erosion. Left: As denudation by sheet erosion in the Kloosterbos. Right: Extensive sheet erosion on a convex plateau margin in the Bunderbos.

Betekenis voor de vegetatie

De fysieke gevolgen van sheet-erosie en -sedimentatie in de Natura-2000 gebieden zijn in het algemeen beperkt en de ecologische effecten niet altijd negatief zolang geen sprake is van met nutriënten verrijkt afstromend water. Bij de meest intense vorm kan de korte vegetatie platgeslagen worden en wortelstelsels ontbloot worden. Afspoeling van het bovenste laagje (humusprofiel) van de bodem kan leiden tot een iets minder zure bovengrond maar dit effect is gering. Door verplaatsing en roering van strooisel wordt de afbraak ervan versneld. Door de periodieke afvoer van strooisel en afzetting van dun sediment in de boszone achter de bosrand ontstaat regelmatig nieuw vestigingsmilieu voor bodemmossen en mogelijk ook voor soorten met een langlevende zaadbank. Onder deze omstandigheden van periodieke blootstelling aan sheet-erosie en sedimentatie wordt het karakter van de kruidlaag sterk mede bepaald door lichtbeschikbaarheid.

De meeste bufferstroken met bos zijn dicht ingeplant en hebben een ijle kruidlaag (5-10%) met klimop, mannetjesvaren en verspreide grote brandnetel, geel nagelkruid en hondsdrif als vaste soorten. Bij een hogere lichtbeschikbaarheid, zoals in oudere bufferstroken, kan de kruidlaag minstens 80% bedekken en komen naast eerder genoemde soorten lichtminnende ruigtsoorten voor zoals harig wilgenroosje, berenklaauw en koninginnekruid en de houtige soorten gewone vlier en bramen. Ook karakteristieke bossoorten kunnen voorkomen.

Voorbeeld 1: Schiepersberg, bufferstrook bij risicopunt 37. Vrij dichte boomlaag met esdoorn, linde, iep en haagbeuk en tweede boomlaag van es en meidoorn. Op deze locatie is sprake van een opvallende sedimentatie als gevolg van uitvloeiing over een breed front vanuit enkele risicopunten op de grens van akker (uiveld) en bufferstrook. Deze 'sheet-sedimentatie' is dus het gevolg van rill-erosie maar in een deel van de bufferstrook waarin sheet-erosie 'uitdooft' en de opvang van sediment van intensievere erosie ook goed functioneert. In de minst frequent door sedimentatie beïnvloede delen bestaat de kruidlaag (ca. 25%) vooral uit klimop en mannetjesvaren met verspreide kleine exemplaren grote brandnetel; de moslaag bedekt 80% en bestaat uit algemene *Alno-Padion*-soorten: *Atrichum undulatum*, *Kindbergia*, *Oxyrrhynchium hians* en *Plagomnium undulatum*. De frequent beïnvloede delen hebben nauwelijks een kruidlaag waarin met name klimop overleeft en de moslaag nog aanwezig is rond stamvoeten (Figuur 5.2).



Figuur 5.2: Aanzienlijke sheet-erosie en bijbehorende-sedimentatie (als film) in een bufferstrook van de Schiepersberg (risicopunt 37). Strooisel is afgevoerd; de moslaag resteert nog rond stamvoeten. In de ijle kruidlaag zijn klimop en enkele kleine exemplaren grote brandnetel en mannetjesvaren nog aanwezig (foto's: Rienk-Jan Bijlsma, augustus 2016).

Figure 5.2: Substantial sheet erosion and corresponding sedimentation (as a film) in a buffer strip of the Schiepersberg site (risk point 37). Litter has been drained away; the moss layer survived near stem bases. Hedera and scattered small individuals of Urtica and Dryopteris filix-mas are still present in the open herb layer.

Voorbeeld 2: O-rand Savelsbos t.h.v. vuursteenmijnen, bufferstrook direct langs maisakker tussen risicopunt 173 en 176, met Z-expositie. Dichte, 15 m brede bufferstrook met es (ca. 10 cm dbh) en weinig esdoorn, scherp overgaand in oorspronkelijke bosrand (Figuur 5.3). Onder invloed van sheet-erosie vanuit risicopunten in de overgang van maisakker naar bufferstrook via een laag steilrandje. Kruidlaag 80-90% met grote brandnetel en veel geel nagelkruid, mannetjesvaren en berenklaauw, in mindere mate bosrank, harig wilgenroosje, klimop, koninginnekruid en zwarte braam. Verder de karakteristieke bos(rand)planten groot heksenkruid, boskortsteel, heggendoornzaad en ruig klokje (zaadbanksoort!) die hier wellicht profiteren van periodiek vers sediment (dynamiek) en de relatief lage lichtbeschikbaarheid waardoor ruigtsoorten niet volledig domineren.



Figuur 5.3: Savelsbos. Bufferstrook ingeplant met es tussen maisakker en oorspronkelijke bosrand, onder invloed van infrequente sheet-erosie. Dankzij de relatief lage lichtbeschikbaarheid (en periodiek vers sediment?) hebben enkele karakteristieke bosplanten zich kunnen vestigen, zoals groot heksenkruid en boskortsteel (foto's: Rienk-Jan Bijlsma, augustus 2016).

Figure 5.3: Savelsbos site. Bufferstrip planted with Fraxinus between maize field and original woodland edge, under influence of infrequent sheet-erosion. Thanks to the relatively low light availability (and periodically fresh sediment?) some typical woodland species occur such as Circaea lutetiana and Brachypodium sylvaticum.

Hellingafwaarts leidt oppervlakkige sedimentatie (als 'films') tot een lichte verrijking van de bovengrond zonder dat de vegetatie verstikt wordt. Daslook lijkt van deze situatie dermate sterk te profiteren dat uitbreiding optreedt vanuit de hellingvoet tot vrij hoog op de helling, een standplaats die normaal gesproken (zonder sheet-erosie) ongeschikt zou zijn (Figuur 5.4). Waarschijnlijk profiteert ook gele anemoon van sheet-erosie in het hellingbos.



Figuur 5.4: Savelsbos, bovenrand van een erosie-nis bij risicopunt 148. Door sheet-erosie over een breed front is het strooisel afgevoerd. Daslook profiteert hier sterk van in het voorjaar; na de zomer zijn heksenkruid en salomonszegel nog verspreid te vinden in de kruidlaag (foto's: Rienk-Jan Bijlsma, 30 augustus 2016).

Figure 5.4: Upper margin of an erosion niche near risk point 148 in the Savelsbos site. Litter has been drained away by extensive sheet erosion (even under beech). Allium ursinum benefits strongly from this situation during spring time; in late summer only Circaea and Polygonatum still occur as scattered individuals.

Onder boomsoorten met slecht verteerbaar strooisel zoals eik, beuk en tamme kastanje leidt sheet-erosie tot (periodieke) verwijdering van het verzurende strooisel en daarmee periodiek tot nieuw vestigingsmilieu voor bosplanten.

5.1.2 Lineaire, insnijdende erosievormen: rills en gullies

Werking

Bij hogere stroomsnelheid dan het geval is bij sheet-erosie en bij geringe weerstand van de bodem kan, afhankelijk van de geomorfologie van de helling, het afstromende regenwater en sediment zich concentreren in banen en zich insnijden in de bodem. Rills vertonen meestal een dendritisch (boomvormig) patroon waarbij de banen ('takken') zich hellingafwaarts meer en meer samenvoegen.

Principieel is er geen verschil tussen rills, gullies en kloofvormige dalen. Het is een kwestie van definitie van breedte en diepte van de insnijdingen (Herweg, 1996; FAO, 2006; Tabel 5.2) en van intensiteit en duur van het proces (zie Herkenning in het veld).

Tabel 5.2. Classificatie van rills en gullies (naar Herweg, 1996).

Table 5.2. Classification of rills and gullies (after Herweg, 1996).

Aanduiding	breedte	diepte
Ondiepe rills	< 25 cm	< 15 cm
Ondiepe brede rills	25 - 200 cm	< 15 cm
Diepe rills	< 50 cm	15 - 100cm
Diepe brede rills	50 - 200cm	15 - 100cm
Brede rills	> 200cm	< 100cm
Gullies	> 500 cm	100 - 300cm
Gullies, kloofvormig dal of grub		> 300cm

De in akkers ontstane rills worden elk jaar meestal weer dicht geploegd. Rills kunnen overgaan in gullies bij voortdurende aanvoer van regenwater, bij afvoer langs steilere hellingen, bij steilranden of bij door paden of wegen geconcentreerde afstroming. Na lange tijd of ernstige vormen van versnelde erosie kunnen kloofvormige dalen ontstaan.

Bouwstenen

Tabel 5.3 geeft de bouwstenen voor de beschrijving van rill-erosie. Deze tabel geldt ook voor gully-erosie waarbij alleen verschil is in intensiteit van het erosieproces.

Tabel 5.3: Bouwstenen voor de karakterisering van rill-erosie in een gebied.

Table 5.3: Components for the characterization of rill erosion in a site.

Bouwsteen	Relevantie
L: Landgebruik en vegetatie op de grens van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied (Figuur 2.3.3)	Met name L1 (Overgang akker/bos) is zeer relevant, in mindere mate ook L6 (Overgang akker/half-natuurlijk grasland) L2 (Bufferstrook struweel tussen akker en bos), L3 (Bufferstrook grasland tussen akker en bos), L4 (Overgang boomgaard/bos) en L8 (Bufferstrook gras tussen akker en half-natuurlijk grasland) vertonen minder heftige vormen van erosie en zijn daarom minder relevant. De overige bouwstenen (L5, L7, L9, L10) zullen vrijwel geen rill-erosie opleveren binnen het natuurgebied.
R: Geomorfologische aard en positie van de plateaurand (Figuur 2.3.4)	R1 (Steile plateaurand in overgang akker/bos), R2 (idem in bos) en R6 (Steilwanden langs grubbe) zijn zeer gevoelig voor rill-erosie.

Bouwsteen	Relevantie
	Bouwstenen met convexe plateauranden (R3 - R5) zijn sterk geassocieerd met sheet-erosie en in beperkte mate gevoelig voor till-erosie.
P1: Paden en wegen langs de steile plateaurand (Figuur 2.3.5)	Bij de bouwstenen P1-1, P1-2 en P1-4 kunnen paden het toch al grote risico op rill-erosie vanuit een steilrand (P1-3) verder verhogen. In het geval de steilrand in het bos ligt (P1-5 - P1-7) is er minder risico dat paden rill-erosie versterken. R5-R7 minder relevant (beperkter risico)
P2: Paden en wegen langs de convexe plateaurand (Figuur 2.3.9)	Over het geheel minder gevoelig dan P1 op steilranden. P2-1 blijft relevant vanwege de versterkende werking van paden in de overgang akker/bos.
W: Wallen en ruggetjes op de plateaurand (Figuur 2.3.11)	Zonder wal (W1) is de overgang akker/bos gevoelig voor rill-erosie. Bouwstenen W2 - W3 (met wal in overgang akker/bos of in bos) zijn minder relevant, behalve als sedimentatie blijft doorgaan de wal uiteindelijk overstroomt. W4 (Wal in grubbe) is niet relevant.
H: Hellingvormen, paden en obstructies binnen het Natura 2000-gebied (Figuur 2.3.13)	Rill-erosie kan algemeen voorkomen bij alle hellingvormen behalve behalve bij H3 (Terras met wal).

Herkenning in het veld

Zie Tabel 5.2 voor definities van breedte en diepte van verschillende vormen van rills en gullies. Gullies zijn te verdelen in tijdelijke gullies ('ephemeral') en klassieke gullies (Foster, 1986; Nachtergaele *et al.*, 2002). De tijdelijke gullies zijn breder dan diep en daardoor een tussenvorm tussen rills en klassieke gullies. Zij komen regelmatig op akkers voor en kunnen door hun ondiepte net als rills worden weggeploegd. Herkenning met name van rills in het agrarisch gebied is daarom lastig nadat de akkers zijn bewerkt.

Voorbeeldgebieden

- Nabij Berghofweide: rills in grasland op een steile helling (Figuur 2.3.2).
- Bemelerberg: sheet-erosie overgaand in rills in geplagd grasland (Figuur 5.5 links).
- Kloosterbos: lineair erosieproces vanuit wildwissels (Figuur 5.5 rechts).
- Kloosterbos: versterkend lineair erosieproces vanaf steilrand hellingafwaarts (incl. risico van doorbraak van dam halverwege de helling; Figuur 6.9).
- Bunderbos: veel rills en korte gullies aan steilwanden.

Betekenis voor de vegetatie

De betekenis van rills voor het erosieproces is groot maar de door rills ingenomen oppervlakte is doorgaans gering. In grasland ontstaan smalle banen met afwijkende soorten (Figuur 2.3.2). Onder bos leiden rills tot smalle banen waarin kruiden ontworteld raken en worden weggespoeld. Doodlopende rills, die niet overgaan in gullies leiden tot kleine, dunne colluviumwaaiers met geringe invloed op de vegetatie. Opvallend is dat rills wildpaden en dassenroutes kunnen volgen en uitdiepen (zie Figuur 5.5 rechts).

Gullies hebben een grotere, directe invloed doordat zij leiden tot destabilisering van struiken en bomen en tot opvulling van smalle dalbodems met colluvium waarop vanwege het frequente verstoringsregime zich weinig soorten kunnen vestigen. In het geval sprake is van met nutriënten verrijkt water en sediment wordt natuurlijk habitat vervangen door potentiële ruigte. Een bijzondere soort die (tijdelijk?) profiteert van vers afgezet sediment is slanke zegge (Figuur 5.6).



Figuur 5.5: Voorbeelden van rill-erosie. Links: Ondiepe rillvorming na plaggen van grasland op de Bemelerberg (Verlengde Winkelberg); hellingopwaarts is sprake van sheet erosie. Door het afspoelen van de lösslaag komen grind en stenen aan het oppervlak. Rechts: Rill-erosie vanuit een wildwissel in het Kloosterbos (foto's: Rein de Waal, 2016).

Figure 5.5: Examples of rill erosion. Left: Shallow rills after sod-cutting of grassland in the Bemelerberg site; sheet-erosion occurs upslope. Erosion of the loess topsoil results in pebbles at the soil surface. Right: Rill erosion starting from a fauna trail in the Kloosterbos site.



Figuur 5.6: Sediment afgezet in het dal voor de dam in Kloosterbos-Oost. Links: genomen in zuidelijke richting, augustus 2016. Rechts: zelfde locatie genomen in noordelijke richting, met pollen slanke zegge (Carex strigosa) op de voorgrond, november 2017 (foto's: Rienk-Jan Bijlsma).

Figure 5.6: Sediment deposited in the valley in front of the dam in Kloosterbos-Oost. Left: taken in southerly direction, August 2016. Right: same location, taken in northerly direction, with tussocks of Carex strigosa in the forefront, November 2017.

Gullies geven aanleiding tot ondermijning van steilranden waardoor aanliggende vegetaties kunnen worden aangevreten. Dit dreigt bijvoorbeeld te gebeuren langs het befaamde hellingbronveen in het Ravensbos en iets dergelijks treedt al op bij bronplekken in het Kloosterbos. In het laatste gebied is de huidige gully oorspronkelijk een door bronnen gevoed beekje dat echter door een bovenstrooms liggende gully verder wordt uitgediept.

Afkalving van de wand van gullies hoeft niet altijd negatief te zijn als het incidenteel optreedt; kalkrijke lagen en bronniveaus kunnen aldus worden aangesneden en kunnen in potentie interessante nieuwe standplaatsen opleveren. Bij regelmatige afkalving onder invloed van versnelde erosie zal echter de voor waardevolle vegetatie benodigde stabiele ontwikkelingsperiode nooit optreden.

5.1.3 Lineaire, insnijdende erosie: kloofvormige dalen of grubben

Werking

Kloofvormige dalen kenmerken zich sterker nog dan gullies door plaatselijk instabiele steilwanden. Dit ter onderscheid van min of meer fossiele droogdalen in de hellingen. Een groot deel van de kloofvormige dalen zijn in een ver verleden ontstaan en deels gecombineerd met holle wegen. Of het kloofvormige dal is uitgesleten na het ontstaan van de weg of dat de holle weg de route volgt van een eerder ontstaan kloofvormige dal is open voor discussie. De grubben zoals de Schone grub in het Savelsbos zijn zeker 'aan de kop' nog steeds onderhevig aan in- en terugschrijdende erosie. Meestal is de erosie aan de koppen van de kloofvormige dalen gekoppeld aan droge vormen van degradatie (massabewegingen, afkalving en instorting van steilwanden; Figuur 5.7). De diepe kloofvormige gully in het westelijk deel van het oostelijke Kloosterbos toont aan dat deze extreme erosievorm ook in recente tijd kan ontstaan.



Figuur 5.7: Biebos (Natura 2000-gebied Geuldal). Links: Kop van een grubbe. Rechts: Akker met rill-erosie en sedimentatie bij de kop van een grubbe met een afkalvende steilrand (terugschrijdende erosie) (foto's: Rein de Waal, 2016).

Figure 5.7: Biebos (Natura 2000 site Geuldal). Left; head of a 'grubbe'. Right: arable field with rill erosion and sedimentation near the head of a grubbe with sides caving in (receding erosion).

Bouwstenen

Tabel 5.4 geeft de bouwstenen voor de beschrijving van erosie van kloofvormige dalen.

Tabel 5.4: Bouwstenen voor de karakterisering van erosie van kloofvormige dalen in een gebied.

Table 5.4: Components for the characterization of erosion of gorge-like valleys in a site.

Bouwsteen	Relevantie
L: Landgebruik en vegetatie op de grens van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied (Figuur 2.3.3)	Zie Tabel 5.3 (Rill- en gully-erosie).
R: Geomorfologische aard en positie van de plateaurand (Figuur 2.3.4)	R6 (Steilwanden langs grubbe) is specifiek voor grubben.
P1: Paden en wegen langs de steile plateaurand (Figuur 2.3.5)	Weinig relevant.
P2: Paden en wegen langs de convexe plateaurand (Figuur 2.3.9)	Niet relevant.
W: Wallen en ruggeltes op de plateaurand (Figuur 2.3.11)	W4 (Wal in grubbe) is specifiek voor grubben (en doorbraakgevoelig).
H: Hellingvormen, paden en obstructies binnen het Natura 2000-gebied (Figuur 2.3.13)	H6 (Ingesneden dal), H9 (Instabiele erosie-nis en -dal), H10 (Grubbe), H16 (Dam in instabiele erosie-nis), H17 (Dam in grubbe) en H18 (Pad in grubbe) zijn zeer relevant.

Herkenning in het veld

Gullies, kloofvormige dalen of grubben zijn tenminste 3 m breed (Tabel 5.2). Kloofvormige dalen zijn veelal zeker 10 m breed en 4-5 m diep met een dalbodem (vaak met een pad) en veel afkalvende wandjes. Kloofvormige dalen zijn goed herkenbaar in het AHN-bestand (Actuele Hoogtekaart Nederland; www.ahn.nl). Verstilde vormen zijn aangegeven op de geomorfologische kaart.

Betekenis voor de vegetatie

De gevolgen voor de vegetatie in kloofvormige dalen zijn vergelijkbaar met die in gullies maar dan op veel grotere schaal. Een zekere dynamiek van toestromend colluvium op de dalbodem en het incidenteel afkalven van de wand zijn een onverbreekelijk onderdeel van deze standplaats. Kloofvormige dalen in het bos hebben een eigen microklimaat en karakteristieke vegetaties (o.a. met stijve naaldvaren en kegelmos). Aan de kop van het kloofvormige dal is de dynamiek echter vaak te groot wat leidt tot verruiging en instabiliteit en aanvoer van eutrofe, verspoelde bouwvoor en zwerfvuil. Dit kan zich voortzetten in het dal zelf.

5.2 Beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen op gebiedsniveau

De beoordeling van (effecten van) erosie- en sedimentatieprocessen op gebiedsniveau in het Heuvelland start op het landschappelijk schaalniveau met het raadplegen van de erosiegevoeligheidskaart in GIS (Figuur 4.1-4.2) en de hiervan afgeleide risicopuntenkaart (Figuur 4.6). Hiermee komen de voor erosie gevoeligste locaties in beeld. Op deze risicopunten kunnen lokale omstandigheden de erosiegevoeligheid ter plaatse wijzigen, bijvoorbeeld door walletjes of de padenstructuur. Deze omstandigheden zijn niet in voldoende detail uit kaarten, luchtfoto's of satellietbeelden af te leiden en zijn niet altijd actueel. Zo is voor de berekening van erosiegevoeligheid gebruik gemaakt van een landgebruikskaart voor de situatie in 2012 (LGN7; zie § 2.2.5 en Tabel 2.2.2). Tegenwoordig worden graslanden geregeld omgezet in akkers en andersom waardoor de erosiegevoeligheid sterk kan wijzigen⁶. Alleen een terreinbezoek, het liefst tijdens of na perioden met intensieve regenval, geeft inzicht in de uitwerking van de erosieprocessen onder actuele omstandigheden en geeft richting aan eventuele maatregelen.

Zoals in § 2.2.1 benadrukt, is de werkwijze voor beoordeling van erosie en sedimentatie vooral gericht op nadelige effecten van versnelde erosie dus erosie met een 'onnatuurlijk' hoge intensiteit, veelal het gevolg van grootschalige landbouw. De interpretatie en duiding van effecten van erosie en sedimentatie op de vegetatie zal daarom ook afhankelijk zijn van de natuurvisie en beheer- en beleidsdoelen in een bepaald gebied: wat wordt als 'onnatuurlijk' en ongewenst beschouwd (zie Hoofdstuk 6, Evaluatie van bufferstroken en maatregelen voor inrichting en beheer)?

De beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen op gebiedsniveau wordt in deze paragraaf gepresenteerd als een stappenplan (§ 5.2.3). Hierbij dienen zoals gezegd de erosiekaarten (zie Hoofdstuk 2) en de bouwstenen gepresenteerd in Hoofdstuk 2 (§ 2.3) als uitgangspunt voor de beoordeling in het veld. Aangezien bouwstenen elkaar kunnen beïnvloeden worden eerst de relevante combinaties van bouwstenen op de grens van landbouw en natuur (L, R, P en W) voorzien van overall scores voor erosiegevoeligheid (§ 5.2.1). Evenzo worden hellingvormen en sedimentatievormen binnen het Natura 2000-gebied (bouwstenen H en S) in samenhang beoordeeld ten aanzien van gevoeligheid en perspectief op de lange termijn (§ 5.2.2).

Het stappenplan is een kader voor een gestructureerde, stapsgewijze beoordeling die begint in de rand van het Natura 2000-gebied en het landbouwgebied en vervolgens nagaat of en zo ja hoe erosie en sedimentatie doorwerken in het gebied d.w.z. in de helling en de hellingvoet. De gebruikte (overall) scores voor de diverse bouwstenen dienen hierbij als richtlijn maar moeten kritisch worden gebruikt en zo nodig aangepast, zoals in het geval van interacties tussen bouwstenen.

5.2.1 Overall scores voor combinaties van bouwstenen op de grens van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied

In de uiteindelijke beoordeling van de gevoeligheid voor erosie en sedimentatie in natuurgebieden gaat het om combinaties van bouwstenen: Wat is het landgebruik op de grens van Natura 2000-gebied (actueel of potentieel habitatype) en landbouwgebied? Om welk type plateaurand gaat het? Waar en hoe lopen paden nabij de plateaurand? Hierbij worden de hiervoor beschreven typen bouwstenen (L, R, P en W) gebruikt om een inschatting te maken van de gevoeligheid voor erosie. Niet elke bouwsteen zal in dezelfde mate bijdragen aan de erosie- en sedimentatiegevoeligheid van de Natura-2000 gebieden. Met Tabel 5.5 kunnen de bouwstenen op de grens van agrarisch gebied en natuurterrein

⁶ De website <https://boerenbunder.nl/#/> geeft actuele informatie over het gewas.

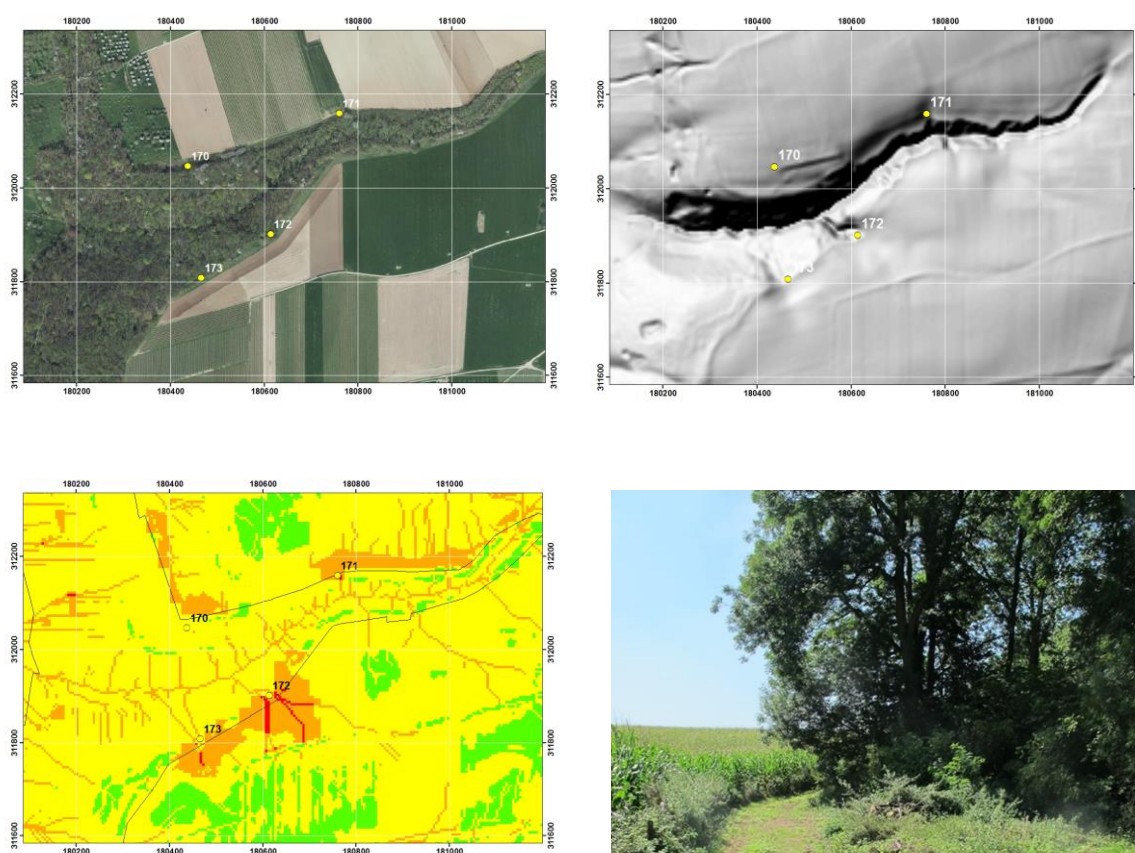
worden gecombineerd. De scores van de bouwsteen landgebruik zijn dubbel geteld vanwege de grote invloed van dit type. De som van de scores geeft een indicatie van de overall erosiegevoeligheid op de betreffende locatie.

Onderaan Tabel 5.5 worden enkele voorbeelden gegeven van het gebruik van deze tabel.

5.2.2 Overall scores voor combinaties van bouwstenen binnen Natura 2000-gebieden

Uitgaande van bouwstenen voor hellingvormen (H-bouwstenen; Figuur 2.3.13) en sedimentatievormen (S-bouwstenen; Figuur 2.3.14) wordt de gevoeligheid voor erosie en de mate van beïnvloeding door sedimentatie geïntegreerd in Tabel 5.6 waarbij ook wordt aangegeven welke erosievormen op korte en lange termijn relevant zijn en met welke kans doorvoer van sediment naar buiten het Natura 2000-gebied optreedt.

Onderaan Tabel 5.6 wordt een voorbeeld gegeven van het gebruik van deze tabel.



Figuur 5.8: Luchtfoto voorjaar 2015, AHN hillshade, erosiegevoeligheidskaart en foto van gemaaide bufferstrook met terugschrijdende erosie bij risicopunt 172 van de Schone Grub (Savelsbos)(foto: Rein de Waal, 2016)

Figure 5.8: Aerial photograph spring 2015, AHN hillshade, erosion susceptibility map and photo of mown bufferstrip showing receding erosion near risk point 172 of the Schone Grub (Savelsbos).

5.2.3 Stappenplan voor de beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen op gebiedsniveau

Stap 1. Raadpleeg de erosiegevoeligheidskaart

Selecteer op grond van de erosiegevoeligheidskaart en/of risicopuntenkaart een locatie waar (versnelde) erosie- en sedimentatie-effecten zou kunnen optreden in de rand van een Natura 2000-gebied.

De volgende stappen zijn bedoeld voor de nadere beoordeling van de geselecteerde locatie in het veld. Werk in het veld aan de hand van een kaartbeeld van de ruimere omgeving van het punt, bij voorkeur een luchtfoto en een kaartbeeld van het AHN (zie Figuur 5.8 bij wijze van voorbeeld).

Let wel: Deze nadere beoordeling is het makkelijkst na of gedurende een periode met langdurige regenval of tijdens of kort na een periode met hoosbuien!

Stap 2. Beoordeel het erosieproces in de overgang van landbouw en natuur

Breng bouwstenen op de grens van agrarisch gebied en Natura 2000-gebied in beeld (L-, R-, P1-, P2- en W-bouwstenen) en bepaal vervolgens met behulp van Tabel 5.5 de overall gevoeligheid in relatie tot de maximale en minimale score.

Stap 2.1. Lage overall score (indicatie: 2-6)

Geen verdere actie nodig; intensiteit van erosieproces is acceptabel (impliciet beoordeeld vanuit natuurbelang en geomorfologisch proces). Het stappenplan is hiermee doorlopen maar zie Tabel 6.1 voor afhandeling van de status van het risicopunt.

Stap 2.2. Hogere overall score.

Een hoge score is ongewenst vanwege:

- a. Risico op verdere versnelling van erosie en continuering van een zelfversterkend proces waarbij steeds zwaardere maatregelen nodig zijn voor herstel; in dit geval is in veld sprake van sheet-erosie of rill-vorming en zijn maatregelen nodig om verdere instroom van water en sediment te voorkomen; zie hiervoor Tabel 6.1 en ga door naar stap 3.
- b. Risico op terugschrijdende erosie en ontstaan van routes voor verrijkt/vervuild sediment door natuurgebied; in dit geval is al sprake van aanzienlijke insnijdende erosie (gullies) die moet worden gestopt; zie hiervoor Tabel 6.1 en ga door naar stap 3.

Stap 3. Bepaal type en intensiteit van erosie in de helling

Deze stap veronderstelt dat insnijdende erosie optreedt aan de bovenrand van de helling en beoordeelt de intensiteit en vorm van erosie in de helling zelf. Gebruik Tabel 5.6 voor het beschrijven van het erosie- en sedimentatieproces en beoordeel met deze tabel ook de verwachte consequenties op korte en lange termijn en de verwachte doorvoer van sediment. Confronteer deze uitkomsten met veldwaarnemingen (erosie- en sedimentatieverschijnselen). De volgende situaties doen zich voor:

Stap 3.1. Er is sprake van insnijdende erosie die niet doorzet tot de onderzijde van de helling.

Waar vindt de hiervoor verantwoordelijke sedimentatie plaats? Wat is de oorzaak (obstakel, dam, erosie-nis e.d.) van het stoppen van de rills? Is dit acceptabel op langere termijn? Zie Tabel 6.1 voor maatregelen; het stappenplan is hiermee doorlopen.

Stap 3.2. Er is sprake van continuering of versterking van insnijdende erosie met risico's voor het functioneren van bronnen of bovenloopjes (zoals habitatype H91E0C Beekbegeleidende bossen en H7220 Kalktufbronnen) door directe aantasting of door zijdelingse erosie (afkalving van zijwanden waardoor de vlakliggende bronbodem wordt aangevreten) en sedimentatie. Zie voor maatregelen Tabel 6.1 en ga naar stap 4.

Stap 3.3. Er is anderszins sprake van continuering of versterking van insnijdende erosie. Zie voor maatregelen Tabel 6.1 en ga naar stap 4.

Stap 4. Bepaal de intensiteit en vorm van erosie en sedimentatie aan de onderzijde van de helling/hellingvoet

Beoordeel erosie-intensiteit en mate van sedimentatie. De volgende situaties zijn relevant:

Stap 4.1. Insnijdende erosie wordt geremd of valt stil in de vorm van sedimentatiewaaiers aan de voet van de helling.

Er is kennelijk sprake van (aanzienlijke) sedimentatie in het natuurgebied. In het geval van voedselrijk sediment uit landbouwgebied is dit niet acceptabel. Hoe vaak komt dit voor? In het geval sprake is van materiaal uit het gebied zelf (bijv. via een pad resulterend in een waaier) is dit mogelijk wel acceptabel. Zie Tabel 6.1 voor maatregelen; het stappenplan is hiermee doorlopen.

Stap 4.2. Er is sprake van continuering of versterking van insnijdende erosie voorbij het natuurgebied.

Sediment verlaat het natuurgebied via de dalbodem. Interne beheermaatregelen zijn niet nodig (maar er is wel overlast buiten het gebied). Zie Tabel 6.1 voor maatregelen; het stappenplan is hiermee doorlopen.

Bouwsteen		Start met selectie L-bouwsteen									
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
Landgebruik (L)		8	6	6	4	2	8	6	6	2	4
<i>Figuur 2.3.3</i>											
Plateaurand (R)	R1	3	3	3			3	3	3		
	R2	2	2	2			2	2	2		
	R3	2	2	2			2	2	2		
	R4	1	1	1			1	1	1		
	R5	3	3	3			3	3	3		
	R6	3	3	3			3	3	3		
Randpaden (met steilrand; P1)	P1-1	3	3						3		
	P1-2	2	2						2		
	P1-3	0	0						0		
	P1-4	4	4						4		
	P1-5	2	2						2		
	P1-6	1	1						1		
	P1-7	0	0						0		
Randpaden (convexe helling; P2)	P2-1			2			2	2			
	P2-2			2			2	2			
	P2-3			0			0	0			
	P2-4			2			2	2			
	P2-5			1			1	1			
	P2-6			0			0	0			
Walletjes (W)	W1	0	0	0			0	0	0		
	W2	-3	-3	-3			-3	-3	-3		
	W3	-1	-1	-1			-1	-1	-1		
	W4	-2	-2	-2			-2	-2	-2		
	W5	-2	-2	-2			-2	-2	-2		
Max-score		15	13	11	4	2	13	11	12	2	4
Min-score		6	4	4	4	2	6	4	4	2	4

Tabel 5.5: Bepaling van de overall gevoeligheid voor erosie en sedimentatie vanuit agrarisch gebied in Natura 2000-gebied door toepassing van bouwstenen L, R, P en W. Hoe hoger de score des te gevoeliger de betreffende locatie is voor erosie/sedimentatie. Zie tekst na de tabel voor voorbeelden van toepassing van deze tabel.

Table 5.5: Assessment of the overall susceptibility to erosion and sedimentation from agricultural area into a Natura 2000-site by applying components for L, R, P and W. The higher the score, the more susceptible the location is for erosion/sedimentation.

Voorbeelden van toepassing van Tabel 5.5:

- Een akker direct grenzend aan het hellingbos (L1), van elkaar gescheiden door een steilrand (R1) met daarlangs een pad (P1-4) zonder walletje (W1) leidt tot een score van $8+3+4+0=15$.
- Een akker gescheiden door een grasstrook (L3) op een convexe helling (R3) zonder pad (P2-3) met walletje in het bos (W3) is duidelijk minder gevoelig voor erosie met een score van $6+2+0-1=7$.

Tabel 5.6: Beschrijving en rol bij erosie- en sedimentatieprocessen van de binnen Natura 2000-gebieden in het Heuvelland aangetroffen (gecombineerde) terreinvormen (bouwstenen H-categorie) met een grote invloed op erosie- en sedimentatieprocessen (zie Figuur 2.3.13 voor H-bouwstenen en Figuur 2.3.14 voor S-bouwstenen).

Legenda kolom 'Erosievorm': S = sheet-erosie, R = rill-erosie, G = gully-erosie en A = afkalving. Groen: typische situatie; Geel: minder typische situatie. Korte termijn: Direct zichtbare/merkbare erosievormen, bijv. na een regenperiode. Lange termijn: bij langdurig, systematisch optreden van de betreffende erosievormen van de korte termijn.

De kolom 'Transformatie op langere termijn naar H-bouwsteen' beschrijft de consequentie voor de hellingvorm (getypeerd als H-bouwsteen) als de erosievorm op korte termijn langdurig blijft voortduren.

In de kolom 'Doorvoer van sediment' is aangegeven hoe groot de kans is dat bij de betreffende combinatie van bouwstenen doorvoer plaatsvindt van water en sediment het natuurgebied uit. Bij hoge doorvoer door het hellingbos naar natuurterrein aan de hellingvoet of dalbodem is de invloed van de sedimentatie eveneens hoog.

Zie tekst na de tabel voor een voorbeeld van toepassing van deze tabel.

Table 5.6: Description and role in erosion and sedimentation processes of (combined) terrain features (H-category components) occurring in Natura 2000 sites in the Heuvelland region (see Figure 2.3.16 for H-components and Figure 2.3.17 for S-components).

H-bouwsteen	Erosievorm								Transformatie op lange termijn naar H-bouwsteen	S-bouwsteen	Doorvoer van sediment	Gevoeligheid voor erosie	Beïnvloeding door sedimentatie
	korte termijn				lange termijn								
	S	R	G	A	S	R	G	A					
1 stabiele helling	■				■				geen	1	geen	zeer gering	zeer gering
2 terras	■	■			■	■			geen	1	geen	zeer gering	gering
3 terras en wal	■				■	■			4,6	2	geen	zeer gering	gering/matig
4 stabiele erosie-nis en -dal	■				■	■			6	3	gering	gering	gering
5 afgedamd stabiel erosiedal	■				■	■			6, 10,17	3+7	geen*	gering*	matig
6 ingesneden dal	■	■	■		■	■	■	■	10	3+4,3+6	matig	matig	matig
6 ingesneden dal	■	■	■		■	■	■	■	10	3+7	laag	matig	hoog
7 instabiele erosie-nis	■	■		■	■		■	■	9	3	laag	matig	matig
8 afgedamde instabiele nis	■			■	■	■	■	■	6,10,17	3+7	geen*	gering*	hoog
9 instabiele erosie-nis en -dal	■	■	■	■	■	■	■	■	10	3+4,3+6	hoog	hoog	matig
9 instabiele erosie-nis en -dal	■	■	■	■	■	■	■	■	10	3+7	laag	hoog	hoog

H-bouwsteen	Erosievorm								Transformatie op lange termijn naar H-bouwsteen	S-bouwsteen	Doorvoer van sediment	Gevoeligheid voor erosie	Beïnvloeding door sedimentatie
	korte termijn				lange termijn								
	S	R	G	A	S	R	G	A					
10 grubbe									geen	4,5,6	hoog	hoog	matig
10 grubbe									geen	7	hoog	hoog	hoog
11 neerwaarts pad									10,18	4	gering	gering	gering
12 terras met neerwaarts pad									10,18	4,7	gering	gering/matig	gering/matig
13 pad in stabiel erosiedal									6,18	3,4 (6)	gering	gering	gering
14 pad in stabiele erosie-nis									9	3,4	gering	gering	matig
15 pad in instabiele erosie-nis									9,18	3+4,3+6	matig	matig	matig
15 pad in instabiele erosie-nis									9,10	3+7	geen	matig(hoog)	matig(hoog)
16 dam in instabiel erosie-nis									9,10	3+7	geen*	hoog**	hoog
17 dam in gubbe									10	3+7	geen*	matig**	matig/hoog
18 pad in grubbe									geen	5,6	hoog	hoog	matig
18 pad in grubbe									geen	5,7	hoog	hoog	hoog

* bij doorbraak zeer hoog

Voorbeeld van toepassing van Tabel 5.6:

- Een helling met een stabiele erosie-nis met een ingesneden erosiedal (met steilranden; H6) en een colluviumwaaier in een dalbodem die bij het natuurterrein hoort (S3 en S7) is matig gevoelig voor erosie en wordt (door geringe doorvoer) in hoge mate beïnvloed door sedimentatie in de dalbodem (of hellingvoet). De doorvoer van sediment op het hellinggedeelte is laag. Sediment wordt binnen het natuurterrein afgezet. Op lange termijn zijn geen veranderingen te verwachten in erosievorm: zowel sheet-, als rill- en gully-erosie treden op; afkalving zal zich niet snel voordoen op korte termijn. Het dal zal zich uiteindelijk ontwikkelen tot grubbe (H10) waarbij afkalving een rol speelt.

6 Evaluatie van bufferstroken en toepassing van maatregelen

6.1 Evaluatie van bufferstroken

Op grond van waarnemingen in 2016 (na perioden met hevige regenval) blijken erosiebuffers in de vorm van een struweel- en/of grasstrook effectief in het tegengaan van sheet-erosie rond Bemelerberg & Schiepersberg en in de oostrand van het Savelsbos. Bij voldoende breedte remmen de bufferstroken de snelheid van het instromende erosiemateriaal en bieden ze ruimte voor de opslag van het colluvium waardoor sediment niet of nauwelijks via rill-erosie in de plateaurand het Natura 2000-gebied bereikt. Daarbij zijn stroken met een dicht struweel wat effectiever dan een grasstrook.

De aangetroffen bufferzones voldoen aan de algemeen in de literatuur aangegeven breedte van 10-15 m (zie § 2.5). Ze zijn in het algemeen aangelegd op het vlakke deel van de plateaurand. Het eigenlijke hellingbos of -grasland begint op het steilere deel van de plateaurand waar bufferstroken minder effectief zijn.

De aan bodemerosie gerelateerd invloed op de Natura 2000-gebieden vindt niet plaats over de volle lengte van de overgang landbouw/natuur maar is gekoppeld aan een betrekkelijk klein aantal risicopunten. De bufferstroken buiten de zones met risicopunten hebben vooral een functie voor invang van ammoniak vanuit het agrarisch gebied waarbij struweel of bos effectiever is dan grasland (Kros *et al.*, 2015a).

Voor de beteugeling van erosie-invloeden functioneren de bufferzones (met struweel/bos) in het ideale geval als volgt:

- Via een of meer risicopunten (vastgesteld op grond van veldkennis en/of de gevoeligheidskaart in samenhang met de bouwstenen: zie stappenplan § 5.2.3) loopt water en sediment via kleine korte rills de bufferzone in.
- Het via deze rills instromende sediment verspreidt zich door middel van uitwaaiende sheet-erosie over de bosbodem en verliest daarbij energie en komt binnen de bufferzone tot rust.

Een mooi voorbeeld van een op deze wijze functionerende bufferstrook ligt op de Schiepersberg, bij risicopunt 37 (noordkant). De strook bestaat uit een vrij dichte boomlaag met esdoorn, linde, iep en haagbeuk en tweede boomlaag van es en meidoorn. Op deze locatie is sprake van een opvallende sedimentatie door uitvloeiing over een breed front vanuit enkele risicopunten op de grens van akker (uienveld) de bufferstrook in (zie Figuur 5.2). Overigens loopt aan de zuidkant van dit risicopunt toch nog sediment het hellingbos in.

Rill-vorming vanuit de akker kan dus goed door bufferstroken worden beteugeld. Aan de andere kant kunnen eenmaal gevormde rills in een bufferzone de effectiviteit weer sterk aantasten (Stehle *et al.*, 2016). Uit de veldcontrole bleken sediment en water inderdaad plaatselijk het Natura-2000 gebied in te stromen. Dit gebeurde in de volgende gevallen:

1. De aanvoer van het uitwaaiende water en sediment bereikt de andere zijde van de bufferstrook: de strook van 10-15 m is hier te smal of onvoldoende onderhouden om de aanvoer van erosiemateriaal te bufferen (Schiepersberg in de buurt van risicopunt 37-zuid, Bunderbos punt 22 en Riesenbergr punt 147).
2. De rills lopen vanuit de risicopunten door tot in het oorspronkelijke bos (o.a. Bemelerberg risicopunt 24);

3. Eventueel aanwezige grubben verplaatsen zich door terugschrijdende erosie door de bufferzone naar de akker (Savelsbos risicopunt 172, Figuur 5.8).

In het eerste geval zijn de gevolgen niet ernstig zolang zich geen duidelijke rills ontwikkelen. Niet ver van Riesenberg risicopunt 5 (oostzijde; Figuur 2.3.13) bevindt zich een laag walletje dat verdere instroming vanuit de bufferzone in het bos voorkomt.

In het tweede geval vormen eenmaal ontsane rills binnen de bufferzone een preferente baan voor nieuw aangevoerd erosiemateriaal waardoor buffering slechts gedeeltelijk slaagt en de colluviumwaaier zich binnen het hellingbos vormt. In het ergste geval zet de rill zich voort en groeit op lange termijn uit tot een gully. In een dergelijk geval zijn maatregelen in de bufferzone nodig.

In het derde geval vreet de kop van de grubbe zich steeds meer in, in de bufferzone (terugschrijdende erosie) en verliest de bufferzone zijn functie. Juist boven dit risicopunt in de oostrand van het Savelsbos ligt een brede bufferstrook die bestaat uit een jonge bosstrook en een 6 m brede grasstrook grenzend aan een even brede strook ruigte en struweel aan de boszijde (Figuur 5.8 en 6.1). De bosstrook heeft een open boomlaag met es (tot 4 m hoog) en verspreide iep, haagbeuk en zomereik en spontane boswilg en een struiklaag van meidoorn en hazelaar. De kruidlaag is vrijwel bodembedekkend met akkerdistel, grote brandnetel, koninginnekruid, late guldenroede, klimop en wasbraam (hazelaarbraam). Hoewel er in de grasstrook wat rill-erosie langs een wildwissel plaatsvindt, ligt deze dubbele bufferstrook juist op een plek zonder veel risico terwijl bij het risicopunt zelf amper een 1,5 m brede grasstrook resteert als buffer (Figuur 6.1).



Figuur 6.1: Risicopunt 172 van de Schone Grub (Savelsbos). De 10-15 m brede bufferstrook is ter hoogte van het risicopunt verdwenen door terugschrijdende erosie van de grubbe (zie ook Figuur 5.8; luchtfoto voorjaar 2015).

Figure 6.1: Risk point 172 of the Schone Grub (Savelsbos). The 10-15 m wide buffer strip has disappeared close to the risk point due to receding erosion of the grubbe (see Figure 5.8 as well; aerial photograph spring 2015).

Rills binnen een Natura-2000-gebied met bufferzones zijn niet altijd een aanwijzing voor het niet of slecht functioneren van deze zones. In de half-natuurlijke graslanden bij de Bemelerberg (risicopunt 25) zijn rills ontstaan die hun oorsprong vinden beneden de daar aanwezige bufferzone (Figuur 5.5 links). Getuige het ontbreken van rills in de brede bufferzone (bosstrook) op de plateaurand moet zelfs worden geconcludeerd dat deze strook goed functioneert. De rills en de sheet-erosie zijn hier het gevolg van plagwerkzaamheden in combinatie met een tijdelijk geringe bedekking van de vegetatie. Het colluvium afkomstig uit deze interne erosieprocessen is kalkrijk en veel minder eutroof dan het sediment afkomstig van de omliggende akkers.

Conclusies:

- Vergelijking van plateauranden met bufferstroken (Savelsbos, Bemelerberg & Schiepersberg) en zonder bufferstroken (o.a. Kloosterbos, Bunderbos en Ravensbos) laat zien dat deze stroken (van 10-15 m breed) in het algemeen effectief zijn in het voorkomen en afzwakken van erosie-invloeden vanuit risicopunten. Dit geldt zowel voor bos/struweel-stroken als permanente grasstroken.
- Om en nabij de risicopunten moeten bufferstroken goed functioneren. Dat is niet altijd het geval. Bij sommige risicopunten is de aanvoer van erosiemateriaal zo hoog dat er materiaal via de bufferstrook in het hellingbos terecht komt. Dat risico is vooral aanwezig waar rills in de bufferstrook ontstaan. Periodieke inspectie van bufferstroken bij risicopunten en eventueel onderhoud is noodzakelijk.
- Bij risicopunten waar de kop van de grubbe zich door terugschrijdende erosie een weg vreet door de bufferstrook is deze strook evenmin effectief. Soms is juist in deze situatie de bufferstrook veel smaller (geworden) dan in delen van de plateaurand waar sprake is van geen of een gering risico.
- Een aanzienlijke lengte van bufferstroken is niet gekoppeld aan risicopunten en voor het bufferen van invloeden van bodemerosie daarom niet functioneel. Voor de invang van (stik)stof zijn deze stroken met struweel of bos wel van belang.

6.2 Maatregelen voor inrichting en beheer

6.2.1 Brongerichte maatregelen zijn het effectiefst

De instroom van met nutriënten verrijkt water en sediment in een natuurgebied vanuit het agrarisch gebied moet worden voorkomen met maatregelen die zoveel mogelijk betrekking hebben op de bron(nen) in het agrarisch gebied zelf. In alle erosiestudies komt naar voren dat effectieve bestrijding van de gevolgen beginnen bij de bron (o.a. Ngapo *et al.*, 2013; Richert & Achtziger, 2012). Het opvangen van sediment en het afremmen van de erosiestroom moeten in een zo vroeg mogelijk stadium dus zo hoog mogelijk op de helling plaatsvinden.

In de literatuur worden tal van maatregelen aanbevolen om erosie tegen te gaan in landbouwgebied (o.a. Scheffer & Schachtschabel, 2010; Richert & Achtziger, 2012):

- I. Aanpassing van bodembewerking:
 - a. Beperking of duurzame bodembewerking;
 - b. Contourploegen.
 - c. Gebruik mulch op risicoplekken;
 - d. Contour strip cropping.
- II. Verandering van landgebruik:
 - e. Bebossing of omvorming naaldbos naar loofbos;
 - f. Omzetten akkers of intensief grasland in extensief grasland;
 - g. Omzetten akker in boomgaard
 - h. Vruchtwisseling met lange of goede bodembedekking.
- III. Inrichting van akkers en grasland:
 - i. Contourvolgende wegen met greppels aan de hoge kant;
 - j. Permanent beplanten ontstane rills, gullies;

- k. Terrassering (graften);
- l. Verwijderen stagnerende lagen (diepploegen, toevoegen humus aan het profiel);
- m. Aanleg contour volgende greppeltjes of afvoergoten;
- n. Aanleg gras of struweel stroken in akker;
- o. Aanleg heggen.

Brongericht beleid sluit aan bij vigerend mestbeleid en reeds verplichte erosie maatregelen (verordeningen). Zie hiervoor de zgn. erosieregels voor het Heuvelland⁷. Dergelijke maatregelen moeten de ook aanleg van extra retentiebekkens (ca. 350 in 2010) minder noodzakelijk maken (Winteraeken & Spaan, 2010; Spaan *et al.*, 2010). De bekkens dienen vooral voor het voorkomen van overstromingen in urbane gebieden in het Heuvelland maar zouden ook (of beter) kunnen worden benut voor het afvangen van sediment dat anders negatieve effecten zou hebben op Natura 2000-gebieden.

6.2.2 Inleiding op maatregelen langs en in Natura 2000-gebieden

Bij de bestrijding van erosie in het agrarische gebied of als gevolg van grootschalige bosbouw zijn bossen en graslanden veelal een middel voor het oplossen van erosieproblemen. De bescherming van Natura 2000-gebieden tegen effecten van versnelde erosie vraagt daarom om een aanvullende benadering.

In de Zuid-Limburgse situatie bevindt de overgang van agrarisch gebied naar natuurgebied zich op de plateau rand. Dit is de reden dat de aanleg van bufferstroken op de plateau rand zo'n belangrijke plaats inneemt in de aanpak van de erosieproblematiek in en rond Natura 2000-gebieden. De instrumenten die de beheerders van deze gebieden ter beschikking staan, zijn, afgezien van de inrichting van bufferstroken, minder in aantal en in veel gevallen ook minder effectief dan hierboven geschetst (§ 6.2.1).

De hellingbossen en kalkgraslanden op hellingen in Natura 2000-gebieden in het Heuvelland vormen door hun landschappelijke ligging een transitiezone voor erosiemateriaal vanaf de plateaus naar de dalen. De terreinbeheerder heeft weinig mogelijkheden om brongerichte maatregelen uit te voeren en is daarom vooral aangewezen op het tegenhouden van erosiemateriaal door middel van bufferstroken of andere maatregelen tussen agrarisch gebied en natuurgebied.

De effectiviteit van de bestrijding van erosie kan sterk worden verhoogd door risicopunten expliciet in beeld te brengen en vervolgens de inrichting en het onderhoud van bufferstroken op de werking van de daar verlopende erosieprocessen af te stemmen en zo nodig aan te passen. Daar waar bufferstroken nabij risicopunten onvoldoende functioneren of afwezig zijn, moeten aanvullend op het herstel of de aanleg van bufferstroken mogelijk ook maatregelen binnen de Natura-2000 gebieden getroffen worden, zoals het afvoeren van voedselrijk sediment. Dit alles vereist een nieuwe manier van kijken naar een Natura 2000-gebied waarbij de in § 5.2.3 beschreven stapsgewijze beoordeling als leidraad dient.

Voorafgaand aan het overwegen van maatregelen zijn de volgende vragen relevant:

- Kunnen de nadelige gevolgen van erosie binnen het Natura-2000 gebied zelf worden opgevangen (zoals nu in het Kloosterbos, Ravensbos, Bemelerberg) of kan water en sediment (ook) worden omgeleid of dalwaarts doorgevoerd zonder dat dit de natuurwaarde aantast?
- Zijn de erosieprocessen in alle gevallen een bedreiging voor ecosystemen of soorten van het natuurgebied of bedreigen deze processen een wezenlijk onderdeel van het systeem (bijv. de Schone grub)?

⁷ Zie <https://www.lltb.nl/nieuwsberichten/website/2016/10/hier-vindt-u-de-erosieregels> en de Uitvoeringsregeling rechtstreekse betalingen GLB, artikel 3.1 lid b en Bijlage 4 paragraaf 4 bij dit artikel (<http://wetten.overheid.nl/BWBR0035925/2016-07-01#Bijlage4>). Zie ook § 3.2.

- Zijn aan te leggen of te verbeteren bufferstroken in te passen in landbouwkundig gebruik ter plaatse (zoals onbemeste/onbespoten boomgaard of grasland)?

Het antwoord op deze vragen is beleidsrelevant bij de uitwerking van planvorming en zal mede worden bepaald door de ligging van natuurwaarden en de natuurvisie van de beheerder(s) van het Natura 2000-gebied.

6.2.3 Overzicht van maatregelen gekoppeld aan het stappenplan

Het stappenplan (in § 5.2.3) voor de beoordeling van erosie- en sedimentatieprocessen nabij een risicopunt geeft aanleiding tot het overwegen van een of meer maatregelen. Tabel 6.1 vertaalt de uitkomsten van het stappenplan naar maatregelen. Hierbij wordt verwezen naar de bespreking van de belangrijkste maatregelen in de volgende paragrafen 6.2.4 - 6.2.8.

6.2.4 Aanleggen van bufferstroken

Runoff en corresponderende bodemerosie is geconcentreerd rond risicopunten die in het veld vaak eenvoudig zijn te herkennen (voorbeeld: Figuur 6.2), wat betekent dat een aanzienlijk deel van de plateaurand geen grote invloed heeft op erosieproblemen.

Bufferstroken in de vorm van (een combinatie van) grasland, bos of struweel van ca. 15 m breed zijn effectief bij het opvangen van sediment op risicopunten afkomstig van sheet-erosie uit het agrarisch gebied (§ 6.1). Ook atmosferische ammoniak en stof uit akkers worden door de bufferstroken ingevangen.

In Zuid-Limburg zijn bufferstroken op het vlakke deel van de plateaurand (bij risicopunten) de meest voor de hand liggende maatregel. Op hellingen met akkers zijn naar verwachting bredere bufferstroken nodig om eenzelfde effectiviteit te behalen (zie § 2.5.3). Op hellingen $\geq 18\%$ mag geen akkerbouw plaatsvinden en zal dus tenminste grasland aanwezig zijn in de overgang naar natuurgebied.

Er moet worden voorkomen dat verschillende erosiestromen van naast elkaar gelegen risicopunten zich hellingafwaarts kunnen verenigen tot een sterke(re) eroderende stroom. Rond de risicopunten zou de bufferzone daarom aan de volgende voorwaarden moeten voldoen (Figuur 6.3):

1. Aanleg van bredere (15-30 m) met houtige gewassen beplante zones, die grotendeels het relatief vlakke deel van de plateaurand nabij het risicopunt moeten beslaan. De bufferzone heeft een afremmende werking en functioneert als opvang voor instromend sediment. Struweel en bos zijn daarbij effectiever dan grasland;
2. Bij de ernstigste risicopunten zou een lage wal in de bufferstrook aangelegd kunnen worden. In dit geval moet wel periodiek het accumulerend sediment worden afgevoerd.

Bufferstroken met struweel stabiliseren niet alleen erosiegevoelige plateauranden maar vormen ook een habitat voor ondergroei en fauna. Een bufferstrook is het meest effectief en ecologisch interessant met een betrekkelijk dichte boomlaag en/of een open struiklaag (bijv. met hazelaar en meidoorn) die bij een ouder en opener wordend kronendak voorkomt dat er een uniform, relatief hoge lichtbeschikbaarheid ($> 10\%$) ontstaat op de bosbodem waarvan vooral bramen en ruigtsoorten profiteren (Bijlsma, 2004). In dit geval kan de bufferstrook ook gaan functioneren als leefgebied voor karakteristieke bossoorten in combinatie met relatief veel ruigtsoorten (zie § 5.1.1, voorbeeld 2).

Tabel 6.1: Samenvatting van te overwegen maatregelen volgend uit de beoordeling van een risicopunt volgens het stappenplan

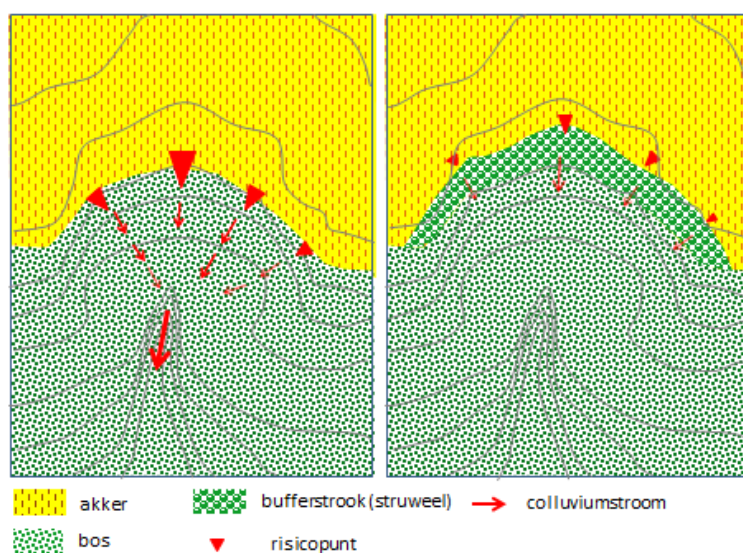
Table 6.1: Summary of measures to be considered, resulting from the step-wise evaluation of a point of high erosion risk at the site level

Stap	Beoordeling	Maatregel(en)
2.1	Intensiteit van erosieproces is acceptabel	<ul style="list-style-type: none"> • Geen. Ga na welke factoren hebben geleid tot de aanwijzing van een risicopunt terwijl daar in het veld geen sprake van blijkt te zijn. Zie Tabel 2.2.2 voor de gebruikte factoren en toegekende gevoeligheidsscores. Zijn een of meer factoren onjuist ingeschat (bijv. het landgebruik) of zijn er lokale omstandigheden die erosie voorkomen (zoals paden, wallen)? In het laatste geval is het raadzaam de locatie als risicopunt te handhaven omdat de betreffende omstandigheden monitoring en op enig moment ook onderhoud behoeven.
2.2a	Groot risico op continuering en/of versterking van sheet- en/of rill-erosie in plateaurand	<ul style="list-style-type: none"> • Aanleg of verbetering (verbreding, inplant houtige soorten) van bufferstroken. Zie § 6.2.4. • Aanpassing of onderhoud van paden of de padenstructuur in de plateaurand. Zie § 6.2.6. • Onderhoud van wallen in de plateaurand.
2.2b	Groot risico op continuering van terugschrijdende erosie in plateaurand	<ul style="list-style-type: none"> • Aanleg of verbetering van bufferstroken rond de kop van grubben (of andere vormen van diep insnijdende erosie). Zie § 6.2.5.
3.1	Insnijdende erosie in helling zet niet door naar hellingvoet	<ul style="list-style-type: none"> • Zie maatregelen 2.2a om continuering van insnijdende erosie vanuit de plateaurand te voorkomen. • Afvoeren van voedselrijk sediment uit de helling (na stoppen van aanvoer).
3.2	Insnijdende erosie in helling is risico voor bronnen en/of bovenloopjes	<ul style="list-style-type: none"> • Zie maatregelen 2.2a om continuering van insnijdende erosie vanuit de plateaurand te voorkomen. • Aanpassing of onderhoud van paden of de padenstructuur in de helling. Zie § 6.2.6. • Onderhoud van wallen in de plateaurand of in de helling. • Overweeg maatregelen voor het doorvoeren (omleiden) van water en sediment. Zie § 6.2.8.
4.1	Insnijdende erosie valt stil in de hellingvoet van natuurgebied (met waaiers van sediment)	<ul style="list-style-type: none"> • Zie maatregelen 2.2a om continuering van insnijdende erosie vanuit de plateaurand te voorkomen. • Afvoeren van voedselrijk sediment uit de hellingvoet (na stoppen van aanvoer) • Overweeg de opvang van sediment buiten of desnoods in het gebied. Zie § 6.2.7. • Overweeg maatregelen voor het doorvoeren (omleiden) van water en sediment. Zie § 6.2.8.
4.2	Insnijdende erosie zet zich via hellingvoet voort buiten natuurgebied	<ul style="list-style-type: none"> • Zie maatregelen 2.2a om continuering van insnijdende erosie vanuit de plateaurand te voorkomen.



Figuur 6.2: Bufferzone van het Savelsbos (gecombineerde bos- en grasstrook). Uit het verloop van het reliëf is duidelijk een risicopunt te herkennen (foto: Rein de Waal, 2016).

Figure 6.2: Buffer zone of the Savelsbos site (combined forest and grass strip). Following the relief a point of high erosion risk becomes apparent.

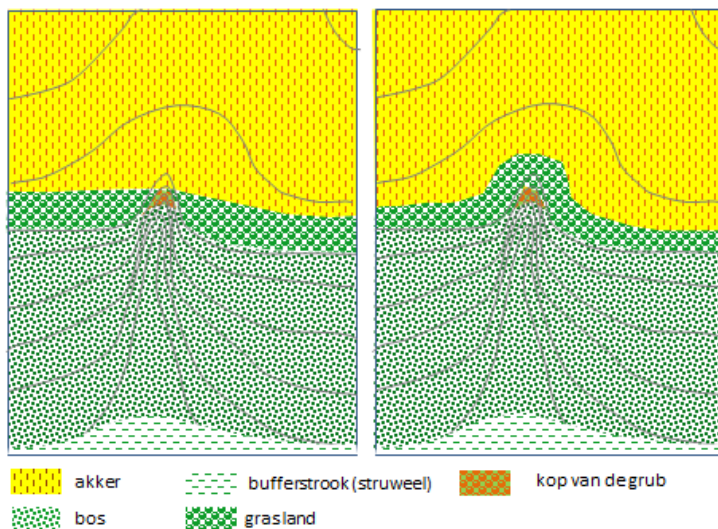


Figuur 6.3: Een bufferstrook (rechts) kan voorkomen dat erosiestromen uit naast elkaar gelegen risicopunten zich verenigen tot een sterk erosiestroom (links).

Figure 6.3: A buffer strip (right) can prevent that erosion streams from adjacent points of high(er) erosion risk merge to form a much stronger erosion stream (left).

6.2.5 Aanleggen van bufferzones rond de kop van grubben

Bufferzones rond de kop van grubben verdienen speciale aandacht (Figuur 6.1). In de praktijk blijven koppen van de grubben grote risicopunten, ook daar waar bufferstroken zijn aangelegd. Terugschrijdende erosie kan worden beperkt door juist rond de kop een bufferzone te creëren. Hier zou de bufferstrook juist verbreed moeten worden ten koste van een beperkt deel van het agrarisch gebied (Figuur 6.4).



Figuur 6.4: Bufferzones bij de koppen van grubben. Veelal volgt de grens bufferstrook – akker de eigendomsgrens (links) waardoor bij de kop van de grub (het risicopunt) onbeschermd blijft. Rechts de ideale oplossing waarbij de bufferzone vooral rond de kop wordt ingericht.

Figure 6.4: Buffer zones near grubbe heads. Often the border between buffer strip and agricultural field follows the border between properties (left) leaving the head of the grubbe (point of high erosion risk) unprotected from erosion. The ideal solution shows a buffer strip especially around the head of the grubbe (right).

Een extra brede bufferstrook(15-30 m) rond deze koppen behoedt het natuurgebied voor heftige instroom van voedselrijk water en erosiemateriaal (Figuur 6.5). Rond de kop van grubben is het aanliggende bouwland constant onder invloed van denudatie en afkalving en daardoor weinig productief (Figuur 6.6). Dit geeft mogelijk een aanknopingspunt voor een gezamenlijke oplossing vanuit landbouw en natuur waarbij rekening moet worden gehouden met het wezen van grubben dat is ontstaan en in stand blijft dankzij de doorvoer van water.

Een goede extra maatregel is het aanleggen van walletjes in de bufferstrook die grotere sedimentstromen kunnen tegenhouden. Hierdoor ontstaat een sedimentatiezone in de bufferzone zoals afgebeeld in Figuur 6.7.



Figuur 6.5: Bufferstruweel rond kop van de Schone grub in het Savelsbos (foto: Rienk-Jan Bijlsma, 2017).

Figure 6.5: Buffer scrub around the head of the Schone grub in the Savelsbos site.



Figuur 6.6: Sheet-erosie en verslemping bij de kop van een grubbe. De productiviteit van de akker laat hier duidelijk te wensen over (foto: Rein de Waal, 2016).

Figure 6.6: Sheet erosion and sealing near the head of a grubbe. The productivity of the field leaves a lot to be desired.



Figuur 6.7: Opvang van sediment in bufferzone bij de Riesenberg (Savelsbos)(foto: Rein de Waal, 2016).

Figuur 6.7: Catch basin of sediment in the buffer zone near the Riesenberg (Savelsbos site).

6.2.6 Aanpassen van paden en de padenstructuur

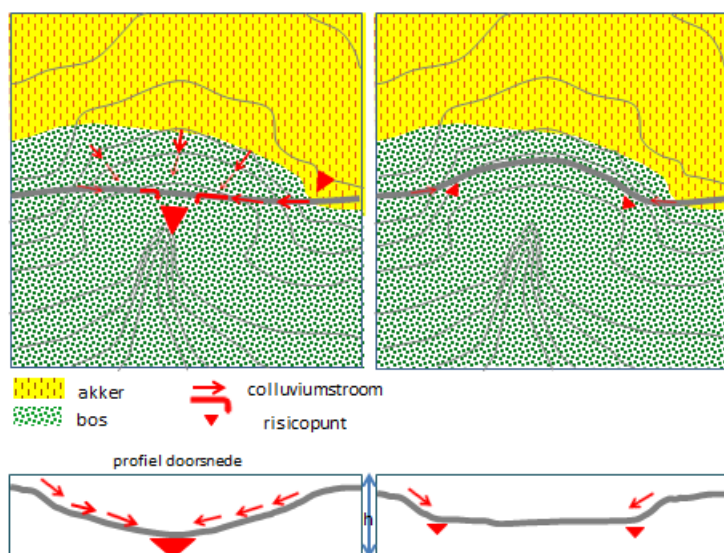
Paden met een doorvoerfunctie komen in aanmerking te worden opgeheven (met aanpassing van het padenpatroon) maar zouden juist ook (beter) gebruikt kunnen worden voor de doorvoer van water en sediment het gebied uit (zie § 6.2.7 en 6.2.8). Voor de aanpassing van het padennet kunnen maatregelen worden genomen om de snelheid van afstromend water te remmen, zoals door lage drempels met stenen of balken.

Wandelpaden of zelfs wildwissels die de bufferzone doorsnijden kunnen een bedreiging vormen voor het functioneren van de bufferzone als ze samenvallen met een risicopunt. Contourvolgende paden en wegen kunnen bufferstroken minder effectief maken. Zij verlopen niet exact volgens de hoogtelijnen waardoor delen van het pad naar het laagste deel van het traject hellen (Figuur 6.8). Het effect van contourvolgende paden binnen bufferstroken kan verminderd worden door het pad exact volgens de hoogtelijnen te verleggen of (praktischer) door het aanbrengen van drempels, walletjes of afvoergoten (greppels) langs het pad.

6.2.7 Opvangen van sediment buiten of desnoods in het gebied

Sediment afkomstig van hogere gelegen landbouwgronden heeft altijd een negatief effect als het binnen een Natura 2000-gebied zou worden wordt afgezet. In het geval de erosiestroom niet of moeilijk is te controleren met bufferstroken of andere maatregelen, is opvang van sediment buiten het natuurgebied de beste maatregel. Hiervoor zouden (extra) bekkens moeten worden aangelegd (zie ook § 6.1).

In het geval deze maatregel (nog) niet beschikbaar is, zou moeten worden nagegaan of de aanvoer van sediment van binnen het gebied (bijvoorbeeld vanuit grote kapvlaktes) kan worden verkleind of voorkomen. Bij erosieproblemen die op korte termijn niet kunnen worden opgelost met bufferzones en waarbij opvang van sediment buiten het gebied (nog) niet mogelijk is, zal moeten worden overwogen de met waterverzadigde sedimenten voorsnog op te vangen in het Natura-2000-gebied door het afdammen van erosiedalen of de aanleg van bekkens met inachtneming van aanwezige of potentiële natuurwaarden.



Figuur 6.8: Erosie langs een grofweg contour volgend pad (links) en een volgens hoogtelijnen verlopend pad (rechts).

Figure 6.8: Erosion along a more or less contour following track (left) and along a perfectly contour following one (right).

Het afdammen van erosiedalen (gullies) is een methode die is toegepast in het Kloosterbos-oost (Figuur 6.9).



Figuur 6.9: Kloosterbos. Links: Opvang van sediment in een dalvormige laagte. Rechts: Ondermijning van een dam door te hoog aanbod van water en sediment (foto's: Rein de Waal, 2016).

Figure 6.9: Kloosterbos. Left: Catch basin of sediment in a valley. Right: Dam undermined by an oversupply of water and sediment.

Het afdammen van gullies om te voorkomen dat insnijding en sedimentatie zich niet verder hellingafwaarts verplaatsen, biedt maar tijdelijk soelaas (Quiñonero-Rubio *et al.*, 2016). De opvulling vormt bij het uitblijven van maatregelen voor periodieke afvoer van het geaccumuleerde sediment eerder een nieuw probleem dan een oplossing. Met de opvang van

gestaag accumulerend sediment zal de natuurwaarde namelijk over een vrij groot oppervlak binnen het gebied dalen. Op de langere termijn raken de bekkens vol en zorgen daarmee voor nieuwe problemen. In het geval van het Kloosterbos ligt naast het natuurgebied een opvangbekken van het waterschap dat echter niet benut wordt voor verwerking van de grote hoeveelheden sediment die nu in het Kloosterbos terecht komt.

In het Ravensbos zijn ook verschillende obstakels aanwezig die van invloed zijn op de doorstroom van water, zoals walletjes van de vroegere visvijvers (langs de Strabeekse Vloedgraaf) of groeves waardoor sediment en water wordt verhinderd af te stromen. Bij een recente doorbraak van zo'n hindernis is een deel van het pad afgekald en is door de plotselinge aanvoer de dynamiek in het al aanwezige dalletje sterk toegenomen. Het dalletje heeft via een grub verbinding met het achterliggende agrarische gebied (Figuur 6.10 links). Iets stroomafwaarts van dit dalletje bevindt zich een waardevol hellingveen dat op het dalletje afwatert. De toename van de dynamiek van het stroomopwaartse deel van het dalletje kan tot afkalving van het hellingveen leiden. Begeleiding van de afstroom waardoor de dynamiek van het dalletje afneemt, is wellicht een oplossing voor deze bedreiging (zie § 6.2.8). Nadeel hiervan is dat dit kunstmatige ingrepen vereist in het Natura 2000-gebied. Hier dringt zich het dilemma op van ingrijpen in een versneld erosieproces in een gebied waarin ook natuurlijke processen door erosie worden gestimuleerd. Maatregelen in het agrarisch gebied bij de kop van de grubbe zijn uit natuuroogpunt de enige duurzame oplossing (zie § 6.2.5).



Figuur 6.10: Ravensbos. Links: Afkalving van het pad en versnelde erosie en sedimentatie stroomopwaarts van het kwetsbare hellingveen in het Ravensbos. De verhevigde dynamiek heeft te maken met een doorbraak van een walletje aan het eind van een grubbe (links boven net niet te zien). Rechts: Blokkade van afstroom van water en sediment door een verhoogd wandelpad met duiker.

Figure 6.10: Ravensbos. Left: Caving in of a path and accelerated erosion and sedimentation upstream of the vulnerable sloping fen in the Ravensbos site. The intensified dynamics is a result of the collapse of a bank near the head of the grubbe (upper part just visible). Right: Obstructed runoff of water and sediment by a raised walking path with culvert.

Een ander voorbeeld uit het Ravensbos is een voor het gerief van de wandelaar verhoogd pad met duiker dwars op een dalvorm. De duiker is verstopt geraakt en heeft een te geringe capaciteit voor de aanvoer van sediment. Hierdoor is, waarschijnlijk ongewild, een opvangbekken voor sediment ontstaan (Figuur 6.10 rechts). Door het pad weer het profiel van het dal te laten volgen, wordt mogelijk periodiek de doorgang voor de wandelaar bemoeilijkt, maar de meer geleidelijke afstroom van water en sediment blijft dan wel gegarandeerd.

De les uit deze voorbeelden is dat de opvang van sediment in Natura 2000-gebieden mogelijk is maar voortdurende aandacht en aanzienlijk onderhoud vraagt om te voorkomen dat ernstiger problemen ontstaan dan oorspronkelijk aanwezig.

6.2.8 Doorvoeren van sediment door of langs het gebied

Het begeleiden van water en sedimentatiestromen via holle wegen, paden of grubben (evt. in combinatie met afvoergoten) het Natura 2000-gebied uit sluit aan bij de normale, min of meer natuurlijke functie van grubben. Als echter een min of meer fossiel erosiedal aanwezig is, kan insnijdende erosie weer worden geactiveerd waardoor een gully-vormige insnijding zal ontstaan en op den duur een steil ingesneden grub. Bovendien zal uiteindelijk het sediment in de grote dalsystemen met hun watergangen accumuleren. Dit kan gebeuren in de dalbodem binnen het natuurgebied (bijv. bij de Bemelerberg/Verlengde Winkelberg; Figuur 6.11) of in agrarisch of urbaan gebied. Aanleg van een opvangbekken in het dal buiten het Natura 2000-gebied zou de gevolgen van het doorvoeren van sediment kunnen verminderen (Figuur 6.12; zie ook § 6.2.7, Kloosterbos).



Figuur 6.11: Opvang van sediment in een droog dal binnen een natuurgebied. Het sediment is afkomstig van plagwerkzaamheden op de Bemelerberg (foto: Rein de Waal, 2016).

Figure 6.11: Catch basin of sediment in a dry valley within a nature area. The sediment originates from sod cutting activities in the Bemelerberg site.



Figuur 6.12: Doorvoer van sediment. Links: Hellingafwaarts langs pad in een colluviaal dal (Savelsbos, Cadier en Keer). Rechts: Langs de weg nabij het Kloosterbos bij Geulhem (foto's: Rein de Waal, 2016).

Figure 6.12: Sediment discharge. Left: Downslope along a path in a colluvial valley (Savelsbos, Cadier en Keer). Right: Along the road near the Kloosterbos site at Geulhem.

6.3 Antwoorden op de kennisvragen

Het onderzoek heeft aanzienlijk meer inzicht opgeleverd in de werking en effecten van runoff en hiermee samenhangende bodemerrosie en -sedimentatie. Deze paragraaf vat de inzichten samen voor de in § 1.3 gestelde kennisvragen.

Wat is de instroom van nutriënten vanuit bovenliggende landbouwgronden nu eigenlijk en in welke mate zijn vegetatie en bodem daardoor veranderd in de genoemde habitattypen in Zuid-Limburg?

De instroom van nutriënten in Natura 2000-gebieden vindt plaats in perioden met langdurige regenval of na zware hoosbuien ('runoff events') en verloopt niet over de volle lengte van de randzones met bovenliggende landbouwgebieden maar beperkt zich tot betrekkelijk smalle zones ('risicopunten') waar toestromend water zich concentreert primair als gevolg van het reliëf. Deze punten zijn in kaart gebracht door GIS-bestanden (AHN, bodem, landgebruik) te combineren. De gevoeligheid voor erosie is voor deze punten beoordeeld in vijf klassen (van zeer laag tot zeer hoog).

Via de risicopunten kan water en geërodeerd bodemmateriaal op vier manieren het gebied inlopen: als sheet (oppervlakkig over een breed front), via rills of gullies (smalle, ondiepe resp. brede en diepe geulen) of via grubben al dan niet met holle weg. Deze reeks correspondeert met een toenemende intensiteit van runoff/erosie. De verschillende typen zijn van nature in het Heuvelland aanwezig en hebben het landschap mede gevormd. Door ontginning van de lössplateaus tot akkergebieden zijn erosieprocessen versneld en zijn runoff en sediment onnatuurlijk voedselrijk geworden.

Het project heeft geen schattingen gemaakt van de instroom en sedimentatie van nutriënten en bodemmateriaal op habitattypen als gevolg van versnelde erosie. Dit vereist een kwantitatieve, modelmatige benadering inclusief reconstructie van historische neerslagpatronen en van historisch landgebruik (incl. begroeiingstypen binnen de Natura 2000-gebieden). De invloed uit het recente verleden (met hoge nutriëntenlast uit meststoffen) zou hierbij apart moeten worden beoordeeld ten opzichte van eerdere invloed.

Sheet-erosie is de minst ingrijpende vorm van erosie maar kan relatief grote oppervlakken in de plateaurand beslaan. De fysieke gevolgen zijn in het algemeen beperkt en de ecologische effecten niet altijd negatief zolang geen sprake is van met nutriënten verrijkt afstromend water. Sheeterosie kan echter lager op de helling overgaan in rill-erosie. De betekenis van rills voor het erosieproces is groot maar de door rills ingenomen oppervlakte is doorgaans gering. In grasland ontstaan smalle banen met afwijkende soorten. Onder bos leiden rills tot smalle banen waarin kruiden ontworteld raken en worden weggespoeld. Doodlopende rills, die niet overgaan in gullies leiden tot kleine sedimentwaaiers met geringe invloed op de vegetatie. Gullies hebben een grotere, directe invloed doordat zij leiden tot destabilisering van struiken en bomen en tot opvulling van smalle dalbodems met sediment waarop vanwege het frequente verstoringsregime zich weinig soorten kunnen vestigen. In het geval sprake is van met nutriënten verrijkt water en sediment wordt natuurlijk habitat vervangen door potentiële ruigte. De gevolgen voor de vegetatie in kloofvormige dalen (grubben) zijn vergelijkbaar met die in gullies maar dan op veel grotere schaal. Een zekere dynamiek van toestromend sediment op de dalbodem en het incidenteel afkalven van de wand zijn een onverbrekelijk onderdeel van deze standplaats. Kloofvormige dalen in het bos hebben een eigen microklimaat en karakteristieke vegetaties.

Hoe kunnen de locaties waar sprake is van negatieve effecten van runoff op de instandhoudingsdoelstellingen op een efficiënte wijze in beeld worden gebracht?

Locaties met een hoge gevoeligheid voor instroom van water en bodemmateriaal in de randen van Natura 2000-gebieden in het Heuvelland zijn beschikbaar als zgn. risicopuntenkaart. Deze is afgeleid van een erosiegevoeligheidskaart van Heuvelland. De gevoeligheid is bepaald aan de hand van GIS-bestanden (afwaterend oppervlak, hellingspercentage, bodemtype en landgebruik) en -analyses. Vervolgens kan voor een risicopunt aan de hand van een stappenplan in het veld nader worden bepaald hoe (welke erosietypen) en waar (plateaurand, helling of hellingvoet) sprake is van eventuele negatieve effecten. Hiertoe is een systeem ontwikkeld waarbij erosie- en sedimentatieprocessen kunnen worden beschreven en geëvalueerd met zgn. bouwstenen (typen van landgebruik in overgang van plateaurand naar agrarisch gebied, typen van vorm van de plateaurand, typen van invloed van paden en wallen e.d.). Deze stapsgewijze benadering (van landschap naar locatie in rand van Natura 2000-gebied) is gekoppeld aan maatregelen om eventuele negatieve effecten tegen te gaan.

Hoe functioneren bufferzones en welke vorm en/of inrichting is het meest effectief om tot beperking van de toestroom van deze nutriënten naar onderliggende habitats via lucht en water te komen? Welke oplossingsrichtingen bieden het meeste perspectief?

Vergelijking van plateauranden met en zonder bufferstroken laat zien dat stroken van 10-15 m breed in het algemeen effectief zijn in het voorkomen en afzwakken van erosie-invloeden vanuit risicopunten. Dit geldt zowel voor bos/struweel-stroken als grasstroken. Om en nabij de risicopunten moeten bufferstroken goed functioneren en daartoe goed worden gemonitord, onderhouden en eventueel verbreed. Bij sommige risicopunten is de aanvoer van erosiemateriaal zo groot dat er materiaal via de bufferstrook in het hellingbos terecht komt. Dat risico is vooral aanwezig waar rills in de bufferstrook ontstaan wat kan worden voorkomen door periodieke inspectie van de bufferstrook, gekoppeld aan onderhoud of herinrichting (bijv. door aanplant van struweel). Bij risicopunten waar de kop van de grubbe

zich door terugschrijdende erosie een weg vreet door de bufferstrook is deze strook evenmin effectief. Soms is juist in deze situatie de bufferstrook veel smaller (geworden) dan in delen van de plateaurand waar sprake is van geen of een gering risico. In dit geval is (her)aanleg van een extra brede bufferzone rond de kop van de grubbe nodig.

In Zuid-Limburg zijn bufferstroken op het vlakke deel van de plateaurand de meest voor de hand liggende maatregel. Runoff en corresponderende bodemerosie is geconcentreerd rond risicopunten die in het veld vaak eenvoudig zijn te herkennen. Een aanzienlijke lengte van bufferstroken is niet gekoppeld aan risicopunten en voor het bufferen van invloeden van bodemerosie daarom niet functioneel. Voor de invang van (stik)stof zijn deze stroken met struweel of bos wel van belang.

Naast het aanleggen van bufferstroken zijn vaak ook maatregelen nodig voor het aanpassen of verbeteren van wallen/dammen in plateaurand en helling en van de padenstructuur.

Er is niet altijd geld om de bufferzone aan te kopen en deze blijft dan dus in agrarisch beheer. Zijn er oplossingen denkbaar waarbij de bufferzones in agrarisch beheer blijven en welke (extensieve) bedrijfsvoeringen passen daarbij?

De ongewenste instroom van met nutriënten verrijkt water en sediment in een natuurgebied vanuit het agrarisch gebied moet worden voorkomen met maatregelen die zoveel mogelijk betrekking hebben op de bronnen in het agrarisch gebied zelf. Het opvangen van sediment en het afremmen van de erosiestroom moeten in een zo vroeg mogelijk stadium dus zo hoog mogelijk op de helling plaatsvinden.

Het permanent omzetten van akker naar grasland in het aangrenzende invanggebied van een risicolocatie is een effectieve maatregel. Ook boomgaarden met permanente ondergroei zijn effectief. Het omvormen van akkerstroken naar grazige bufferstroken bij risicopunten is een goede maatregel om negatieve effecten van runoff en erosie tegen te gaan mits deze stroken goed worden onderhouden en niet bemest.

7 Referenties

- Akkerbouw, P., 2013. Verordening PA erosiebestrijding Zuid-Limburg 2013.
<http://wetten.overheid.nl/BWBR0033743/2014-01-01>, Productschap Akkerbouw, Den Haag.
- Auerswald, K., P. Fiener & R. Dikau, 2009. Rates of sheet and rill erosion in Germany – A meta-analysis. *Geomorphology* 111: 182-193.
- Bakker, M.M., G. Govers, A. van Doorn, F. Quetier, D. Chouvardas & M. Rounsevell, 2008. The Response of Soil Erosion and Sediment Export to Land-Use Change in Four Areas of Europe: The Importance of Landscape Pattern. *Geomorphology*, 98, 213-226.
- Barling, R.D. & I.D. Moore. 1994. Role of buffer strips in management of waterway pollution: A review. *Environ. Manage.* 18:543–558.
- Bentrup, G., 2008. Conservation buffers: design guidelines for buffers, corridors, and greenways. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.
- Bijlsma, R.J., 2004. Verbraming: oorzaken en ecologische plaats. *De Levende Natuur* 105(4): 138-144.
- Bobbink, R., R.J. Bijlsma, E. Brouwer, K. Eichhorn, R. Haveman, P. Hommel, T. van Noordwijk, J. Schaminée, W. Verberk, R. de Waal & M. Wallis de Vries, 2008. Preadvies hellingbossen in Zuid-Limburg. Rapport DK nr. 2008/094-O. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede.
- Castelle, A.J., A.W. Johnson & C. Conolly. 1994. Wetland and stream buffer size requirements - A review. *J. Environ. Qual.* 23: 878-882.
- Christen, B. & T. Dalgaard. 2013. Buffers for biomass production in temperate European agriculture: A review and synthesis on function, ecosystem services and implementation." *Biomass and Bioenergy* 55: 53-67.
- De Bakker, H. & J. Schelling, 1966. Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus. Pudoc.Wageningen.
- De Haan, B.J., J. Kros, R. Bobbink, J.A. van Jaarsveld, W. de Vries & H. Noordijk, 2008. Ammoniak in Nederland. PBL-publicatienummer 500125003. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven.
- De Roo, A.P.J., Wesseling C.G., Ritsema C.J. 1996. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins: I: theory, input and output. *Hydrological Processes* 10: 1107–1117.
- De Vries, W., J. Kros, O. Oenema & J.J.M. de Klein, 2003. Uncertainties in the fate of nitrogen: II. a quantitative assessment of the uncertainties in major nitrogen fluxes in the Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66 (1), 71-102.
- De Vries, F., W.J.M. de Groot, T. Hoogland & J. Denneboom. 2003. De Bodemkaart van Nederland digitaal. Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodieken korte beschrijving van additionele informatie. Alterra-rapport 811, Wageningen.
- De Waal, R.W., 1982. Toelichting bij de bodemkartering 1: 50000 van het streekplangebied Zuid-Limburg. Universiteit van Amsterdam/Provincie Limburg, Amsterdam/Maastricht.
- Dorioz, J.M., D. Wang, J. Poulénard & D. Trévisan. 2006. The effect of grass buffer strips on phosphorus dynamics: A critical review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France. *Agric. Ecosyst. Environ.* 117:4–21.
- 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.
- FAO, 2006. Guidelines for soil description. Fourth edition. FAO, Rome.

- Foster, G.R., 1986. Understanding ephemeral gully erosion. in National Research Council, Board on Agriculture, Soil Conservation (eds.), *Assessing the National Research Inventory*, National Academy Press, Washington DC, pp. 90-118.
- Gies, T.J.A., J. van Os, R.A. Smidt, H.S.D. Naeff & E.C. Vos, 2015. *Geografisch Informatiesysteem Agrarische Bedrijven (GIAB) : gebruikershandleiding 2010*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen, 86 pp.
- Goossens, D., 2004. Wind erosion and tillage as a dust production mechanism on North Europe farmland. In: Goossens & Riksen (eds.). *Wind erosion and dust dynamics: observation, simulations, modelling*. ESW Publications, Wageningen, the Netherlands.
- Haag, D. & M. Kaupenjohann. 2001. Landscape fate of nitrate fluxes and emissions in Central Europe. A critical review of concepts, data and models for transport and retention. *Agric. Ecosyst. Environ.* 86:1-21.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., C.L. van Beek, T. Hoogland, M. Knotters, J.P. Mol-Dijkstra, R.L.M. Schils, A. Smit & F. de Vries, 2009. *Kaderrichtlijn Bodem; Basismateriaal voor eventuele prioritair gebieden*. Alterra-rapport 2007. Alterra WUR, Wageningen.
- Haddaway, N.R., C. Brown, S. Eggers, J. Josefsson, B. Kronvang, N. Randall & J. Uusi-Kämpä, 2016. The multifunctional roles of vegetated strips around and within agricultural fields. A systematic map protocol. *Environmental Evidence* 5(1): 22 August 2016, Article number 18.
- Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, G.J. Roerink, H.S.D. Naeff & R.A. Smidt. 2014. *Landelijk grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7)*. Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Alterra-rapport 2548, Wageningen.
- Herweg, K., 1996. *Field guide for assessment of current erosion damage*. Soil Conservation Research Programme, Ethiopia and Centre for Development and Environment, University of Berne, Switzerland.
- Hessel, R. 2005. Effects of grid cell size and time step length on simulation results of the Limburg soil erosion model (LISEM). *Hydrological Processes* 19, 3037-3049.
- Hessel, R., J. Stolte & M. Riksen, M. 2011. *Huidige maatregelen tegen water- en winderosie in Nederland*. Alterra rapport 2131. Alterra WUR, Wageningen.
- Hoffmann, C.C., C. Kjaergaard, J. Uusi-Kämpä, H.C. Bruun Hansen & B. Kronvang. 2009. Phosphorus retention in riparian buffers: Review of their efficiency. *J. Environ. Qual.* 38:1942-1955.
- Jetten V., Govers G., Hessel R. 2003. Erosion models: quality of spatial predictions. *Hydrological Processes* 17: 887-900.
- Jungerius, P.D. & F.J.P.M. Kwaad, 1973. *Bodemerosie*. In: Jungerius, P.D., E.A. Koster & F.J.P.M. Kwaad (red.), *Fysische geografie: aspecten van het landschapsonderzoek*. Oosthoek, Utrecht; 38-48.
- Klok, C., Römkens, P.F.A.M., Naeff, H.S.D., Arts, G.H.P., Runhaar, J., Diepen, C.A. van & Noij, I.G.A.M., 2003. *Gebiedsgerichte milieumaatregelen voor waterkwaliteit en natuur in reconstructiegebieden van Noord-Brabant*. Alterra-rapport 635, Wageningen.
- KNMI. 2015. *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*, KNMI, De Bilt.
- Kronvang, B., A.R. Laubel, S.E. Larsen, H.L. Iversen & B. Hansen, 2000. Soil erosion and sediment delivery through bufferzones in Danish slope units. *Proceedings of a symposium held at Waterloo, Canada, July 2000*. IAHS Publ. no. 263, 2000.
- Kros, J., T.J.A. Gies & J.C.H. Voogd, 2015a. *Effecten van landschapselementen op de ammoniakdepositie in een Natura 2000-gebieden*. Alterra-rapport 2689. Alterra Wageningen UR, Wageningen, 38 pp.
- Kros, J., M.M. Bakker, P. Reidsma, A. Kanellopoulos, S. Jamal Alam & W. de Vries, 2015b. *Impacts of agricultural changes in response to climate and socioeconomic change on nitrogen deposition in nature reserves*. *Landscape Ecology* 30(5), 871-885.
- LNV, 1997. *Besluit gebruik meststoffen*. (http://wetten.overheid.nl/BWBR0009066/geldigheidsdatum_06-01-2015), Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij Den Haag.
- Mayer, P.M., S.K. Reynolds, Jr., M.D. McCutchen & T.J. Canfield. 2007. Meta-analysis of nitrogen removal in riparian buffers. *J. Environ. Qual.* 36:1172-1180.

- McCracken, D. I., Cole, L.J., Harrison, W. & Robertson, D. 2012. Improving the farmland biodiversity value of riparian buffer strips: Conflicts and compromises. *J. Environ. Qual.* 41: 355-363.
- Metz, D., 2015. Aeries calculator; Toelichting toepassingsbereik en beschrijving rekenmethode. Ministerie van Economische Zaken, Utrecht.
- MNC, 2014. Milieu- en Natuurcompendium Vol. 2014 CBS, PBL and Wageningen UR, Den Haag, Bilthoven, Wageningen.
- Nachtergaele, J., J. Poesen & G. Govers, 2002. Ephemeral gullies. A spatial and temporal analysis of their characteristics, importance and prediction. *Belgeo, Revue belge de géographie* DOI: 10.4000/belgeo.16167.
- Ngapo, N., B. Robson, J. Douglas, S. Pickles & D. McKay, 2013. Erosion and sediment control guidelines for forestry operations. Bay of Plenty Regional Council. New Zealand.
- Noij, I.G.A.M., M. Heinen, H.I.M. Heesmans, J.T.N.M. Thissen & P. Groenendijk, 2012a. Effectiveness of non-fertilized buffer strips to reduce nitrogen loads from agricultural lowland to surface waters. *J. Env. Qual.* 41(2): 322-333.
- Noij, I.G.A.M., M. Heinen & P. Groenendijk, 2012b. Effectiveness of non-fertilized buffer strips in the Netherlands. Final report of a combined field, model and cost-effectiveness study. Alterra-report 2290, Wageningen.
- Noij, G.J., B. Kronvang, S. Otto, K. Kasak & R. Schrauwen, 2014. Riparian bufferstrips Chapter 7 in: B. Elbersen et al. (2014). Aspects of data on diverse relationships between agriculture and the environment. Report for DG-Environment. Contract no. 07-0307/2012/633993/ETU/B1. Alterra. Wageningen, April 2014.
<http://ec.europa.eu/environment/agriculture/studies.htm>
- Pfeiffenberger, M. & Th. Fock, 2012. Risikopotenziale landwirtschaftlicher Nutzung für den Naturschutz erfassen und bewerten. Eine multikriterielle Risikoanalyse am Beispiel des Peenetales. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 44 (3): 083-089.
- Piechnik, D.A., S.C. Goslee, T.L. Veith, J.A. Bishop & R.P. Brooks, 2012. Topographic placement of management practices in riparian zones to reduce water quality impacts from pastures. *Landscape Ecol.* DOI 10.1007/s10980-012-9783-7.
- Polyakov, V., A. Fares & M. Ryder. 2005. Precision riparian buffers for the control of nonpoint source pollutant loading into surface water: A review. *Environ. Rev.* 13:129-144.
- Quiñonero-Rubio, J.M., C. Boix-Fayos & J. de Vente, 2016. Evaluation of the effectiveness of forest restoration and check dams to reduce catchment sediment yield. *Land Deg.Developm.* 27(4): 1018-1031.
- Ranalli, A.J. & D.L. Macalady. 2010. The importance of the riparian zone and in-stream processes in nitrate attenuation in undisturbed and agricultural watersheds: A review of the scientific literature. *J. Hydrol.* 389:406-415.
- Rice, R.J., 1977. *Fundamentals of Geomorphology*. Longman, London and New York.
- Richert, E. & R. Achtziger, 2012. *Wasser + Landschaft. Arbeitsgrundlage zur Optimierung einer nachhaltigen Landnutzung aus Sicht des Hochwasserschutzes und des Natur- und Landschaftsschutzes*. DBU, Hochnatur, HONAMU.
- Riksen, M.J.P.M. & J. de Graaff, 2001. On-site and off-site effects of wind erosion on European light soils. *Land Degrad.Develop.* 12: 1-11.
- RIVM, 2016. GDN depositiekaartbestanden. Vol. 2016 RIVM. Available at http://www.rivm.nl/Onderwerpen/G/GCN_GDN_kaarten_2016; Accessed April 2, 2016., Bilthoven.
- Scheffer, F. & P. Schachtschabel, 1976. *Lehrbuch der Bodemkunde*. 9. Auflage. Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Scheffer/Schachtschabel, neu bearbeitet von H.Blume, G.W. Brummer, R. Horn, E. Kandeler, I Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, K. Stahr & B.-M. Wilke, 2010. *Lehrbuch der Bodemkunde*. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Schultz, R.C., Colletti, J.P., Isenhardt, T.M., Simpkins, W.W., Mize, C.W. & Thompson, M.L. 1995. Design and placement of a multi-species riparian buffer strip system. *Agroforest Syst.* 29 (3), 201-226.

- Sebti, S. & R. P. Rudra, 2010. An approach to evaluate vegetative filter strip in watershed scale. *Applied Engineering in Agriculture* Vol. 26(5): 817-826. American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542 817.
- Smolders, A., J. Loermans, M. van Mullekom & M. Jalink. 2014. De waterkwaliteit van de bronsystemen in het Bunder- en Elsoërbos: Bronnen van zorg. *Natuurhistorisch Maandblad* 103(5): 125-131.
- Spaan, W.P., H.J. Winteraeken & P.M.T.M. Geelen, 2010. Adoption of SWC measures in South Limburg (the Netherlands): Experiences of a water manager. *Land Use Policy* 27: 78–85.
- Stehle, S., J.M.Dabrowski, U. Bangert & R.Schulz, 2016. Erosion rills offset the efficacy of vegetated buffer strips to mitigate pesticide exposure in surface waters. *Sc.Tot.Env.* 545-546: 171-183.
- Stutter, M.I., W.J. Chardon & B. Kronvang. 2012. Riparian buffer strips as a multifunctional management tool in agricultural landscapes: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 41(2): 297-303.
- Ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer & 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.
- Van Bruggen, C., C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen, J.F.M. Huijsmans, S.M. Sluis & G.L. Velthof, 2012. Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest in 2010 : berekeningen met het Nationaal emissiemodel voor Ammoniak (NEMA). *Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen*.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.M. Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk, 2014. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2012 : berekeningen van ammoniak, stikstofoxide, lachgas, methaan en fijn stof met het model NEMA. *Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen*, 79 pp.
- Van Dobben, H., R. Bobbink, D. Bal & A. Van Hinsberg, 2012. Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. *Alterra report 2397. Wageningen*, 73 pp.
- Van Jaarsveld, J.A., 2004. The Operational Priority Substances model. Description and validation of OPS-Pro 4.1. RIVM Report 500045001. National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, the Netherlands, 156 pp.
- Van Kerckhoven, S., M. Riksen & W. Cornelis, 2009. Afbakening van gebieden gevoelig aan winderosie in Vlaanderen. *Faculteit Bio-Ingenieurswetenschappen, Universiteit Gent*, 79 pp.
- Van Noordwijk, C.G.E., M.J. Weijters, N.A.C. Smits, R. Bobbink, A.T. Kuiters, E. Verbaarschot, R. Versluijs, J. Kuper, W. Floor-Zwart, H.P.J. Huiskes, E. Remke & H. Siepel, 2013. Uitbreiding en herstel van Zuid-Limburgse hellingschraallanden, Eindrapport 2e fase O+BN onderzoek. Rapport nr. 2013/OBN177-HE, Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken.
- Vleeshouwer, J.J. & J.H. Damoiseaux, 1990. Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000. Toelichting bij kaartblad 61-62 West en Oost Maastricht - Heerlen. Staring Centrum/STIBOKA, Wageningen.
- White, M.J. & J.G. Arnold. 2009. Development of a simplistic vegetative filter strip model for sediment and nutrient retention at the field scale. *Hydrol. Process.* 23:1602–1616.
- Winteraeken, H.J. & W.P. Spaan. 2010. A new approach to soil erosion and runoff in South Limburg—the Netherlands. *Land Degrad.Develop.* 21: 346–352.
- Wischmeier, W.H. & D.D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. *Agricultural Research Service Handbook 537. US Department of Agriculture*.
- Zhang, X., X. Liu, M. Zhang, R.A. Dahlgren & M. Eitzel. 2010. A Review of Vegetated Buffers and a Meta-analysis of Their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. *J. Environ. Qual.* 39: 39:76–84.

Ziegler, A.D., L.T. Tran, Th.W. Giambelluca, R.C. Sidle, R.A. Sutherland, T.D.Vien & M.A. Nullet, 2006. Effective slope lengths for buffering hillslope surface runoff in fragmented landscapes in northern Vietnam. *For.Ecol.Management* 224: 104–118.

Bijlage 1: Verklarende termenlijst

Bodemerosie: Het losmaken en verplaatsen van bodemdeeltjes onder invloed van vooral wind of water.

Bouwsteen (zoals gebruikt in dit rapport): Karakteristieke combinatie van terreinkenmerken die van invloed is op een bepaald traject van erosie- en/of sedimentatieprocessen in het Heuvelland.

Colluvium: Bodemmateriaal dat door bodemerosie van een helling is afgespoeld en aan de voet van of op de helling accumuleert. Ook wel aangeduid als colluviaal materiaal.

Colluviatie: Afzetting (sedimentatie) van door erosie van elders aangevoerd bodemmateriaal.

Concave helling: "Holle" helling. Aan de bovenzijde steiler dan aan de onderzijde.

Contourvolgend: De hoogtelijn volgend.

Convexe helling: "Bolle" helling. Aan de onderzijde steiler dan aan de bovenzijde.

Denudatie: Het verdwijnen van de bovenste bodemlagen door erosie en verwerking (onthoofding van het bodemprofiel).

Erosie-nis: een concave, bekkenvormige laagte in een helling, ontstaan door erosie.

Erosiebaan: Stroombaan (stroomroute) waarlangs water en erosiemateriaal zich hellingafwaarts verplaatst. Naarmate vaker dezelfde baan wordt gevolgd, wordt gesproken van een preferente erosiebaan.

Grubbe of grub: Kloofvormig dal ontstaan in de plateauhelling door terugschrijdende erosie. In veel gevallen zijn ze gecombineerd met al dan niet verharde weg (holle weg). De grubbe vormt een preferente stroombaan voor excessieve hoeveelheden regenwater vanuit het plateau. Kop van grubbe: Beginpunt van de grubbe in de plateaurand. Door terugschrijdende erosie kan de kop zich verder het plateau in verplaatsen.

Gully, gully-erosie: Erosieproces waarbij water accumuleert in smalle stroombanen, waarbij bodemmateriaal tot aanmerkelijke diepte verwijderd wordt (insnijding). Ernstige vorm van insnijdende erosie, ontstaan vanuit rills. Zij worden onderscheiden van rills door hun grotere breedte en diepte.

Insnijdende erosie: Vorm van lineaire erosie waarbij het proces zich in ook verticale zin manifesteert

Kloofvormig dal: Diepe en brede gully begrensd door steilwanden.

Lineaire erosie: Erosie langs smalle langgerekte banen waarbij insnijdende erosievormen als rills, gullies en kloven ontstaan.

Holle weg: Verzonken weg (zowel verhard als onverhard) in plateaurand of helling, begrensd door steilwandjes. Ze vallen meestal samen met kloofvormige dalen.

Plateaurand: De meestal convexe overgang van een vlak tot zacht glooiend plateau naar de steile helling.

Rill, rill-erosie: Lichte tot matig intensieve vorm van insnijdende erosie, ontstaan door concentratie van sheet flow. Rills worden onderscheiden van gullies door hun kleinere breedte en diepte.

Runoff, overland flow: De afstroming van (regen)water over het bodemoppervlak. In bredere zin een algemene term voor niet infiltrerend, oppervlakkig afstromende neerslag. In de

praktijk heeft runoff een vaste component in de vorm van door regendruppelerosie losgemaakte bodemdeeltjes inclusief eventueel in de bodem aanwezige meststoffen.

Sheet flow: Een over een breed oppervlak afstromend regenwater gemengd met geërodeerd bodemmateriaal, dat niet geconcentreerd is in smalle stroombanen. Deels synoniem met overland flow.

Sedimentatie: Het afzetten van bodem of verweringsmateriaal (sediment) door vooral wind, water of ijs.

Sheet-erosie: Niet-insnijdende erosie waarbij over een breed front regenwater gemengd met bodemmateriaal oppervlakkig verplaatst wordt.

Solifluctie: Het hellingafwaarts verplaatsen van waterverzadigd bodemmateriaal over een slecht doorlaatbare, compacte (bijv. bevroren) ondergrond. Solifluctie is in Nederland een fossiel verschijnsel geassocieerd met een kouder klimaat.

Terugschrijdende erosie: Het achterwaarts (tegengesteld aan de richting van runoff) uitbreiden van insnijdende erosievormen.

Verslemping: Het verdichten van de toplaag van een bodem doordat fijnere bodemdeeltjes de poriën in de bodem verstoppen. Hierdoor ontstaat een papperige laag die na indrogen een compacte korst vormt.

Versnelde erosie: Erosie als gevolg van een landschappelijke verstoring (veelal ontginning) en intensief landgebruik door de mens.

Bijlage 2: Vertaaltabel bodemtypen naar erosiegevoeligheidsklassen

Voor codes en bodemtypen: zie De Vries *et al.* (2003). Het aantal ha betreft het Heuvelland.

Code	Bodemtype	Bodemgroep	Aantal ha	Gevoeligheid
ABI	Lössige beekdalgronden	Associaties	151	5
AHa	Glauconietkleihellingen	Associaties	783	1
AHc	Löss-, terras- en kalksteenhellinggronden	Associaties	1704	5
AHk	Kalksteenhellinggronden	Associaties	2585	1
AHl	Löss- en terrashellinggronden	Associaties	2957	5
AHs	Vuursteenhellinggronden	Associaties	549	1
AHv	Terras- tertiair-, kalksteen- en veenhellinggronden	Associaties	24	1
AHz	Löss-, tertiair- en en terrashellinggronden	Associaties	569	5
BLb6	Bergbrikgronden	Brikgronden	10405	4 ^a
BLd5	Radebrikgronden	Brikgronden	1369	4 ^b
BLd6	Radebrikgronden	Brikgronden	10278	4
BLh5	Daalbrikgronden	Brikgronden	99	4
BLh6	Daalbrikgronden	Brikgronden	258	4
BLn5	Kuilbrikgronden	Brikgronden	279	4 ^c
BLn6	Kuilbrikgronden	Brikgronden	225	4
KK	Kleefaarde	Kalksteen	395	1
KM	Ondiepe kalksteen-verweringsklei	Kalksteen	35	1
KS	Vuursteen-eluvium	Kalksteen	224	1
Ldh6	Ooivaaggronden	Leemgronden	2894	5
Lh6	Ooivaaggronden	Leemgronden	501	5
Ln5	Poldervaaggronden	Leemgronden	212	5
Ln6	Poldervaaggronden	Leemgronden	116	5
Lnd5	Poldervaaggronden	Leemgronden	147	5
Lnd6	Poldervaaggronden	Leemgronden	833	5
Lnh6	Poldervaaggronden	Leemgronden	31	5
MA	Oude mariene afzettingen; glauconietklei	Overige gronden	107	1
MK	Oude mariene afzettingen; zavel en klei	Overige gronden	39	1
MZk	Oude mariene afzettingen; fijn zand en zavel	Overige gronden	180	3
MZz	Oude mariene afzettingen; fijn zand	Overige gronden	400	3

Noten:

- wel kleirijke Bt dicht aan het oppervlak
- meestal vlakke ligging
- meestal vlakke ligging

Bijlage 3: Vertaaltabel LGN7-codes naar erosiegevoeligheidsklassen

Omschrijving	Code	ha	Percentage	Gevoeligheid
1 - Agrarisch gras	1	12634	19.0%	2
2 - Mais	2	5047	7.6%	5
3 - Aardappelen	3	1990	3.0%	5
4 - Bieten	4	2790	4.2%	5
5 - Granen	5	6690	10.1%	5
6 - Overige gewassen	6	742	1.1%	5
8 - Glastuinbouw	8	6	0.0%	5
9 - Boomgaarden	9	833	1.3%	2
10 - Bloembollen	10	13	0.0%	5
11 - Loofbos	11	5332	8.0%	1
12 - Naaldbos	12	767	1.2%	1
16 - Zoet water	16	1208	1.8%	0
18 - Bebouwing in primair bebouwd gebied	18	9557	14.4%	1
19 - Bebouwing in secundair bebouwd gebied	19	270	0.4%	1
20 - Bos in primair bebouwd gebied	20	666	1.0%	1
22 - Bos in secundair bebouwd gebied	22	455	0.7%	1
23 - Gras in primair bebouwd gebied	23	6200	9.3%	1
24 - Kale grond in primair bebouwd gebied	24	2	0.0%	5
25 - Hoofdwegen en spoorwegen	25	3233	4.9%	1
26 - Bebouwing in het buitengebied	26	1367	2.1%	1
28 - Gras in secundair bebouwd gebied	28	2113	3.2%	1
35 - Open stuifzand en/ of rivierzand	35	10	0.0%	5
36 - Heide	36	135	0.2%	1
37 - Matig vergraste heide	37	34	0.1%	1
38 - Sterk vergraste heide	38	6	0.0%	1
41 - Overige moerasvegetatie	41	61	0.1%	1
42 - Rietvegetatie	42	1	0.0%	1
43 - Bos in moerasgebied	43	43	0.1%	1
45 - Natuurgraslanden	45	2607	3.9%	1
61 - Boomkwekerijen	61	137	0.2%	1
62 - Fruitkwekerijen	62	1417	2.1%	2
Totaal		66366	100.0%	

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.



Kennisnetwerk OBN wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en BIJ12

Princenhof Park 9
3972 NG Driebergen
0343-745250

drs. W.A. (Wim) Wiersinga
Adviseur Plein van de kennis/
Programmaleider Kennisnetwerk OBN
0343-745255 / 06-38825303
w.wiersinga@vbne.nl

M. (Mark) Brunsveld MSc
Programma-medewerker OBN
0343-745256 / 06-31978590
m.brunsveld@vbne.nl