

BODEMBREED INTERREG

Alternatieven voor Niet Kerende Grondbewerking

Literatuurstudie erosiebestrijding in combinatie met ploegen op lössgronden

Onderdeel: Werkgroep 3

Document: Literatuurstudie

Tijdstip: 29 maart 2011

Status: Definitief

Opgesteld door: Bert Vermeulen (WUR-PRI)



Auteursrechten

Deze publicatie werd gerealiseerd in het kader van het Interregproject Bodembreed. Deze is exclusief en volledig eigendom van alle partners van BodemBreed. Alle partners van het project BodemBreed hebben het recht om deze publicatie zonder meerprijs te gebruiken voor hun eigen publicaties, mits met bronvermelding. Dit recht is onbeperkt in de tijd.

Aansprakelijkheidsbeperking

Deze publicatie werd met de meeste zorg en nauwkeurigheid opgesteld. Er wordt evenwel geen enkele garantie gegeven omtrent de juistheid of de volledigheid van de informatie in deze publicatie.

Online beschikbaarheid

Deze publicatie is beschikbaar via: <http://www.bodembreed.eu/kennisloket>

Opdrachtgevers

DLV Plant, die deze opdracht gekregen heeft van LLTB in het kader van het project BodemBreed

Adres : Postbus 7001, 6700 CA Wageningen
Agro Business Park 65, 6708 PV Wageningen
Tel. : +31 317 49 15 78
Fax : +31 317 46 04.00
E-mail : info@dlvplant.nl
Internet : www.dlvplant.nl



Uitvoering

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Agrosysteemkunde



Adres : Postbus 616, 6700 AP Wageningen
Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
Tel. : +31 317 48 05 54
Fax : +31 317 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Samenvatting

In heuvelachtig lössgebied leiden zware buien tot bodemerosie en wateroverlast. Niet kerende grondbewerking (NKG) en groenbedekking van de grond buiten het groeiseizoen bieden perspectief voor de bestrijding hiervan. Een doelstelling van het project Interreg IV Bodembreed is bredere toepassing van NKG en groenbedekking. Er zullen echter situaties zijn waarbij toepassing nog niet verantwoord of zelfs onmogelijk is in verband met bijvoorbeeld bijzondere weersomstandigheden, specifieke grondsoorten of kwetsbare teelten. In die situaties wordt primair gezocht naar aanpassingen binnen het NKG teeltsysteem. Echter, waar deze niet voorhanden zijn, zal er traditioneel geploegd moeten worden. De hier beschreven deskstudie, richt zich op de vraag welke maatregelen of pakketten van maatregelen ten aanzien van waterafvoer en bodemerosie in combinatie met ploegen eenzelfde effect hebben als NKG en groenbedekking. Het gaat daarbij niet om inrichtingsmaatregelen zoals grasbanen, groenvlakken en waterbuffers, die slechts voorkomen dat grond buiten het perceel terecht komt.

Voor alternatieve maatregelen om erosie te bestrijden in combinatie met ploegen gelden dezelfde bestrijdingsprincipes als voor NKG: bedekking van de bodem, verhogen van de bodemstabiliteit en vergroting van de waterberging. Voor elk principe werden via een deskstudie de alternatieven nagegaan. Dit heeft een aantal maatregelen opgeleverd die aantoonbaar effectief zijn om erosie te bestrijden, zowel na ploegen als bij NKG, maar die op dit moment niet toegepast worden in het projectgebied. Om de implementatie-activiteiten verder af te bakenen is verkend welke knelpunten zich in de praktijk bij toepassing van NKG voordoen en welke alternatieve maatregelen in combinatie met ploegen daarbij praktisch perspectief zouden kunnen bieden.

Het eerste knelpunt is de inzaai van wintertarwe in een nat najaar omdat de grond bij NKG dan slemp- en erosiegevoelig wordt. Bij ploegen wordt relatief droge grond bovengebracht en verloopt de inzaai gunstiger. Op basis van wat bekend is wordt verwacht dat voor de specifieke omstandigheden van inzaai van wintertarwe op natte grond geen extra maatregelen voor erosiebestrijding na het ploegen nodig zijn om even effectief te zijn als bij inzaai na NKG.

Een knelpunt op zware lössgrond is onvoldoende verwerking in de winter en langer nat blijven van de grond in het voorjaar. Dit is vooral een knelpunt voor het maken van ruggen en soms voor het maken van een voldoende fijn zaaibed. De traditionele oplossing hiervoor is wintervoorploegen. Verwacht wordt dat voor de erosie in de winterperiode geen extra maatregelen nodig zijn om een vergelijkbare erosiebestrijding te realiseren als bij NKG. Echter, na wintervoorploegen zijn in het voorjaar wel extra maatregelen voor erosiebestrijding nodig.

Bij de teelt op ruggen is de bodembedekking ook bij NKG en mulchen erg laag omdat de grond relatief diep (ca. 15 cm) intensief bewerkt en gemengd wordt. Teeltruggen zijn daarom steeds erosiegevoelig. Een effectieve en naar schatting praktijkrijpe methode om erosie te bestrijden is het aanbrengen van drempels in de geulen tussen de ruggen. Door de drempels wordt afstroming en sedimentverlies voorkomen. Ze zijn even effectief na NKG als na ploegen. Nader onderzoek wordt aanbevolen om een veilige hoogte en tussenafstand van de drempels vast te stellen.

Voor de teelt van fijnzadige gewassen wordt bij voorkeur een fijn zaaibed gemaakt dat helaas erosiegevoelig is. Dit geldt voor de zaaibedbereiding na NKG en in versterkte mate na ploegen. Voor deze situatie wordt alleen het toepassen van een strodek als serieuze, maar onpraktische en dure alternatieve maatregel voor NKG en groenbedekking beschouwd. Aanbevolen wordt om bestaande methoden te verbeteren en nieuwe wegen te zoeken voor in de praktijk inpasbare erosiebestrijding bij de teelt van fijnzadige gewassen. Als mogelijke oplossingsrichtingen worden gezien: 1) inwerken van kleine hoeveelheden gehakseld stro in het zaaibed in dezelfde werkgang als het zaaien; 2) opnieuw zoeken naar geschikte, afbreekbare materialen om de bodem oppervlakkig te stabiliseren en 3) integratie van de aqueelroller in zaaicombinaties. Aanbevolen wordt ook om binnen een systeem met NKG of ondiep ploegen te onderzoeken of door toepassen van een systeem met vaste rijpaden de precisie (werkdiepte) en bewerkbaarheid van de grond zodanig verbeterd kunnen worden dat het probleem van de onvoldoende verkruiding van zwaardere grond voor het maken van een fijn zaaibed opgelost wordt.

Een mulchvrij zaaibed is o.a. nodig voor spinazie en peen. Voor spinazie worden beperkte mogelijkheden voor erosiebestrijding gezien via oppervlakkige stabilisatie van de bodem. Aanbevolen wordt om uit te proberen of met ondiep ploegen een voldoende stabilisatie en erosiebestrijding bereikt kan worden. Voor peen kunnen drempels tussen de peenruggen uitkomst bieden.

Het is nog onvoldoende duidelijk of periodiek ploegen (1 keer per 5 jaar) noodzakelijk is om mogelijk ontstane bodemverdichting in het NKG systeem op te heffen. Indien periodiek ploegen nodig is wordt aanbevolen om dit te doen voorafgaand aan de teelt van aardappels (met drempels tussen de ruggen) of wintertarwe.

Summary

Heavy showers lead to soil erosion and flooding in undulating loess areas. Non-inversion tillage (NIT) and green cover of the soil when no commercial crops are grown are measures to prevent this. One objective of the project 'Interreg IV Bodembreed' is the broader implementation of NIT and green cover. However, there will be situations in which application of NIT and green cover is not sensible or even impossible, for instance associated with extraordinary weather conditions, specific soil types or vulnerable crops. In those situations the primary line of approach will be to adapt the NIT husbandry system. However where this is no option, traditional ploughing will be necessary. The desk study reported here deals with the question which measures or set of measures in combination with ploughing will be as effective in reducing flooding and soil erosion as NIT and green cover. The measures studies are excluding area designs for flood control such as grass strips, green areas outside agricultural fields and water buffers, that merely prevent water and soil to flush outside the field border.

The same principles of controlling flooding and erosion within the NIT and green cover system also apply to measures in combination with ploughing: covering the soil, increase soil stability and increase the buffering of water. Alternative measures in combination with ploughing were reviewed through desk study for each principle. This yielded a number of measures that have a proven effectiveness to control soil erosion, after ploughing as well as after NIT, but are not used in the project area at the moment. To apply further focus on the implementation activities it was explored which bottlenecks occur with NIT and green cover in practise, for which alternative measures in combination with ploughing could provide opportunities in practise.

The first bottleneck is the sowing of winter wheat in a wet autumn because after NIT the soil becomes very sensitive to slaking and splash erosion under such field conditions. During mouldboard ploughing relatively dry soil is turned up in which sowing is easier and leads to less soil damage. On the basis of present knowledge, it is expected that no extra measures in combination with ploughing are necessary to reduce flooding and erosion as effective as for sowing after NIT and green cover.

A bottleneck of NIT on heavy loess soil is that the soil weathers insufficiently in the winter and will stay wet longer in spring. This is particularly a pressure point for making ridges in spring and, sometimes, for preparing a sufficiently fine seedbed. The traditional solution for these problem is mouldboard ploughing before the winter. Though no extra erosion control measures are expected to be needed in the winter for equal effectiveness as NIT and green cover, extra measures are certainly needed in spring.

In ridge culture, soil coverage with plant residues is low, even after NIT and green cover, because the soil is usually worked intensively and mixed up to greater depth (approximately 15 cm). Therefore, ridges are always relatively sensitive to erosion. An effective erosion control measure, expectedly ready for implementation in practise, is a tied ridging system in which soil barriers are put up in the gulleys between the ridges to hold water and sediments and prevent flow of water and sediments. The tied ridge system is effective both after NIT as after ploughing. Further research is recommended to determine a safe height and mutual distance between the soil barriers.

For the husbandry of crops with small seeds a fine seedbed is preferred, which unfortunately is sensitive to erosion. This occurs after NIT and, more pronounced, after ploughing. In this situation only the application of a straw cover is considered an effective, but impractical and expensive alternative for NIT and green cover. It is recommended to improve existing alternatives and to find new ways to develop practical erosion control for fine seed beds. Suggested possible directions for solving this problem are: 1) Incorporation of a small quantity of chopped straw in the seedbed combined with sowing; 2) Search again for suitable, degradable materials to stabilize the soil surface; and 3) Integration of the aqueel roller in seedbed combinations. It is also recommended to investigate whether the application permanent traffic lanes combined with NIT or shallow ploughing on heavy loess soil will lead to such a precision (working depth) and workability of the soil that the problem of insufficient weathering for making a fine seedbed will be solved.

A mulch-free and, therefore, erosion sensitive seedbed is necessary for spinach and carrot a.o. For spinach there may be limited potential through superficial stabilisation of the soil. It is recommended to investigate whether sufficient stabilisation and erosion control will be reached by shallow ploughing. Tied ridging can solve the problem for carrot.

It is still insufficiently clear whether periodic ploughing (one times per 5 years) is needed to remove possibly developed soil compaction in the NIT system. If such periodic ploughing would be needed, it is recommended to do it preceding potato (with tied ridges) or preceding winter wheat.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	i
Summary	iii
Inhoudsopgave	v
1 Inleiding.....	1
2 Huidige erosiebeperking door NKG en groenbedekking.....	3
2.1 Beschrijving van het NKG systeem.....	3
2.2 Knelpunten bij huidige NKG en groenbedekking.....	4
3 Alternatieve erosiewerende maatregelen	7
3.2 Bodembedekking	7
3.2.1 Groenbedekking in de winter.....	7
3.2.2 Strodek na zaaien of poten	7
3.2.3 Houten minilatjes	8
3.2.4 Tijdelijke onderzaai	9
3.2.5 Zaaien bij nauwe rijafstand	9
3.2.6 Mow-plow	9
3.3 Stabiliteit van de grond.....	10
3.3.1 Ondiep ploegen	10
3.3.2 Niet te fijn zaaibed	10
3.3.3 Dubbelzaaien.....	11
3.3.4 Herfstruggen voor aardappelen.....	11
3.3.5 Toedienen organische stof en kalk.....	12
3.3.6 Synthetische bodemstabilisatoren en papiercellulose	12
3.4 Vergroting waterberging aan het oppervlak.....	13
3.4.1 Contourbewerken	13
3.4.2 Kuiltjespatroon aan het oppervlak.....	13
3.4.3 Drempels in de geulen tussen ruggen.....	14
3.5 Vergroting infiltratie en waterberging in de bodem.....	17
3.5.1 Korst breken en schoffelen	17
3.5.2 Wielsporen lostrekken in het voorjaar.....	18
3.5.3 Diepwoelen	18
3.5.4 Voorkomen van verdichting.....	18
4 Knelpuntsituaties en mogelijk perspectiefvolle maatregelen.....	23
4.1 Inzaai wintergraan in een nat najaar	23
4.2 Onvoldoende verwerking van zware lössgrond	23
4.3 Erosiegevoeligheid bij ruggenteelten	24
4.4 Erosiegevoeligheid van fijne zaaibedden.....	25

4.5	Erosiegevoeligheid van mulchvrije zaaibedden.....	26
4.6	Bodemverdichting in NKG systeem	26
5	Conclusies en aanbevelingen	27
6.	Literatuur.....	29

1 Inleiding

Het Interregproject Bodembreed richt zich op het verduurzamen van het landbouwkundig bodemgebruik door het versterken van kennis en inzichten van de bodem als samenhangend geheel. Het project is vooral gericht op de implementatie door de landbouwers van maatregelen die duurzaam bodemgebruik bevorderen. Dit door het onderzoeken van effecten van landbouwkundige maatregelen op de bodemkwaliteit met betrekking tot problemen van maatschappelijke relevantie. Concreet worden het beperken van water- en modderoverlast, het beperken van uitspoeling van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater en het zoeken naar het optimale gebruik van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen genoemd.

In heuvelachtig lössgebied leiden zware buien met enige regelmaat tot bodemerosie en wateroverlast (zie kader 'Erosie en erosiebestrijding'). In Interreg III Erosiebestrijding kwam de NKG (niet kerende grondbewerking) en groenbedekking als een perspectiefvol teeltsysteem naar voren. NKG leidt in het projectgebied tot een stabiele bodemstructuur, bodembedekking en een verhoogde infiltratie, waardoor de oppervlakkige afstroming van water en gronddeeltjes wordt beperkt ⁽²⁰⁾. Het effect van NKG wordt versterkt wanneer buiten het groeiseizoen een groenbedekking van de grond wordt toegepast ⁽⁵⁾.

Onderdeel van het project Interreg IV Bodembreed is het in praktijk brengen van en ervaring opdoen met NKG en groenbedekking, in het belang van een verdere en bredere implementatie van NKG en groenbedekking.

Het project levert handvatten op voor een verantwoorde en optimale toepassing van de NKG en groenbedekking, maar er zullen ook situaties voordoen waarbij de toepassing niet verantwoord of zelfs onmogelijk is. Dit kan te maken hebben met bijzondere weersomstandigheden, specifieke grondsoorten of kwetsbare teelten. In die situaties wordt primair gezocht naar aanpassingen binnen het teeltsysteem NKG. Echter, waar deze niet voorhanden zijn, zal er traditioneel geploegd moeten worden. De vraag die zich daarbij voordoet is welke maatregelen of maatregelenpakketten nodig zijn om bij traditioneel ploegen tot een vergelijkbare effectiviteit te komen als bij NKG ten aanzien van de waterafvoer en de bodemerosie. Het gaat daarbij niet om inrichtingsmaatregelen zoals grasbanen, groenvlakken en waterbuffers, die slechts voorkomen dat grond buiten het perceel terecht komt. In Nederland is, als overgangsregeling voor de verplichtstelling van toepassing van NKG en groenbedekking, op dit moment ploegen nog toegestaan in combinatie met deze inrichtingsmaatregelen.

De hier beschreven deskstudie, richt zich op de vraag welke maatregelen of pakketten van maatregelen voor erosiebeperking in combinatie met ploegen eenzelfde effect hebben als NKG en groenbedekking.

In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op NKG en groenbedekking als maatregel om erosie en wateroverlast te beperken en de knelpunten die zich daarbij in de praktijk voordoen. Als resultaat van een literatuuronderzoek zijn in hoofdstuk 3 zo breed mogelijk de in de literatuur genoemde alternatieve erosiewerende maatregelen, zowel in combinatie met ploegen als aanvullend op NKG en groenbedekking, op een rij gezet, met wat bekend is over het effect daarvan. Maatregelen die

te maken hebben met de inrichting van het bedrijf (perceelsindeling, grasbanen, wateropvang etc.) behoorden niet tot de opdracht voor deze studie. Voor de in hoofdstuk 2 genoemde knelpunten wordt in hoofdstuk 4 gekeken welke alternatieve maatregelen in combinatie met ploegen of aanvullende maatregelen voor NKG en groenbedekking toepasbaar zijn om de knelpunten op te lossen. Conclusies en aanbevelingen worden gegeven in hoofdstuk 5.

Watererosie en bestrijdingsprincipes

Alle leemgronden, zowel zandige als siltige leem zijn relatief instabiel, dwz dat de grond in natte toestand gemakkelijk uiteenvalt in de elementaire delen en daarbij een dichte pakking aanneemt, spontaan of onder invloed van krachten zoals het eigen gewicht (interne slemp), bodemdrukken onder landbouwbanden (verdichting) of de kracht van neerkomende regendruppels (slemp, korstvorming). De grond is het meest instabiel nadat deze intensief losgemaakt is doordat hierdoor bestaande bindingen tussen gronddeeltjes anders dan waterbindingen (bijv. door humus- of ijzerverbindingen), gebroken worden. De stabiliteit kan in de tijd weer toenemen als deze bindingen weer opnieuw gevormd worden⁽³⁰⁾. Intensief losmakende bewerkingen zijn o.a. ploegen en bewerkingen met aangedreven werktuigen op lichte grond. Op zwaardere grond kan ook verwerking sterk bijdragen aan de vorming van losse grond.

Als lössgrond uiteenvalt en zich verdicht, neemt de waterdoorlatendheid sterk af. Op gemiddeld vlak liggend terrein kan dit leiden tot stroming van regenwater naar de diepste plekken op het perceel, waar dan plasvorming optreedt en op hellend terrein leidt het tot afstromend water. De kleine gronddelen van de door de kracht van de regendruppels uiteengevallen grond worden gemakkelijk meegenomen door het afstromende water. Omdat lössgrond voor het grootste deel bestaat uit kleine delen (leem) wordt de grond relatief gemakkelijk meegenomen naar lager gelegen delen van het perceel, wat bekend staat als erosie. Door instroming van water van bovengelegen locaties wordt dit fenomeen versterkt naarmate de helling langer is. Afhankelijk van o.a. de intensiteit van de regenval, de stabiliteit van de grond, de helling en de lengte van het perceel kan de erosie ernstige vormen aannemen.

Erosie kan bestreden worden door maatregelen die leiden tot:

- Het vergroten van de bodembedekking. Hierdoor wordt vooral het effect van de inslag van regendruppels beperkt, zodat oppervlakkige verslemping en het in suspensie gaan van leem in afstromend water wordt tegengegaan.
- Het verhogen van de stabiliteit van de grond. Ook hierdoor hebben inslaande regendruppels minder effect en wordt het ineenzakken van de grond onder invloed van percolerend water en het eigen gewicht (interne slemp) tegengegaan.
- Het vergroten van de infiltratie en de waterberging in of op de grond. Door vergroten van de waterberging kan (een deel van) de neerslag tijdelijk in of op de grond opgeslagen worden in plaats van af te stromen.

2 Huidige erosiebeperking door NKG en groenbedekking

2.1 Beschrijving van het NKG systeem

In het najaar, na de oogst is de grond verdicht door verslemping, berijdingen in het voorjaar, in het seizoen en bij de oogst, leidend tot onvoldoende infiltratiecapaciteit en waterdoorlatendheid en daardoor tot erosie^(22, 19). Voor de bestrijding van erosie moet lössgrond daarom in het najaar diep losgemaakt worden. Dit gebeurt in het algemeen met een cultivator of een woeler, zowel in het ploegstelsel als in het NKG systeem.

Omdat er in de winter in het algemeen geen zeer intensieve regenbuien voorkomen is het erosiegevaar beperkt, maar toch wel aanwezig omdat de grond doorgaans al nat is bij het begin van de bui. Variaties in het vochtgehalte van de bodem bij het begin van de bui bepalen dan of al bij enkele millimeters neerslag afvoer ontstaat of dat er meer neerslag nodig is om afvoer te genereren⁽⁵⁾. Bij een onvoldoende ruw liggende grond en bij geringe bedekking van de bodem met gewasresten in de winter zal er daarom vrijwel altijd in meer of mindere mate erosie optreden. Indien de oogst vroeg genoeg valt is het mogelijk om na het cultivateren of woelen en een zaaibedbereiding nog een geslaagde groenbemester-/bodembedekker te ontwikkelen. Op deze manier is erosie in de winter extra te bestrijden én mulchmateriaal ter beschikking te krijgen voor gebruik in het voorjaar. Als uiterste zaaidatum wordt half september⁽³⁾ tot half oktober⁽¹⁰⁾ aangehouden, na gewassen als graan, vroege aardappelen en vroeg geoogste bieten en uien. De conclusies uit onderzoek binnen het project BodemBreed⁽¹⁵⁾ waren dat inzaai in september bij de meeste groenbemesters een voldoende bodembedekking geeft. Bij inzaai half oktober geven alleen de graansoorten nog enige bodembedekking en bij inzaai in november leek geen enkele groenbemester tot ontwikkeling te komen. Naarmate groenbemesters later in het jaar ingezaaid worden wordt ook de kans op natte omstandigheden steeds groter, waarbij de grond door het maken van een zaaibed erosiegevoeliger wordt.

Ondanks het diep, niet-kerend losmaken van lössgrond na de oogst kan deze in het voorjaar weer zo dicht geworden zijn dat opnieuw diep losmaken noodzakelijk is (pers. comm., Crijns, DLV Plant). De zwaardere lössgrond bewerkt men liefst in de winter (december-januari; winterbewerking) om de grond de gelegenheid te geven om te verwerken en de lichtere lössgronden worden in het voorjaar, vlak voor zaaien/poten bewerkt (voorjaarsbewerking).

Voor deze bewerkingen in de winter en in het voorjaar wordt conventioneel de ploeg gebruikt, gevolgd door zaa-, poot- of plantbedbereiding en eventueel rugopbouw in geploegde grond. Bij niet-kerende grondbewerking wordt de grond niet gekeerd, maar wordt zo intensief als noodzakelijk opgebroken om stabiliteit te behouden en om zoveel mogelijk mulchmateriaal (gewasresten of materiaal van een geteelde groenbedekker) aan het bodemoppervlak te houden. Door stabiele aggregaten en bodembedekking wordt afstroming en sedimentafvoer in de vroege zomer tegengegaan. Het opbreken van de grond gebeurt indien nodig met een woeler tot een diepte van 25-30 cm meestal gevolgd door zaa-, poot- of plantbedbereiding. Soms wordt ook alleen een zaaibedbereiding uitgevoerd en in een aantal gevallen kan direct in een doodgespoten

groenbedekker gezaaid worden. Voor het zaaien in mulchmateriaal zijn aangepaste zaaimachines voor suikerbieten, maïs en andere gewassen beschikbaar. Bij het maken van ondiepe zaaibedden blijft veel van het aanwezige mulchmateriaal aan het oppervlak. Bij het maken van diepere poot- of plantbedden en het aanaarden van ruggen worden aanwezige mulchmaterialen gemengd met veel grond en valt de bodembedekking vaak tegen.

2.2 Knelpunten bij huidige NKG en groenbedekking

Binnen de projectgroep werden een aantal situaties genoemd waarvoor een knelpunt optreedt in het huidige systeem van NKG en groenbedekking en waarbij ploegen door een aantal telers als noodzaak wordt gevoeld. De hieronder genoemde situatie betreffen vermoedelijk de voornaamste knelpunten, maar het is geen volledige lijst.

Inzaai van wintergraan in een nat najaar

Direct na de oogst wordt de noodzaak om te ploegen soms gevoeld als een zaaibed voor wintertarwe gemaakt moet worden op land dat verreden en nat is na de oogst. Dit geldt zowel voor zware als lichte löss. Om te kunnen zaaien (woelen, zaaibedbereiding en zaaien, gecombineerd of in aparte werkgangen) is er dan onvoldoende droge grond. De kans op verslemping neemt hierdoor toe, waardoor de opkomst van wintergraan kan tegenvallen. Door te ploegen wordt relatief droge, gemakkelijk verkruimelende en 'schone' grond bovengebracht waarin gezaaid kan worden met minder kans op verslemping direct na zaai.

Onvoldoende verwerking van zware lössgrond

Een aantal telers vinden dat zware lössgrond alleen na wintervoorploegen goed en voldoende diep verweert om bijvoorbeeld kluitvrije aardappelruggen te kunnen maken; bij niet kerend bewerkte grond is deze op enige diepte nog lang te nat ⁽¹⁰⁾ en worden bij het kopeggen en later bij het aanaarden kluiten gevormd en wordt de grond tussen de ruggen versmeerd. Het gebruik van de frees (multivator) en het aanfrezen van de ruggen om de grond toch fijn te krijgen leidt volgens de telers tot onvoldoende doorlatendheid tussen en onder de ruggen omdat niet diep genoeg gefreesd kan worden. Frezen kan bovendien leiden tot een te fijne en daardoor slempgevoelige grond in de ruggen. Door kluiten in de ruggen en een te vaste ondergrond ontstaan bij het rooien kluiten, die moeilijk van de aardappels gescheiden kunnen worden. Onvoldoende verweerde grond kan ook een probleem zijn bij het maken van een (fijn) zaaibed voor fijnzadige gewassen.

Erosiegevoeligheid bij ruggenteelten

Bij de pootbedbereiding en het aanaarden van aardappelen worden gewasresten of mulchmaterialen verdeeld in de ruggen. De bodembedekking van de ruggen is daarom minimaal en de erosiebestrijding is vaak niet voldoende ⁽¹⁰⁾. Ongeacht of bij de hoofdgrondbewerking geploegd of niet-kerend bewerkt is en of een groenbedekker is geteeld, is er daarom erosiegevaar in de periode na het poten en het aanaarden/aanfrezen van de ruggen. Op dat moment is de grond praktisch onbedekt, stroomt het regenwater met sediment van de ruggen af, concentreert zich tussen de ruggen en stroomt met nog grotere erosiekracht de helling af. Bij peen en witlof zijn de problemen vergelijkbaar.

Erosiegevoeligheid van fijne zaaibedden

Voor de teelt van fijnzadige gewassen is een fijn zaaibed nodig. Bij uien wordt op dit moment al veel niet-kerend bewerkt. Alleen op de zwaardere gronden levert dit soms problemen op met het voldoende fijn maken van de grond omdat de grond niet goed verweerd is. Dit zal voor witlof en peen ook gelden. Bij wintervoor-ploegen was de zaaibedbereiding voor fijnzadige gewassen geen probleem.

Resten van gewas of groenbemesters zijn over het algemeen geen groot probleem omdat de grond bij het zaaiklaar maken zo intensief bewerkt wordt, dat er aanzienlijke vermenging van de gewasresten en groenbemesters door de grond plaatsvindt. Er is dan zoveel fijne grond dat het zaaien van fijne zaden geen problemen oplevert. We moeten ons echter realiseren dat in dat geval de bodembedekking wel te wensen over zal laten.

Wintervoorploegen op de zwaardere löss lost de problemen om de grond fijn genoeg te krijgen op, maar verplaatst het erosieprobleem naar de periode direct na zaai. Na ploegen is het eenvoudig om een fijn zaaibed te maken. Het dan gevormde zaaibed is echter erosiegevoelig. Dit probleem speelt vooral bij uien, witlofpennen en peen. Deze teelten moeten wel mogelijk blijven op de lössgrond.

Erosiegevoeligheid van mulchvrije zaaibedden

Bij de teelt van groenten op contract worden soms hoge eisen gesteld aan maatregelen om ziekten te voorkomen. Afnemers stellen soms als eis in hun contracten dat gewasresten compleet ondergewerkt moeten worden om overdracht van ziekten tegen te gaan. Om dit te garanderen is ploegen de aangewezen bewerking. Het is op dit moment niet duidelijk op welke schaal dit voorkomt, hoe hard deze eisen van de afnemers zijn en bij welke gewassen het speelt.

Bodemverdichting in NKG systeem

Vanuit de praktijk komen geluiden, ook vanuit de hoek van de overtuigde niet-kerende grondbewerkers, dat ploegen eens per vier à vijf jaar noodzakelijk zou zijn omdat de grond met alleen niet-kerende bewerking toch te vast zou worden. Een goede bodemstructuur kan bij toepassing van ploegloze teelttechnieken alleen bereikt worden als een aantal basisregels in acht genomen worden, zoals: niet te veel hakvruchten, geen onnodige werkgangen, bodemdrukken zo laag mogelijk, losbreken als de bodem het toelaat, werktuigen correct afstellen⁽³²⁾. Als deze regels niet nageleefd worden zou op middellange termijn de bodem steeds dichter en ondoorlatender worden met o.a. als gevolg een slechte beworteling. Deze achteruitgang van de bodemstructuur en de noodzaak om te ploegen na toepassing van een aantal jaren NKG kon niet met onderzoeksresultaten onderbouwd worden. In dit verband is zeker de vraag relevant of niet-kerend bewerken in combinatie de naleving van een aantal praktische basisregels op lössgrond op langere termijn zal kunnen leiden tot een gunstige bodemstructuur met veel bioporiën, zoals vaak beschreven is voor andere grondsoorten in de literatuur. Deze vraag kan wellicht meegenomen worden bij het onderzoek naar de invloed van éénmalig ploegen op de bodemstructuur die aanwezig is na langjarig niet-kerend bewerken (dit effect wordt bestudeerd in werkgroep 3 door de Bodemkundige Dienst van België) en het onderzoek naar maatregelen om bodemverdichting te voorkomen (studie van de Katholieke Universiteit van Leuven, werkgroep 3).

3 Alternatieve erosiewerende maatregelen

Voor alternatieve maatregelen om erosie te bestrijden in combinatie met ploegen gelden dezelfde principes als voor NKG: bedekking van de bodem, verhogen van de bodemstabiliteit en vergroting van de waterberging (zie ook kader in hfdst. 1). In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens voor elk principe de gevonden maatregelen genoemd.

3.2 Bodembedekking

3.2.1 Groenbedekking in de winter

Inzaai van een groenbemester in het najaar gebeurt normaal tot ongeveer 1 oktober, in een grond die niet-kerend, met een cultivator of woeler, opgetrokken is na een vroege oogst. Deze werkwijze voorziet in maximale erosiewering in de winter door bedekking van de grond met gewasresten en een groenbemester en is algemeen geaccepteerd. Er is daarom geen reden om vóór 1 oktober ploegen als stoppelbewerking te overwegen, in plaats van cultivateren of woelen.

Op de zwaardere gronden kan de niet-kerend bewerkte grond met een groenbemester op het veld in het voorjaar langer nat blijven. Dit is ongunstig voor de bewerkbaarheid en kan bij te nat bewerken in het voorjaar leiden tot de vorming van kluiten die na opdrogen niet meer klein te krijgen zijn. Vooral bij de toediening van mest in het voorjaar worden problemen gemeld (pers. comm., Crijns, DLV Plant). In dit geval zal men de grond graag op wintervoor willen ploegen om deze te laten verweren. Na wintervoorploegen is groenbedekking geen optie (uitgezonderd wintergewassen) omdat het dan te laat is om nog een goed gewas te ontwikkelen en omdat het vermoedelijk de verwerking van de grond stoort.

3.2.2 Strodek na zaaien of poten

Mais en suikerbieten

Onderzoek is gedaan naar de erosieremmende werking van het aanbrengen van een strodek na het zaaien van maïs en suikerbieten op geploegd land⁽⁸⁾. Vergeleken met het maken van een onbeschermd zaaibed na ploegen bleek het aanbrengen van een strodek minstens even effectief te zijn als NKG met groenbedekking, d.w.z. inzaai in een in het najaar ingezaaide bodembedekker (rogge of gele mosterd).

In het erosienormeringsonderzoek wordt ervan uitgegaan dat (plaatselijke) bedekking met stro in het voorjaar het gemiddelde bodemverlies met ca. 85% reduceert ten opzichte van een onbeschermd zaaibed bij een maatgevende bui met een herhalingstijd van 2 jaar⁽⁵⁾. Een goede methode om het stro te verspreiden was toen niet voorhanden en de kosten werden daarom voorlopig geraamd op ca 450 €/ha⁽³³⁾.

Zeer effectief tegen erosie is het opbrengen van 2 ton/ha grof gehakseld stro, eventueel licht ingewerkt⁽¹⁰⁾. Er moet worden voorkomen dat het opbrengen van stro gepaard gaat met extra wielsporen en daarmee gepaard gaande verdichting. Het blazen van stro over het veld vanaf de

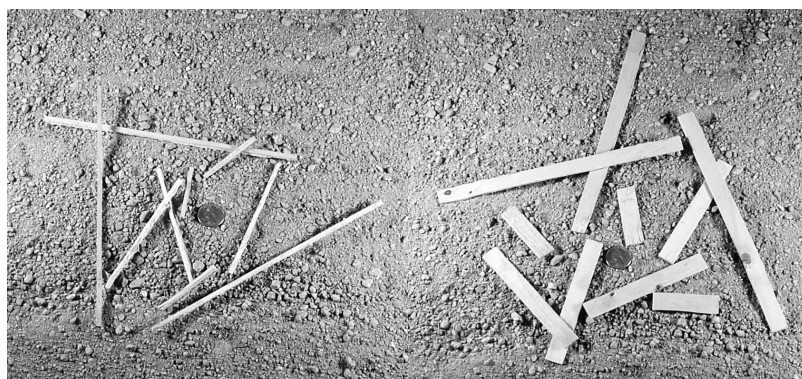
suitsporen of combinatie met een andere bewerking verdient daarom de voorkeur. In de praktijk bleek het aanbrengen van het stro op het veld nogal wat praktische problemen op te leveren ⁽¹⁰⁾.

Aardappelen

Bij toediening van stro vóór het aanaarden bleek het moeilijk te zijn om een goede rug te vormen ⁽⁹⁾. Bovendien spoelde de bodem gemakkelijk van de rug af omdat het minder houvast heeft. De erosie wordt daarom minder effectief tegengegaan. Een strodek van circa twee ton stro per hectare na aanaarden bleek wel perspectiefvol en praktisch uitvoerbaar te zijn. Het gaat erosie effectief tegen. Het bodemverlies was 75% minder en de waterafvoer was 95% minder dan bij gangbaar (25 cm diep spitten en ruggen frezen). De toepassing van een plaatselijk strodek wordt dan ook als zeer effectief gewaardeerd ⁽¹⁾. De opbrengst werd er niet nadelig door beïnvloed. Een nadeel is wel de benodigde arbeid en kosten voor het aanbrengen van een strodek. Toediening van een strodek is door de praktijk nooit als een praktisch toepasbare optie gezien.

3.2.3 Houten minilatjes

Experimenten zijn uitgevoerd met 3-4 mm dikke houten minilatjes (Figuur 1), gemaakt van fineer-afval ⁽⁷⁾. Dergelijke latjes zouden echter ook van laagwaardig snoeihout gemaakt kunnen worden. Het onderzoek vond plaats in een laboratorium-proefopstelling waarin afstroming en erosie gemeten werd.



Figuur 1. Beproefde minilatjes voor erosiebestrijding ⁽⁷⁾, 3-4 mm dikte, met lengtes van 240, 120 en 60 mm en breedtes van 4 mm (links) en 16 mm (rechts).

Bij een bedekkingsgraad van 70% op een helling van 30% was de erosiebestrijding door de minilatjes 98%, net zo goed als bij 70% bedekking met stro. Een snelle berekening leert dat bij een bedekkingsgraad van 70% en latjesdikte van 3 mm ruim 21 m³ hout per ha nodig zou zijn en, losgestort, waarschijnlijk het dubbele volume. Vertaling van deze resultaten naar minder steile hellingen in de praktijk is lastig. Als we aannemen dat in deze situatie 10-20% bedekking voldoende effect zou sorteren zou 4 m³ hout per ha nodig zijn. In vergelijking met stro, waarvoor een hoeveelheid vanaf 2 ton/ ha al effectief is ⁽¹⁰⁾, lijkt het gebruik van minilatjes niet direct aantrekkelijk, hoewel de verspreiding over het veld praktisch gezien vermoedelijk eenvoudiger zal zijn. De gezondheidsrisico's van het gebruik van houten latjes (splinters) zullen in veel gewassen aanzienlijk zijn. Mogelijk bieden houten minilatjes perspectief voor plaatselijke toepassing op erosiegevoelige plekken, in een gewas dat niet voor directe consumptie bestemd is.

3.2.4 Tijdelijke onderzaai

Bij tijdelijke onderzaai wordt direct voor het zaaien van een gewas met langzame beginontwikkeling in rijencultuur een snelgroeiend gewas gezaaid, bijvoorbeeld een zomergraan⁽³⁾. Zo wordt de bodem tijdig beschermd tegen verslemping en erosie ten gevolge van intensieve neerslag in het voorjaar. Zodra concurrentie gaat optreden met het hoofdgewas, d.w.z. ongeveer 6 weken na zaaien wordt het ondergezaaide gewas met herbicide doorgespoten. Het ondergezaaide gewas biedt voor en na doodspuiten bodembedekking. Omdat de onderzaai relatief laat plaatsvindt is de reductie van afstroming en erosie minder dan bij zaaien in een mulch. Wel stabiliseren de graanwortels de bodem zodat de grond bij intensieve regenval minder verslempd. Bij een beregeningsonderzoek op sterk geërodeerde löss stroomde bijvoorbeeld bij een bui van 70 mm 12% van de neerslag af vergeleken met 36% afstroming zonder onderzaai.

Omdat in suikerbieten mogelijk 7% opbrengstderving te verwachten is en vanwege een hoger verbruik van herbicide zijn de kosten hoog, ongeveer 400 €/ha⁽³⁾. Als een wat groter areaal suikerbieten ingezaaid wordt om het opbrengstverlies te compenseren kunnen de kosten mogelijk verminderd worden tot ca. 140 €/ha.

Omdat zich voor maïs en suikerbieten feitelijk geen knelpunten voordoen in de toepassing van NKG, is een mulch van gewasresten of een groenbedekker te verkiezen boven tijdelijke onderzaai. Onderzaai kan echter ook bij NKG toegepast worden indien te weinig gewasresten aanwezig zijn.

3.2.5 Zaaien bij nauwe rijafstand

Door te zaaien bij een nauwe rijafstand is de verdeling van de planten over de akker gelijkmatiger en wordt eerder sluiting van het gewas bereikt⁽¹⁰⁾. Dit kan vooral van belang zijn voor gewassen met een trage beginontwikkeling zoals maïs. Resultaten van experimenten waarin het erosiebestrijdende effect van zaaien bij nauwe rijafstand werd geëvalueerd zijn niet aangetroffen.

3.2.6 Mow-plow

Voor de teelt van wintertarwe in het droge Columbia plateau in de VS (silt loam) wordt gangbaar geploegd met de risterploeg in het najaar, waarna een heel jaar met zomerbraak volgt waarin de grond regelmatig ondiep bewerkt wordt om onkruid te bestrijden en ziekten tegen te gaan. In het najaar wordt dan wintertarwe gezaaid. Deze werkwijze geeft goede opbrengsten, maar veroorzaakt ook aanzienlijke erosie. Niet kerend bewerken wordt niet breed toegepast wegens onkruid- en ziekteproblemen. Voor deze situatie is het mow-plow systeem ontwikkeld⁽³⁷⁾. Bij dit systeem wordt de graanstoppel voor de risterploeg uit gemaaid (één of twee werkgangen) en wordt het gemaaide weer teruggebracht bovenop de ploegvoren. Het effect van het Mow-plow systeem (2 niveaus van residu toediening, 23% en 36% bedekking), (rister)ploegen en NKG (chisel plough) op runoff en erosie werd onderzocht in experimenten met gesimuleerde regenval. De verschillende methoden hadden geen invloed op de runoff (van opdooiende grond), maar wel op erosie. De chisel plough gaf steeds de minste erosie (gem. 0,48 t/ha.uur), gevolgd door de mow-plow-36% (gem. 0,57 t/ha.uur), de mow-plow-23% (gem. 1,51 t/ha.uur) en de (rister)ploeg (gem. 1,90 t/ha.uur). De erosie bij de mow-plow-23% en de risterploeg waren echter niet significant verschillend. Onder de omstandigheden op het Columbia plateau kon met de mow-plow in het algemeen 20% bedekking bereikt worden, terwijl 30% nodig zou zijn om een goed effect te geven.

Voor de lössgronden in het projectgebied is een jaar braken niet aan de orde, maar het principe van de mow-plow, maaien en verspreiden over de ploegvoren, zou overwogen kunnen worden na de teelt van tarwe of korrelmaïs indien er ook andere redenen zijn om direct na de oogst van deze gewassen te willen ploegen. Mogelijk kan het mow-plow principe ook gebruikt worden in combinatie met een ingezaaide groenbemester, bijvoorbeeld een goed ontwikkelde groenbemester tijdens het wintervoerploegen.

3.3 Stabiliteit van de grond

3.3.1 Ondiep ploegen

Bij ploegen worden de aanwezige gewasresten, onkruiden en eventuele groenbemester onder in de bouwvoor gebracht. Bij niet kerende grondbewerking worden deze in het bovenste deel van de bouwvoor gemengd en blijft een redelijk deel van de organische resten aan het bodemoppervlak aanwezig. Een tussenvorm tussen ploegen en niet kerende grondbewerking is het ondiep ploegen. Hierbij blijven de gewasresten en de intensief bewortelde top laag ook meer bovenin het bodemprofiel dan bij diep ploegen, waardoor een stabielere top laag verkregen wordt. Voor de ecoploeg wordt geschat dat voor een volledige bedekking van onkruiden en gewasresten een ploegdiepte van minimaal 12 cm nodig is ⁽¹⁷⁾. Hieruit valt af te leiden dat er bij ploegdiepten tot 12 cm nog een zekere bodembedekking te verwachten is. De hoeveelheid organisch materiaal dat aan het oppervlak blijft liggen is echter beperkt in vergelijking met niet kerende grondbewerking.

In de praktijk is ervaring opgedaan met tot 12 cm diep ploegen na suikerbieten, gevolgd door de inzaai van wintergraan. De oppervlakkige verslemping was veel minder in vergelijking met normaal ploegen. Daarnaast is ervaring opgedaan met de inzaai van wintergerst na wintertarwe. In dat geval werd de tarwestoppel met verhakseld tarwestro ondiep geploegd. Vervolgens werd een groenbemester ingezaaid. Deze werd voor de inzaai van wintergerst weer ondiep geploegd. Op deze manier waren er resten van het stro en groenbemester op het oppervlak aanwezig en ontstond een vergelijkbare situatie voor bodemleven en verslemping als bij niet kerende grondbewerking. Over de effectiviteit van ondiep ploegen als maatregel voor bestrijding van erosie en wateroverlast is geen kwantitatieve informatie gevonden.

3.3.2 Niet te fijn zaaibed

Algemeen bekend is dat zaaibedden niet te fijn gemaakt moeten worden om de kans op verslemping tegen te gaan ⁽²⁵⁾. Door zoveel mogelijk relatief stabiele aggregaten intact te laten houdt de grond weerstand tegen inslaande regendruppels en wordt korstvorming zo lang mogelijk uitgesteld. Daarnaast zal meespelen dat de waterberging aan het oppervlak van de bodem toeneemt met de ruwheid van de grond. De bodemruwheid is in het algemeen groter bij grove zaaibedden dan bij fijne. Kwantitatieve gegevens over het verband tussen de ruwheid van het zaaibed, de snelheid waarmee de bodem dichtslaat en de waterberging aan het oppervlak zijn erg schaars. Er werden alleen resultaten van afspoelingsproeven in wintertarwe gevonden, waarin een grof en een fijn zaaibed, in beide gevallen gemaakt na ploegen, vergeleken werden ⁽²³⁾. Bij dit onderzoek waren de gemeten verschillen tussen een grof en een fijn zaaibed op de oppervlakteberging en de afspoeling zeer klein. Het verschil in waterberging was maximaal enkele tienden van millimeters. Omdat de stabiliteit van het zaaibed niet alleen afhangt van de intensiteit van bewerken (doorsnijdingsintensiteit en aantal keer bewerken), maar ook van de

omstandigheden waaronder gewerkt werd en de grondsoort is uit slechts één resultaat geen algemene conclusie te trekken. Geconcludeerd moet worden dat over het effect van het toepassen van een grof zaaibed na ploegen als alternatieve maatregel voor NKG (gewasresten in het zaaibed en/of mulchen) zijn onvoldoende kwantitatieve gegevens bekend. Wel is algemeen bekend dat zaaibedden gemaakt na NKG stabiel zijn dan zaaibedden gemaakt na ploegen.

3.3.3 Dubbelzaaien

De stabiliteit van de grond kan verhoogd worden door beworteling. De weerstand tegen erosie neemt exponentieel toe met bewortelingsintensiteit^(21, 12). Voor de effecten van vegetatie op erosie is de bedekking van de bodem de meest bepalende factor voor bestrijding van spaterosie terwijl de beworteling van de grond tenminste even belangrijk is voor bestrijding van geulerosie⁽¹²⁾. Een toepassing van dit principe is het dubbelzaaien van granen op veldlocaties waar afstromend water zich kan concentreren⁽¹³⁾. Door het dubbelzaaien is de beworteling ter plaatse intensiever en de weerstand tegen erosie groter. Mits het bovenliggende 'stroomgebied' niet groter is dan ca. 0,75 ha. bleek dubbelzaaien in granen effectief om geulerosie op daarvoor gevoelige percelen tegen te gaan. Het onderzoek gaf de indicaties dat 1) de reductie in bodemverlies in vergelijking met enkel zaaien gemiddeld 25% is en maximaal 40% kan zijn en 2) de kosten per ha lager zijn dan € 10.

3.3.4 Herfstruggen voor aardappelen

Geprobeerd is⁽⁹⁾ om in het voorjaar een stabielere aardappelrug te realiseren door de ruggen al in de herfst te maken en in te zaaien met een niet winterharde groenbemester (gele mosterd). In het voorjaar werden de aardappelen in de bestaande rug gepoot met behulp van een aangepaste pootmachine, met gekartelde schijven die een pootgeul in de rug sneden. De ruggen werden niet aangeard. Het bodemverlies door erosie na het potten was meer dan 70% minder dan bij de gangbare teeltwijze. Een probleem bij herfstruggen was de praktische uitvoerbaarheid; voor herfstruggen was een dussdanige aanpassing aan mechanisatie nodig dat dit object op korte termijn niet als redelijk alternatief werd gezien. De aardappelopbrengst was ca 10% lager dan bij gangbare teelt. Deze methode is feitelijk geen alternatief voor NKG, maar een andere wijze van toepassing van NKG.

Herfstruggen kunnen op twee manieren gemaakt worden⁽¹⁸⁾. Bij de eerste methode wordt de bodembedekker ingewerkt bij het maken van de ruggen. Dit kan alleen als de bodembedekker zeer vroeg is ingezaaid zodat voldoende mulchmateriaal aanwezig is om de ruggen tegen erosie te beschermen. Als problemen noemt hij het risico van te natte bodemomstandigheden in het najaar en het lang nat blijven van de ruggen in het voorjaar. De tweede methode is het maken van de ruggen vroeg in de herfst en daarna de bodembedekker op de ruggen inzaaien. Het risico hiervan is dat de bodembedekker niet goed genoeg ontwikkeld en dat het onkruid de overhand krijgt. Op kleigrond in Nederland werden dezelfde genoemde problemen ervaren bij het maken van herfstruggen⁽³⁴⁾. Tenslotte wordt er ook op gewezen dat de arbeidsbehoefte voor het maken van herfstruggen groot is⁽¹⁸⁾.

3.3.5 Toedienen organische stof en kalk

Organische meststoffen dienen als voeding voor bodemorganismen en bevorderen het bodemleven. Dit kan leiden tot stabilisatie van de bodemstructuur door regenwormen. De verteerde, moeilijk afbreekbare restanten van organische mest dragen als humus bij aan de stabilisatie van de bodem. Bekalking verhoogt de stabiliteit van de grond door chemische en biologische reacties in de grond. De gezamenlijke maatregelen zorgen ervoor dat de bodemaggregaten stabiel worden, wat leidt tot minder slomp- en verdichtingsgevoeligheid en ook tot een betere infiltratie van water in de grond ⁽³⁾. Hoewel de intrinsieke eigenschappen van de bodem mede de erosiegevoeligheid bepalen is de gesteldheid van het bodemoppervlak (ruwheid, korstvorming, bedekkingsgraad) de meest bepalende factor voor het optreden van erosie ⁽²⁰⁾. Het toedienen van organische stof en kalk (naar behoefte) wordt daarom niet gezien als een alternatief voor NKG, maar als algemene maatregel om de bodemstructuur te verbeteren, zowel bij NKG als bij ploegen.

3.3.6 Synthetische bodemstabilisatoren en papiercellulose

Al vanaf 1950 is geprobeerd om met synthetische bodemstabilisatiemiddelen het topplagje van de grond te stabiliseren om de infiltratie te vergroten en verslemping en erosie tegen te gaan. Door middel van regensimulatieproeven ⁽¹⁴⁾ is aangetoond dat stabilisatie van de bovenste 2 cm van een lössgrond met het stabilisatieproduct Uresol (polyurea) een enorme verbetering gaf in de infiltratiesnelheid. Bij een gesimuleerde neerslag van 50 mm in 2,5 uur infiltreerde praktisch alle neerslag in de gestabiliseerde topplagje en ruwweg de helft daarvan in de niet gestabiliseerde topplag. De toepassing was echter te duur voor toepassing in de landbouw. Ook als de bodem erg nat is leidt behandeling met polymeeremulsies leidt tot stabiele aggregaten ⁽⁶⁾. Buiten de landbouw (wegenbouw) worden wel polymeeremulsies gebruikt voor erosiebestrijding tijdens de kieming van ingezaaid gras op taluds (hydroseeding).

Papiercellulose wordt gebruikt voor stuifbestrijding. Stesam, een vloeibaar product met een ds gehalte van 8% (van de Stelt, Beverwijk), wordt daartoe gebruikt in een hoeveelheid van 12,5 ton/ha. De kosten voor toediening van Stesam voor stuifbestrijding zijn € 200 - 300 per ha. Het wordt verspreid met bijvoorbeeld een spuitboom ⁽¹⁶⁾. Volgens de fabrikant is Stesam niet erg geschikt voor bestrijding van watererosie omdat het middel weer zacht wordt als het nat wordt. Stesam, gemengd met compost, wordt ook wel gebruikt voor hydroseeding op taluds in de wegenbouw. Het middel is dan vooral bedoeld om het zaad te verspreiden en op zijn plek te houden. De kosten hiervan zijn € 2000 - 3000 per ha. De ervaring is hierbij dat bij hevige regen direct na inzaai wel watererosie op gaat treden.

In het algemeen zijn deze middelen te duur voor landbouwkundig gebruik, maar kunnen ze in speciale gevallen toepassing vinden. Misschien is toepassing van bodemstabilisatie haalbaar voor fijnzadige gewassen en groenten met een hoog saldo per ha.

3.4 Vergroting waterberging aan het oppervlak

3.4.1 Contourbewerken

Contourbewerken is het bewerken van de bodem parallel aan de hoogtelijnen, d.w.z. loodrecht op de richting van de helling. Omdat precies volgens de hoogtelijnen werken vaak onpraktisch is, wordt ook wel volstaan met dwarsbewerking, d.w.z. in de richting waarin het perceel gemiddeld de kleinste helling heeft ⁽³⁾. De maatregel heeft tot doel om te vermijden dat kleine stroomkanaaltjes gevormd worden (bijv. wielsporen, zaaivoren) waarlangs het water makkelijk zijn weg hellingafwaarts vindt ⁽¹⁰⁾. Contourbewerken en dwarsbewerken leidt tot ruggertjes dwars op de helling, die afstromend water tegenhouden. Bij veel neerslag bestaat het risico dat de gevormde ruggertjes gaan doorbreken onder druk van het opgestuwde water. Dit risico is groter naarmate de helling steiler is. In de praktijk wordt contourbewerking daarom niet toegepast op hellingen die steiler zijn dan 8%. Op kleine (< 0,5 ha) of smalle percelen (breedte dwars op de helling < 100 m) is contourbewerking niet zinvol in verband met tijdverlies en het ontstaan van meer kopakker ⁽¹⁰⁾. Genoemd wordt ⁽³⁾ de praktische beperking dat bunkerrooiers voor bieten en aardappelen niet dwars op de helling ingezet kunnen worden bij hellingen groter dan 15%. Dit zal in de praktijk echter niet beperkend zijn omdat contourbewerking dan niet toegepast wordt.

Contourbewerken en dwarsbewerken zijn alleen effectief indien in het perceel geen stroombaan (thalweg) aanwezig is. Met ander woorden: de helling moet vrij eenvormig zijn. Indien een thalweg aanwezig is, is contourbewerking moeilijk uitvoerbaar. Bovendien leidt de aanwezigheid van een thalweg ertoe dat water via stroming langs de ruggertjes samenkomt in één punt en daar begint af te stromen. De kans op ravijnvorming is dan aanwezig. Het bodemverlies dat hierbij optreedt is minstens even groot als het bodemverlies door geulvorming op een akker bewerkt in de richting van de helling.

Volgens LISEM berekeningen ⁽³⁾ is het mogelijk om door dwarsbewerking de erosie met 25% te verminderen ten opzichte van werken in de hellingsrichting. De kosten van dwarsbewerking hangen sterk af van de vorm en afmetingen van het perceel en lopen van 10 €/ha tot 76 €/ha. Gemiddeld liggen de kosten op 41 €/ha. Hoe groter de bewerkingslengte, hoe lager de kosten.

3.4.2 Kuiltjespatroon aan het oppervlak

De aqueel rol van Simba brengt een kuiltjespatroon aan in het grondoppervlak in het zaaibed. Hierdoor vindt afstroming minder snel plaats ^(26, 10). Op de website van Simba worden onderzoeken in UK en USA genoemd. Claims zijn o.a. dat de ruwheid die de roller achterlaat vergelijkbaar is met de ruwheid na ploegen en dat door de ruwheid een extra waterberging van ca. 19 mm neerslag aan het oppervlak beschikbaar is. Hierdoor zou maximaal een bui van 19,8 mm in één uur geborgen kunnen worden, wat statistisch gezien in Europa eens per 5 jaar voorkomt ⁽²⁹⁾.

De roller is in Nederland in de praktijk uitgetoet. De ervaringen waren dat de gemaakte kuiltjes bijna volledig verdwenen als er daarna ingezaaid werd (pers. comm., Crijns, DLV Plant). De indruk bestaat dan ook dat zaaien en rollen in één werkgang zouden moeten gebeuren om een kuiltjespatroon te realiseren, afgestemd op de afstand tussen de planrijen. Een potentieel nadeel

van het realiseren van een kuiltjespatroon is dat de grond waarschijnlijk dieper dan normaal bewerkt moet worden en dat dus geen ondiep zaaibed meer gemaakt kan worden. E.e.a. zou nog een keer onderzocht moeten worden.

3.4.3 Drempels in de geulen tussen ruggen

In 2000 bleken lage drempeltjes in de geulen tussen de aardappelruggen de afstroming enigszins tegen te gaan maar vooral het bodemverlies te beperken ⁽⁹⁾. In 2001 en 2002 werd een verbeterd prototype drempelvormer ingezet, opgebouwd op een frees. Opnieuw bleek dat drempels in de geulen de afstroming van zowel water als meegevoerde grond effectief tegengaan. Het resultaat werd nog verbeterd als de ruggen niet te fijn waren, niet te veel in elkaar gedrukt waren en de geulen niet verdicht waren, bijvoorbeeld als gevolg van berijding.

In het interregproject erosiebestrijding werd beperkt gemeten aan de afstroming bij aardappeldrempels. Gekeken werd naar de afstand waarover bovengrondse afstroming plaats vond, gemeten vanuit één punt met een constant debiet ⁽¹¹⁾. Uit de metingen bleek dat de afstand bij aardappeldrempels kleiner was dan voor de reguliere aardappelruggen. De conclusie was dat deze techniek potentie biedt om erosie te verminderen, maar dat meer gegevens nodig zijn om dat te kunnen beoordelen.

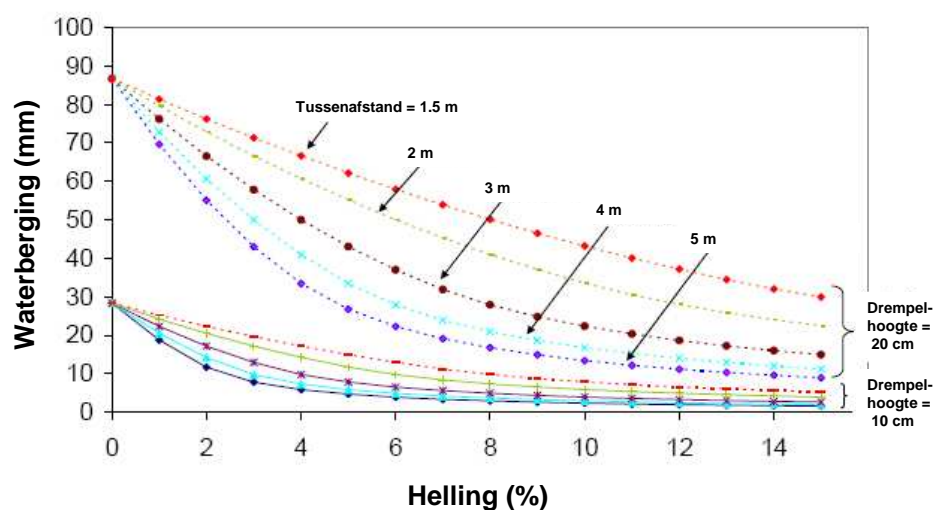
In Duitsland werden eveneens drempels gemaakt met een prototype drempelvormer ⁽³⁾ (Figuur 2). Bij beregeningsproeven met gesimuleerde neerslag van 50 tot 100 mm/uur stroomde bij toepassing van aardappeldrempels in dwars op de hellingrichting lopende ruggen nagenoeg geen water af. Zonder aardappeldrempels stroomde 14% tot 52% van het water af. De variabele kosten van de machine waren 13€ - 16€ per hectare. Daarbovenop komen nog vaste afschrijvingskosten van het prototype van ongeveer 190 €/ha. De afschrijvingskosten kunnen bij serieproductie en betere benutting nog aanzienlijk lager worden.



Figuur 2. Duitse machine voor het maken van drempels tussen aardappelruggen. Bron: ⁽³⁾.

In Figuur 3 wordt weergegeven hoeveel mm water oppervlakkig geborgen kan worden bij toepassing van drempels tussen 20 cm hoge aardappelruggen in de richting van de helling, afhankelijk van de hoogte van de drempels, de tussenafstand van de drempels en de helling ⁽²³⁾. Hierbij werd nog geen rekening gehouden met de infiltratie van water in de grond. Als voorbeeld kan 18 mm water geborgen worden bij een helling van 4%, een drempelhoogte van 10 cm en een drempelafstand van 1,5 m en 40 mm bij 4% helling, drempelhoogte 20 cm en drempelafstand 4 m.

Behalve de hierboven genoemde theoretische benadering werden ook proeven met kunstmatige beregening gedaan op zandige leem ⁽²³⁾ in 2005 en 2006 (Figuur 4). In de twee proefjaren werden verschillende locaties en machines gebruikt. Helaas is onbekend wat de tussenafstand tussen de drempels was. De hellingen waren in 2005 2-3 % en in 2006 3-4%. De proeven werden gedaan in een geul waarin ook de trekkerwielen gelopen hadden bij het ruggenfreen, ontstenen (uitzeven) en poten. De behandelingen en resultaten zijn weergegeven in tabel 1.



Figuur 3. Waterberging aan het oppervlak bij toepassing van drempels tussen aardappelruggen in relatie tot drempelhoogte, tussenafstand van de drempels en de helling. Bron: ⁽²³⁾.



Figuur 4. Regenvals simulatie in aardappelruggen met drempels. Bron: ⁽²³⁾.

Tabel 1 Beregeningsvarianten en afstroming bij gesimuleerde regenval op een veld met aardappelen op ruggen, met en zonder drempels.

Jaar	2005				2006				
	C *)	C	D	D	C	C	D	D	D
Regenintensiteit (mm/u)	22,0	24,0	28,7	23,8	56,4	67,9	55,0	51,1	51,8
Regenduur (minuten)	123	111	125	162	108	116	121	116	116
Neerslag in voorafgaande 48 uur (mm)	0	49	0	18	0	0	0	0	37
Gemiddelde drempelhoogte (cm)			4,5	5,7			8,5	5,8	4,5
Berekende berging (mm)			8,2	12,4			20,2	10,0	5,9
Berging tot eerste afstroming (mm)	3	< 3	27	36	1,8	3,2	23,1	6,8	10,2
Berging tot overloop alle drempels (mm)			33	46			23,1	23,8	11,9
Afstroming na 25 mm regen (mm)	7,0	14,1	0,0	0,0	7,2	4,6	0,5	2,8	5,4
Afstroming na 40 mm regen (mm)	15,8	26,7	5,0	1,1	12,3	8,7	8,7	7,2	13,8

*) C = conventioneel; D = drempels.

In 2005 was de gekozen neerslagintensiteit vrij laag voor een zomerbui onder onze omstandigheden ⁽⁵⁾. De resultaten bij een bui van 25 mm met een intensiteit van 50-55 mm/u, zoals in 2006 gemeten, komen nog het beste overeen met de zomerbui met een herhalingsstijd van 25 jaar zoals in het erosie-normeringsonderzoek als vergelijkingsbasis werd gebruikt (23,6 mm neerslag in 20 minuten, gem. intensiteit van 71 mm/u). Bij een drempelhoogte van 8,5 cm was de afstroming na 25 mm regen zeer beperkt (0,5 mm). De verwachting is daarom dat op hellingen tot 4% door middel van goede aardappeldrempels van 10 cm hoogte 100% erosiebestrijding mogelijk zal zijn voor een zomerbui die eens per 25 jaar voorkomt. Een verminderde afspoeling van sediment werd wel visueel waargenomen, maar werd helaas niet gemeten. Geschat werd dat door de drempels na 100 mm gesimuleerde regen bij een intensiteit van 55 mm/u een sedimentverlies van ca. 40 ton/ha voorkomen kan worden ⁽²²⁾.

In het kader van Interreg Bodembreed zijn in 2009 demostroken met aardappeldrempels aangelegd in Margraten en Mechelen ⁽²⁴⁾. Voor het maken van de drempels werd een door het Franse bedrijf Cottard ontwikkelde machine gebruikt. De gemaakte drempels waren ongeveer 10 cm hoog en de onderlinge afstand was 1,2 m. Doordat op de locaties geen intense regenbuien voorkwamen was de ervaring over het effect van de drempels beperkt. Bij het rooien vormden de drempels een beperkt probleem doordat er met de rooier overheen gereden werd, waardoor de rooidiepte ging variëren. Vooral bij hoge drempels zullen deze dus voor de wielen uit geveld moeten worden.

In 2009 en 2010 zijn in Wallonië proeven uitgevoerd met aardappeldrempels ^(27, 2). De ruggen lagen in de richting van de helling. Ook hier werd de Cottard machine gebruikt. De drempels waren ongeveer 10 cm hoog en hadden een onderlinge afstand van 1.60 m. De afstroming zonder drempels varieerde van 20 - 184 m³/ha gedurende het teeltseizoen. Met drempels was de afstroming 3 - 70 m³/ha. Het sedimentverlies zonder drempels was 53 - 3342 kg/ha als gevolg van de verschillende grondsoorten, hellingen en neerslaghoeveelheden. Het sedimentverlies met drempels varieerde van 3 - 588 kg/ha. Het hoogste sedimentverlies werd gemeten op een veld waar de drempels spoedig na aanleg beschadigd werden door een hevige onweersbui

(herhalingstijd van 110 jaar). Desondanks werd het sedimentverlies op die locatie gereduceerd van 1405 kg/ha tot 588 kg/ha. Op de andere proefvelden hebben de drempels goed stand gehouden tot het einde van het groeiseizoen. De vermindering van de oppervlakteberging doordat de drempels in de loop van het seizoen inzakken werd geschat op 25% voor 'kleine' hellingen en 40% voor 'sterke' hellingen ⁽²⁾. Op één van de percelen was het sedimentverlies ook zonder drempels erg laag. Het betrof hier echter een minder representatief perceel, oud grasland, gewoeld en ruw bewerkt, waarin veel regenwormen voorkwamen. Overlast van de drempels bij het rooien kan vermeden worden door deze vóór de voorwielen met ganzevoetbeitels te breken en vlak te strijken ⁽²⁷⁾.

Het probleem van mogelijk ernstige afstroming en sedimentverlies via spuitsporen wordt door de aanleg van drempels niet opgelost. Door het veelvuldig berijden zijn drempels in spuitsporen niet te handhaven en waarschijnlijk ook niet telkens weer opnieuw te maken.

De kosten van het aanbrengen van drempels worden geschat op 23 €/ha ⁽²⁾.

Voor de omstandigheden in het projectgebied lijkt het aanbrengen van drempels tussen aardappelruggen een haalbare en effectieve maatregel na ploegen, maar ook na NKG indien de mulch onvoldoende bescherming biedt. Aanbevolen wordt om nader onderzoek uit te voeren naar de benodigde hoogte en tussenafstand van de drempels, afhankelijk van de richting van de ruggen (in de hellingsrichting of dwars erop) en de helling, uitgaande van een maatgevende bui met een aanvaardbaar risico op overschrijding.

3.5 Vergroting infiltratie en waterberging in de bodem

Verdichting van de grond door landbouwmachines, interne verslemping of bewerking onder te natte omstandigheden beperkt de waterdoorlatendheid en daarmee de infiltratie van water. Vergeleken met losse grond is verdichte grond daarom gevoeliger voor afstroming, sneller verzadigd aan het oppervlak en daardoor gevoeliger voor erosie. Verschillende maatregelen zijn mogelijk om verdichting tegen te gaan.

3.5.1 Korst breken en schoffelen

Schoffelen in suikerbieten kan effectief zijn om erosie tegen te gaan ⁽²⁵⁾. In de gerapporteerde voorbeelden ging het echter om buien tot 20 mm en lage regenintensiteiten (< 15 mm/u). Verwacht wordt dat het effect van deze eenvoudige maatregel erg klein zal zijn in geval van bijvoorbeeld een zomerbui van 24 mm met een intensiteit van 71 mm/u (herhalingstijd 25 jaar), zoals als maatgevend genomen in het erosienormeringsonderzoek.

Bij schoffelen is er ook het gevaar dat er een los laagje grond op een relatief weinig doorlatende laag grond komt te liggen. Door afstroming over de weinig doorlatende laag kunnen de losse gronddeeltjes dan erg makkelijk meegenomen worden en tot sedimentverlies en ernstige erosie leiden.

3.5.2 Wielsporen lostrekken in het voorjaar

Door de bodemverdichting in wielsporen en de verdiepte ligging daarvan, kan zich hierin water verzamelen dat niet in de bodem kan infiltreren. Hierdoor ontstaat geulerosie ⁽¹⁰⁾. Door na het rijden de grond in de sporen grof op te trekken wordt de infiltratie verbeterd en wordt geulerosie tegengegaan. Hiervoor wordt vaak een triltand- of een vastetandcultivator achter de trekkerwielen gebruikt. Als te ondiep gewerkt wordt of de grond te nat is breekt deze niet goed op en blijft het bedoelde effect achterwege. Deze maatregel kan zowel op niet-kerend bewerkte en geploegde grond toegepast worden. We gaan ervan uit dat deze maatregel waar mogelijk standaard toegepast zal worden.

3.5.3 Diepwoelen

Onder diepwoelen of mengwoelen wordt verstaan een zeer diepe grondbewerking (> 35 cm) om storende lagen in een bodemprofiel op te heffen. In een aantal gevallen kan zo'n bewerking helpen om de doorlatendheid en de buffercapaciteit van de bodem te vergroten. Dit kan alleen helpen als er duidelijk storende lagen in de bodem aanwezig zijn en als na de bewerking ook de oorzaak van het ontstaan van de storende laag, bijvoorbeeld zware belasting van de bodem, weggenomen wordt.

Door de instabiliteit van lössgrond wordt verwacht dat een verbetering van de doorlatendheid en de buffercapaciteit door diepwoelen van korte duur zal zijn tenzij de bodembelasting vermindert en tevens de vorming van bioporiën gerealiseerd kan worden in de periode na diepwoelen.

In Duitsland zijn er voorbeelden dat mengwoelen kan leiden tot bodemverbetering door verrijking van de bouwvoor met klei uit de ondergrond ⁽³⁾. Het humusgehalte van de bouwvoor kan hierdoor echter afnemen. De ervaringen uit onderzoek naar diep mengwoelen in Wijnandsrade in de periode 1960-1970 waren echter niet positief (pers. comm., Crijns, DLV Plant)

3.5.4 Voorkomen van verdichting

Combinatie van bewerkingen

Door combinatie van zaaibedbereiding en zaaien in één werkgang wordt voorkomen dat twee keer sporen in het land gereden worden, dan wel dat twee keer door hetzelfde spoor gereden wordt. Hierdoor wordt verdichting op een deel van het land voorkomen. Het bereden oppervlak is minimaal als tijdens de gecombineerde bewerking ook de sporen van de trekker weer losgetrokken worden. Hiertoe worden wel voorzetwoelers gebruikt die de grond tussen trekker en zaaicombinatie diep losmaken. De voordelen van het combineren van bewerkingen dienen afgewogen te worden tegen het nadeel dat de totale machine zwaarder wordt en dat hierdoor de grond lokaal mogelijk sterker verdicht wordt.

Lage bodemdrukken en vaste rijpaden.

Toepassing van lage bodemdrukken en vaste rijpaden (of spoor synchronisatie) zijn methoden om bodemverdichting tegen te gaan ⁽³⁵⁾. Zorg is echter de lage belastbaarheid van lössgronden. Hieronder wordt een onderzoek besproken waaruit een indicatie af te leiden is over de potentie van lagedrukssystemen en rijpadenteelt op lössgrond.

Voor de continu maïsteelt op lichte lössgrond in Noord China zijn gedurende 5 jaar de effecten vergeleken van grondbewerking, bodembedekking en bodemverdichting⁽³⁶⁾. Referentie hierbij is een traditioneel systeem waarbij de bodem, evenals bij vaste rijpaden, niet noemenswaardig belast wordt. De totale afstroming in 5 natte seizoenen, en het gemeten grondverlies in de eerste twee jaar van het experiment zijn weergegeven in tabel 2. Bedekking van de grond met gewasresten, door deze niet meer af te voeren en niet meer kerend te bewerken, was het meest effectief om sedimentverlies te voorkomen. Bij onbedekte grond was dieper bewerken effectief om het sedimentverlies te verminderen. Verdichting van de grond door spoor aan spoor aanrijden met een voor Europese begrippen zeer lichte trekker had een aanzienlijk negatief effect op het sedimentverlies.

Tabel 2. Effecten van bewerken, berijden en bodembedekking op afstroming en sedimentverlies

Systeem	Bedekking met gewasresten (%)	Bedekking met wielsporen* (%)	Afstroming** 5 yr (mm)	Sediment verlies ** 2 yr (t/ha)
Traditioneel risterploegen 15 cm diep	0	25	157	7.5
Ondiep bewerkt (ganzevoet, 5–8 cm)	70	25	120	2.4
Ondiep bewerkt (ganzevoet, 5-8 cm)	0	25	186	10.4
Niet bewerkt,	70	25	92	1.5
Niet bewerkt,	70	100	158	3.9
Niet bewerkt,	0	100	276	11.6

* 25% = bereiden oppervlak in het groeiseizoen in een rijpadensysteem. 100% = additioneel spoor aan spoor berijden met een trekker (gewicht 3.6 ton) na de oogst.

** Afstroming en sedimentverlies in het natte seizoen.

De effecten van bodembedekking en berijding werden nader onderzocht op een no-till maïsveld met vaste rijpaden door middel van een experiment met neerslagsimulatie. Door 5 jaar niet berijden en no-till was de bodem op dit veld goed doorlatend. Behandelingen en resultaten zijn in tabel 3 gepresenteerd. Ook in dit geval had het rijden over de lössbodem een zeer negatief effect op de infiltratiesnelheid (steady infiltration) met als gevolg een grotere afstroming.

Uit dit experiment is op te maken dat het wel mogelijk is om op lössgrond een stabiele doorlatende structuur te realiseren door niet over de grond te rijden en de grond niet meer te bewerken. Echter, zelfs met een zeer lichte trekker wordt deze structuur verstoord en neemt de infiltratiesnelheid/waterdoorlatendheid sterk af. De belastbaarheid van de lössgrond was dus erg laag.

Tabel 3. Effecten van berijden en bedekking met gewasresten van onbewerkte lössgrond op infiltratie en waterafstroming tgv een bui met een neerslagintensiteit van 82.5 mm/hr ⁽³⁶⁾.

Bedekking met gewasresten (%)	Berijding	Totaal runoff (mm)	Totaal infiltratie (mm)	Tijd tot runoff (min)	Steady infiltratiesnelheid* (mm/hr)
0	Onbereden	26	7	5	32
30	Onbereden	18	12	11	33
70	Onbereden	14	41	15	38
70	100% bereden, trekker 1.2 ton	43	37	6	5.5
70	100% bereden, trekker 3.6 ton	48	29	5	5.4

* na 40 minuten (in totaal 55 mm regen).

Vergeleken met de situatie bij de proeven in China ⁽³⁶⁾ is de situatie in Europa zeer verschillend. Jaarlijks wordt de grond bij de oogst zwaar belast en dit is voorlopig ook nog het geval bij teelten met het systeem van vaste rijpaden omdat voor veel gewassen geen lagedruk oogstmachines of oogstmachines voor vaste rijpaden beschikbaar zijn. De verwachting is daarom dat het met de huidige praktische mogelijkheden voor lage bodemdruk of vaste rijpaden, op lössgrond voorlopig niet zal lukken om een goed-doorlatende, stabiele structuur op te bouwen door de grond niet meer te bewerken. Het jaarlijks diep lostrekken of bewerken van de grond zal daarom voorlopig nodig blijven. Verdere ontwikkeling van lagedruk machines en het rijpadenteeltsysteem rond de oogst kan mogelijk bijdragen aan het los houden van de grond in het najaar en daarmee aan een verdere vermindering van de grondbewerkingsintensiteit en het tegengaan van erosie.

In het huidige BodemBreed project wordt door de Bodemkundige Dienst van België in het projectgebied gekeken of ploegen op lössgrond die al vele jaren niet-kerend bewerkt werd een terugval betekent van hetgeen in de jaren aan structuur ontwikkeld is. Dit onderzoek is ook interessant omdat de resultaten mede aan zullen geven of met de huidige praktijk van NKG een (gedeeltelijk) stabiele, doorlatende structuur opgebouwd wordt.

De vraag is nu of een systeem met vaste rijpaden of spoor synchronisatie in voorjaar en groeiseizoen toch nuttig kan zijn om erosie te bestrijden op een perceel dat geploegd is, bijvoorbeeld vergeleken met de gangbare manier van werken met combinatie van bewerkingen en lostrekken van de voorjaarssporen. Het systeem is er dan op gericht om de grond na wintervoor- of voorjaarsploegen zo los mogelijk te houden. De specifieke vraag is dan of dit effectief kan zijn om verslemping van de grond tegen te gaan, de infiltratie/waterdoorlatend te bevorderen en het bodemverlies tegen te gaan. Gezien de ervaringen met het belang van bodembedekking en aggregaatstabiliteit voor het tegengaan van afstroming en sedimentverlies, is de verwachting dat alleen het volledig loshouden van de geploegde grond door toepassing van rijpadenteelt geen alternatieve maatregel is die even effectief is als de toepassing van NKG en groenbedekking.

Echter, vooral op zwaardere lössgrond kan rijpadenteelt in combinatie met NKG waarschijnlijk zorgen voor verbeterde erosiebestrijding en betere prestaties van NKG. Deze zwaardere grond wordt liefst in december of januari losgetrokken om te verwerken. Bij de zaai- of pootbedbereiding wordt weer over het land gereden en wil men liever niet met een voorzetwoeler werken om de wielsporen te lossen omdat men dan in relatief natte grond aan het werk is. Bij gebruik van vaste rijpaden wordt een groot deel van het land niet meer in het voorjaar bereden, kan de werkdiepte nauwkeurig gekozen worden tot waar de grond bewerkbaar is en hoeven de trekkersporen niet meer met losse grond opgevuld te worden. Hierdoor kan kluitvorming en structuurverlies onder het zaaibed voorkomen worden en wordt in het voorjaar zo ondiep mogelijk bewerkt zodat een maximum aan mulchmateriaal in het zaaibed aanwezig blijft. Deze combinatie zal waarschijnlijk een goede erosiebestrijding opleveren.

De vaste rijpaden zelf vormen geen groot erosieprobleem zoals bijvoorbeeld de verdiepte wielsporen van het spuiten. De ervaring met vaste rijpaden leert dat de permanente paden na een aantal groundbewerkingen niet meer verdiept liggen, maar op gelijke hoogte als het maaiveld van de onbereden bedden. Water verzamelt zich daarom niet in de sporen, maar zakt weg in de onbereden bedden. Daardoor wordt geulerosie vermeden. In Australië is men ook van mening dat binnen een systeem met vaste rijpaden bewerking en rijden in de richting van de helling de voorkeur geniet boven werken en rijden op de contour^(28, 38). De reden hiervan is dat bij werken langs de hoogtelijnen het afstromende water zich verzamelt op de laagste punten van zaaivoren, eventuele verdiepte wielsporen of verdiepte onbereden bedden en daar gemakkelijk kan overstromen en geulerosie kan veroorzaken.

4 Knelpuntsituaties en mogelijk perspectievolle maatregelen

4.1 Inzaai wintergraan in een nat najaar

Onderzoekresultaten over de afstroming en het sedimentverlies in de winter bij verschillende methoden van grondbewerking/ inzaai van wintertarwe zijn niet bekend en zeker niet voor natte bodemomstandigheden. In Wijnandsrade is wel gedurende twee jaar gemeten aan onder andere najaarsbewerking met de vastetandcultivator (NKG) en ploegen⁽³¹⁾. Uit de gepubliceerde cijfers over dit onderzoek blijkt dat in het ene jaar het bodemverlies in de winter bij ploegen kleiner was en in het andere jaar bij de vastetandcultivator⁽⁵⁾. De inzaai van winterrogge had in het ene jaar een licht positief effect en in het andere jaar een negatief effect vergeleken met alleen cultivateren. Een conclusie over het verschil in erosie bij cultivateren en ploegen kan uit dit onderzoek niet getrokken worden. Duidelijk is wel dat de orde van grootte van de erosie in de winter in beide gevallen gelijk is.

Omdat onder natte omstandigheden bij ploegen en inzaaien de bovenliggende grond minder versmeerd wordt dan bij woelen en inzaaien wordt verwacht dat in dit specifieke geval minder afstroming en bodemverlies zal optreden bij ploegen en inzaaien dan bij cultivateren of woelen en inzaaien. Hierbij is te verwachten dat dit effect sterker zal zijn naarmate ondieper geploegd kan worden. De stelling is dan ook dat voor dit specifieke geval geen extra maatregelen genomen hoeven te worden om bij het ploegen eenzelfde effect op afstroming en bodemverlies te realiseren als bij NKG. Omdat ploegen en inzaaien niet in één werkgang gebeurt zullen bij de inzaai wel de treksporen losgetrokken moeten worden en moet de wielbelasting bij het inzaaien beperkt blijven om versmering van de relatief natte grond te voorkomen.

Een alternatief is om onder deze omstandigheden het land te spitten, gecombineerd met inzaai. Er hoeft dan maar één keer gereden te worden en het land wordt vrij ruw achtergelaten.

Voor verdere terugdringing van de erosie zou de mow-plow methode toepasbaar kunnen zijn als er voldoende maaibare resten van de voorvrucht achtergelaten worden. In de praktijk is dit echter meestal niet het geval.

Vanaf het voorjaar is de wintertarwe voldoende ontwikkeld en daardoor is het erosiegevaar in deze periode klein.

4.2 Onvoldoende verwerking van zware lössgrond

Onvoldoende verwerking van zware lössgrond wordt traditioneel opgelost door wintervoorploegen. Bij wintervoorploegen op zware lössgrond ligt het land in de winterperiode niet volledig los (ploegriemen), is ruw weggelegd en is onbedekt. Op basis van het hiervoor genoemde onderzoek te Wijnandsrade⁽³¹⁾ wordt verwacht dat de afstroming en het bodemverlies in de winterperiode na wintervoorploegen dezelfde orde van grootte zal hebben als na woelen of cultivateren. Wetenschappelijk bewijs is hier echter niet voor. Ook hier is dan ook de stelling dat

geen extra maatregelen genomen hoeven te worden om in de winterperiode na het wintervoorploegen eenzelfde effect op afstroming en bodemverlies te realiseren als bij NKG.

Een mogelijke maatregel om in de winterperiode na wintervoorploegen extra bescherming te bieden zou de mow-plow methode kunnen zijn. Het is echter onwaarschijnlijk, zelfs na wintertarwe, dat er nog voldoende maaibare gewasresten aanwezig zijn na het woelen in het najaar en de daarop volgende periode tot aan het wintervoorploegen. Een potentiële mogelijkheid om het mow-plow principe toe te passen is om na het woelen in het najaar een groenbemester in te zaaien en deze bij het mow-plow wintervoorploegen als 'maaigewas' te gebruiken. Of bedekking van de grond met gewasresten effect zal hebben op de verwerking van de geploegde grond is niet bekend. Een NKG alternatief voor het wintervoorploegen is mogelijk ook het 'wintercultivateren', waarbij de grond in de winter tamelijk grof weggelegd wordt in de hoop dat dit evenals wintervoorploegen leidt tot extra verwerking van de grond. Deze methode wordt momenteel o.a. op PIBO-Campus beproefd ⁽⁴⁾.

Het erosieprobleem bij wintervoorploegen komt in volle omvang tevoorschijn in het voorjaar; zowel voor gewassen op vlak veld als voor gewassen op ruggen is er dan wel voldoende losse grond voor het maken van zaaibed, pootbed en ruggen, maar ontbreken gewasresten of een groenbemestermulch om de bodem te beschermen tegen erosie. Om even effectief te zijn als bij toepassing van NKG zullen daarom eventueel extra maatregelen genomen moeten worden. Deze worden hierna besproken voor ruggenteelt en de teelt van fijnzadige gewassen.

4.3 Erosiegevoeligheid bij ruggenteelten

Het realiseren van enige bedekking van de grond met gewasresten of mulch aan het oppervlak van de ruggen is ook bij toepassing van NKG een probleem omdat de grond zo intensief bewerkt wordt. Toepassing van mulch (gele mosterd ingezaaid in het najaar), ingewerkt in de grond van de ruggen, gaf wisselende resultaten ⁽⁹⁾. Er is daarom niet alleen na het ploegen, maar ook na toepassing van NKG behoefte aan maatregelen om de erosie in de ruggenteelt te bestrijden.

Een effectieve methode om erosie in ruggen te vermijden is de toepassing van stro. Dit wordt echter door de praktijk als onpraktisch en duur beschouwd.

De erosiegevoeligheid bij de teelt op ruggen kan ondervangen worden door drempels tussen de ruggen aan te leggen. Hiertoe hoeft niet speciaal dwars op de helling gewerkt te worden. De bedoeling van de maatregel is om de afstroming van water en sediment tot nul te reduceren. De verwachting is dat dit mogelijk zal zijn tot een maatgevende zomerbui van 24 mm in 20 minuten, met een gemiddelde intensiteit van 71 mm/u (herhalingstijd 25 jaar), zoals ook toegepast in het erosienormeringsonderzoek (zie paragraaf 2.4.3). Deze maatregel is even effectief binnen een systeem met NKG als binnen een systeem met wintervoorploegen. Dit systeem lijkt praktijkrijp. Het vaststellen van de preciese benodigde hoogte en tussenafstand van de drempels om erosie te voorkomen tot een maatgevende zomerbui vraagt nog om nader onderzoek.

Op grond van de resultaten van onderzoek wordt gesteld dat het toepassen van drempels tussen ruggen een betere bescherming tegen erosie oplevert dan het toepassen van NKG en mulch. Dit gaat ook op als op zware lössgrond wintervoorploegen wordt toegepast om voldoende losse grond voor de rugopbouw te krijgen.

4.4 Erosiegevoeligheid van fijne zaaibedden

Voor teelten die een fijn (vlak) zaaibed vereisen verschaft wintervoorploegen op zware grond de zekerheid dat dit in het voorjaar gerealiseerd kan worden. Als dit middel gebruikt wordt is de grond rond het zaaien relatief vlak, los en onbedekt en daardoor erosiegevoeliger dan na NKG, waarbij tenminste nog enige gewasresten of mulchmaterialen in de intensief bewerkte grond aanwezig zijn. Eenzelfde erosiebestrijdend effect als bij NKG en tegelijkertijd een voldoende verweerde toplaag kan misschien ook bereikt worden met ondiep ploegen. Ook de fijne zaaibedden die na NKG gemaakt worden, zijn echter relatief gevoelig voor erosie.

We moeten ons dus richten op maatregelen ter beperking van erosie rond het zaaien. De mogelijke maatregelen, die in hoofdstuk 3 voor vlak veld genoemd zijn, zijn allemaal bekend en overwogen in het projectgebied. Geen van de maatregelen is in de praktijk opgepakt, hoewel sommige wel effectief waren, zoals de toediening van een strodek en (lang geleden) stabilisatie van de bodem met emulsies. Op dit moment wordt alleen het toepassen van een strodek als effectieve, maar onhandige en dure alternatieve maatregel voor NKG beschouwd. We moeten daarom constateren dat bestaande methoden verbeterd zouden moeten worden of dat nieuwe wegen gezocht moeten worden voor in de praktijk inpasbare erosiebestrijding bij de teelt van fijnzadige gewassen. Als mogelijke oplossingsrichtingen worden gezien:

- Het toedienen van stro wordt tot nu toe als onhandig en duur beschouwd. Gekeken zou moeten worden of het inwerken van kleine hoeveelheden gemakkelijk toe te dienen, kort gehakseld stro tijdens het zaaien, bijvoorbeeld alleen tussen de zaairijen een significante erosiewerende werking heeft.
- Toepassing van het mow-plow principe bij wintervoorploegen (zware lössgrond) of bij ploegen in het voorjaar (lichtere gronden), waarbij een daarvoor geschikte groenbemester, bijvoorbeeld gele mosterd, gebruikt wordt als maaigewas. Een voorwaarde hierbij is dat de plantenresten voldoende fijn gemaakt kunnen worden bij het maken van een zaaibed.
- Onderzoek naar het stabiliseren van de bodem met emulsies is lange tijd geleden uitgevoerd. Met de industrie zou bekeken moeten worden of er op dit moment andere, geschikte, afbreekbare materialen zijn om de bodem oppervlakkig te stabiliseren. Dit zou misschien een oplossing kunnen zijn voor teelten met een hoog saldo.
- Toepassing van een kuiltjespatroon aan het bodemoppervlak. De mogelijkheden van de aqueel roller zouden opnieuw bekeken moeten worden geïntegreerd in de zaaicombinatie. Een kuiltjespatroon tussen de zaairijen kan misschien extra oppervlakteberging geven en een gedeeltelijke oplossing vormen, eventueel in combinatie met de toediening van kortgehakseld stro.

Binnen het systeem met NKG zou gekeken kunnen worden of door toepassen van een systeem met vaste rijpaden de precisie (werkdiepte) en bewerkbaarheid van zware lössgrond zodanig verbeterd kan worden dat het probleem van onvoldoende verkruiemeling opgelost wordt. Adoptie van vaste rijpaden kan mogelijk ook bijdragen aan een betere verkruiemeling bij het maken van aardappelruggen in een NKG teeltsysteem.

4.5 Erosiegevoeligheid van mulchvrije zaaibedden

Bij de teelt van spinazie mag NKG niet toegepast kan worden omdat de kans bestaat dat er bij de oogst gewasresten in de spinazie terechtkomen. Ook voor peen is er sprake van dat NKG uitgesloten wordt, waarschijnlijk om de mogelijke overdracht van ziekten en plagen door gewasresten te vermijden.

Als ploegen om dergelijke redenen noodzakelijk is, is de situatie vergelijkbaar met die van het maken van een fijn zaaibed: de grond rond het zaaien is relatief vlak, los en onbedekt en daardoor erosiegevoeliger dan na NKG, waarbij nog gewasresten of mulchmaterialen op of in het zaaibed aanwezig zijn. Een uitzondering is mogelijk het ondiep ploegen, waarbij de gewasresten ondergewerkt kunnen worden, maar wel in de toplaag aanwezig blijven, waardoor de grond stabiel blijft, zoals bij NKG. In paragraaf 4.4 constateerden we al dat in dit geval nieuwe wegen voor erosiebestrijding nodig zijn om goede maatregelen te ontwikkelen. Enkele van de genoemde oplossingsrichtingen, bodemstabilisatie en integratie van de aqueelroller in de zaaicombinatie, zijn ook van toepassing in combinatie met ploegen om een mulchvrij zaaibed te verkrijgen dat weerstand kan bieden tegen erosie.

4.6 Bodemverdichting in NKG systeem

Indien vast komt te staan dat periodiek ploegen eens in de 4 of 5 jaar noodzakelijk is om te vast geworden grond los te maken zijn er goede mogelijkheden aanwezig om dit voorafgaand aan de teelt van aardappelen of wintertarwe te doen. In de aardappelteelt lijkt de erosie goed bestreden te kunnen worden d.m.v. drempels tussen de ruggen. Vergeleken met de inzaai van wintertarwe met NKG is het erosiegevaar bij de inzaai van wintertarwe na ploegen slechts beperkt groter omdat de neerslag intensiteit in de winter beperkt is en de wintertarwe in het voorjaar, als de hevige buien komen, al gevestigd is.

5 Conclusies en aanbevelingen

Het literatuuronderzoek heeft een aantal maatregelen opgeleverd die aantoonbaar effectief zijn om erosie te bestrijden, zowel na ploegen als bij NKG. Deze maatregelen worden op dit moment nog niet toegepast in het projectgebied.

Om de activiteiten af te bakenen is verkend welke knelpunten zich in de praktijk voordoen. Per knelpunt is onderzocht welke alternatieve maatregelen in combinatie met ploegen even effectief zijn als NKG en groenbedekking. De knelpunten die in dit onderzoek naar voren kwamen zijn 1) inzaai van wintertarwe in een nat najaar; 2) onvoldoende verwerking van zware lössgrond in de winter; 3) erosiegevoeligheid bij ruggenteelten; 4) erosiegevoeligheid van fijne zaaibedden; 5) erosiegevoeligheid van mulchvrije zaaibedden en 6) bodemverdichting in het NKG systeem.

Op basis van wat bekend is wordt verwacht dat voor de specifieke omstandigheden van inzaai van wintertarwe op natte grond geen extra maatregelen voor erosiebestrijding na het ploegen nodig zijn om even effectief te zijn als bij inzaai na NKG. Aanbevolen wordt om te proberen of door ondiep ploegen of in één werkgang spitten en inzaaien een betere erosiebestrijding kan worden bereikt.

De traditionele oplossing om op zware lössgrond voldoende verwerking en snelle droging van de grond in het voorjaar te bereiken, specifiek voor ruggenteelten en het maken van fijne zaaibedden, is wintervoorploegen. Verwacht wordt dat voor de erosie in de winterperiode geen extra maatregelen nodig zijn na wintervoorploegen om een vergelijkbare erosiebestrijding te realiseren als bij NKG. Onderzoek om deze stelling te onderbouwen ontbreekt helaas. Na wintervoorploegen zijn in het voorjaar wel extra maatregelen voor erosiebestrijding nodig. Aanbevolen wordt om na te gaan of met ondiep ploegen voldoende verwerking en opdroging voor het maken van fijne zaaibedden kan worden bereikt.

Bij de teelt op ruggen is de bodembedekking ook bij NKG en mulchen erg laag omdat de grond relatief diep (ca. 15 cm) intensief bewerkt en gemengd wordt. Teeltruggen zijn daarom steeds erosiegevoelig. Een effectieve en naar schatting praktijkrijpe methode om erosie te bestrijden is het aanbrengen van drempels in de geulen tussen de ruggen. Door drempels wordt afstroming en sedimentverlies voorkomen. Ze zijn daarom even effectief na NKG als na ploegen. Nader onderzoek wordt aanbevolen om een veilige hoogte en tussenafstand van de drempels vast te stellen.

Voor de teelt van fijnzadige gewassen wordt bij voorkeur een fijn, maar helaas erosiegevoelig zaaibed gemaakt. Dit geldt voor de zaaibedbereiding na NKG en in versterkte mate na ploegen. Voor deze situatie wordt alleen het toepassen van een strodek als serieuze, maar onhandige en dure alternatieve maatregel voor NKG beschouwd. Aanbevolen wordt om bestaande methoden te verbeteren en nieuwe wegen te zoeken voor in de praktijk inpasbare erosiebestrijding bij de teelt van fijnzadige gewassen. Als mogelijke oplossingsrichtingen worden gezien: 1) inwerken van kleine hoeveelheden gehakseld stro in het zaaibed in dezelfde werkgang als het zaaien; 2) opnieuw zoeken naar geschikte, afbreekbare materialen om de bodem oppervlakkig te stabiliseren en 3) integratie van de aqueelroller in zaaicombinaties. Aanbevolen wordt om binnen een systeem met

NKG of ondiep ploegen te onderzoeken of door toepassen van een systeem met vaste rijpaden de precisie (werkdiepte) en bewerkbaarheid van de grond zodanig verbeterd kunnen worden dat het probleem van de onvoldoende verkrumming van zwaardere grond opgelost wordt.

Een mulchvrij zaaibed is o.a. nodig voor spinazie en peen. Voor spinazie is de aqueelroller geen optie omdat een zuiver vlak zaaibed nodig is. Een mogelijkheid voor erosiebestrijding die dan overblijft is oppervlakkige stabilisatie van de bodem, waarvoor op dit moment onvoldoende mogelijkheden bestaan. Aanbevolen wordt om uit te proberen of met ondiep ploegen een betere erosiebestrijding bereikt kan worden. Voor peen kunnen drempels tussen de peenruggen uitkomst bieden.

Het is nog onvoldoende duidelijk of periodiek ploegen (1 keer per 5 jaar) noodzakelijk is om een langzamerhand ontstane verdichting in het NKG systeem op te heffen. Indien periodiek ploegen nodig is wordt aanbevolen om dit te doen voorafgaand aan de teelt van aardappels (met drempels tussen de ruggen) of wintertarwe.

6. Literatuur

1. Anonymous, 2003. Handleiding Erosiebestrijding. Een toelichting op de verordening en het bedrijfserosieplan. LLTB, Dienst Grondzaken en Milieu, 12 p.
2. Barthélémy, J.P., N. Fonder, C. Olivier, P. Ver Eeke, 2010. Contrôle du ruissellement et de ses impacts en culture de pomme de terre en Wallonie. Présentation de résultats 2009-2010. (Powerpoint presentatie). Centre Wallon de Recherches agronomiques.
3. Billen, N. und J. Aurbacher, 2007. Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz : 10 Steckbriefe für 12 Maßnahmen ; ein Maßnahmen-Ratgeber für verschiedene Umsetzungsebenen ; AMEWAM. Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, 22 pp.
4. Cauffman, D., J. Daniëls, S. Hoogstijns, G. Stevens en E. Vanspauwen, 2010. Proefveldwerking bezoekersgids. Erosiebestrijding 2009-2010. PIBO, Tongeren, 63 pp.
5. De Roo, A.P.J. (red), P.M. van Dijk, C.J. Ritsema, N.H.D.T. Cremers, J. Stolte, K. Oostindie, R.J.E. Offermans, F.J.P.M. Kwaad en M.A. Verzandvoort, 1995. Erosienormeringsonderzoek Zuid-Limburg. Veld- en simulatiestudie. DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 364.1, 220 pp. + bijlagen.
6. Desmet, J., D. Gabriëls and W. Dierickx, 1985. Effect of soil conditioners on the permeability and stability of soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36: 242-248.
7. Foltz, R.B. & J.H. Dooley, 2003. Comparison of erosion reduction between wood strands and agricultural straw. *Transactions of the ASAE* 46: 1389-1396.
8. Geelen, P.M.T.M., F.J.P.M. Kwaad, E.J. van Mulligen, A.G. Wansink, M. van der Zijp en W. van den Berg, 1996. Optimalisatie van erosieremmende teeltsystemen van maïs en suikerbieten op lössgrond. Invloed van grondbewerking en strobedekking op bodemerosie, waterafvoer, teeltwijze en gewasopbrengst. PAGV Lelystad, Verslag nr. 211, 1996. 112 pp. (Alleen samenvatting op kennisakker.nl).
9. Geelen, P., C. Crombach en C. Bus, 2004. Beperking van watererosie in aardappelen op lössgrond. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad. PPO projectrapport nr 5154087, pp41.
10. Geelen, P., 2006. Handboek Erosiebestrijding. Een leidraad voor de aanpak van bodemerosie door water in Zuid-Limburg(NL), Limburg (B) en Vlaams-Brabant (B), Guidelines for Erosion Control, Guide pratique de lutte contre l'érosion. Provincie Limburg (B), Hasselt, 100 pp + cd-rom met digitaal adviesprogramma.
11. Govers, Gerard, Kathleen Gillijns en Annemie Leys, jaar onbekend. Erosiebestrijding: meten is weten. Powerpoint presentatie. KU Leuven.
12. Gyssels, G., J. Poesen, E. Bochet and Y. Li, 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography* 29: 189-217.

13. Gyssels, G., J. Poesen, A. Knapen, W. van Dessel and J. Léonard, 2007. Effects of double drilling of small grains on soil erosion by concentrated flow and crop yield. *Soil Tillage Res.* 93: 379-390.
14. Hartmann, R., Verplancke, H. and De Boodt, M., 1981. Influence of soil surface structure on infiltration and subsequent evaporation under simulated laboratory conditions. *Soil Tillage Res.*, 1: 351-359.
15. Interreg Bodembreed, 2010. Resultaten veldonderzoek 2009 nateelt groenbemesters. Projectverslag, 5 pp.
16. IRS, 2010. Betatip. Electronische handleidingen bietenteelt (www.irs.nl).
17. Kouwenhoven, J.K., U.D. Perdok, J. Boer and G.J.M. Ooms, 2002. Soil management by shallow mouldboard ploughing in the Netherlands. *Soil Tillage Research* 65:125-139.
18. Kreitmayr, J., 2005. Bedeutung standortangepasster Bodembearbeitungs- und Bestellverfahren für den Bodenschutz. (Website IFL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz).
19. Kwaad, F.J.P.M., 1991. Summer and winter regimes of runoff generation and soil erosion on cultivated loess soils (The Netherlands). *Earth Surface Processes and Landforms* 16: 653-662.
20. Leys, A., G. Govers, K. Gillijns & J. Poesen, 2007. Conservation tillage on loamy soils: explaining the variability in interrill runoff and erosion reduction. *European Journal of Soil Science* 58: 1425-1435.
21. Mamo, M and G.D. Bubenzer, 2001. Detachment rate, soil erodibility, and soil strength as influenced by living plant roots. Part II: Field study. *Transactions of the ASAE* 44: 1175–1181.
22. Martin, P., V. Joannon, V. Souchère & F. Papy, 2004. Management of soil surface characteristics for soil and water conservation: the case of a silty loam region (Pays de Caux, France). *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 1105-1115.
23. Martin, P., 2007. Elaboration et mise en oeuvre de Dispositifs pour la Gestion de Territoires générant des Coulées Boueuses. DIGET-COB. Rapport final (septembre 2004 – juin 2007). INRA (UMR SAD APT), 70 pp.
24. Meuffels, G., 2010. Rapport bodembreed Interreg. Velddemonstraties Nederlands Limburg 2009. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Wageningen, projectrapport PPO nr. 3250134800, 44 pp. + bijlagen.
25. Ouvry, J.P., 1989. Effet des techniques culturales sur la susceptibilité des terrains à l'érosion par ruissellement concentré. Expérience du Pays de Caux (France). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XXV, no 1-2, 1989-1990: 157-169.

26. Paauw, J.G.M., 2005. Aan de slag met erosie. Ploegloze grondbewerking in beweging (2005). Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, PPO projectrapport nr. 5115105, 24 pp.
27. Poulet, V., Xanthoulis, N. Fonder, P. Lebrun & J.P. Barthélémy, 2010. Drempels tussen de aardappelruggen om afspoeling en erosie tegen te gaan. Landbouwleven 28 mei 2010: 9-11.
28. Rohde, K. and D. Yule, 2003. Soil compaction and Controlled Traffic Farming research in Central Queensland. In: ISTRO 16, Brisbane. Proceedings pp 1020-1027.
29. Simba website, 2010. (http://www.simba.co.uk/assets/download_library/Brochures/aqueel_dossier.pdf).
30. Utomoto, W.H. and A.R. Dexter, 1981. Effect of ageing on compression resistance and water stability of soil aggregates disturbed by tillage. Soil Tillage Res., 1: 127-137.
31. Van Dijk, P.M., M. van der Zijp and F.J.P.M. Kwaad, 1996. Soil erodibility parameters under various cropping systems of maize. Hydrological Processes 10: 1061-1067.
32. Vandergeten, J.P. en C. Roisin, 2004. Ploegloze teelttechnieken in de suikerbietenteelt. KBIVB, Tienen, Technische gids, 22 p.
33. Van Eck, W., D. Slothouwer, J.B. Sprik en G.F.P. Ijkelenstam, 1995. Erosienormeringsonderzoek Zuid-Limburg. Kosten en baten van erosiebestrijdingsmaatregelen in Zuid-Limburg. DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 364.2, 124 pp.
34. Vermeulen, G.D., C. van der Wel, J.G.M. Paauw, W.J. Bakker en P. Kramer, 2009. Ruggenteelt als bedrijfssysteem in het noordelijke kleigebied. Verslag van onderzoek in de periode 2006-2008. PRI, Wageningen, Intern verslag, 40 p. met bijlagen.
35. Vermeulen, G.D., J.N. Tullberg and W.T.C. Chamen, 2010. Chapter 8. Controlled Traffic Farming. In: Dedousis, A.P. and Bartzanas, Th. (Eds.) Soil Engineering. Soil Biology Series Vol. 20. Springer-Verlag. P: 101-120.
36. Wang, X., H. Gao, J.N. Tullberg, H. Li, N. Kuhn, A.D. McHugh, & Y. Li, 2008. Traffic and tillage effects on runoff and soil loss on the Loess Plateau of northern China. Australian Journal of Soil Research 46: 667-675.
37. Williams, J.D., D.E. Wilkins, C.L., Douglas Jr. & R.W. Rickman, 2000. Mow-plow crop residue management influence on soil erosion in north-central Oregon. Soil Tillage Res. 55: 71-78.
38. Yule, D.F., 2008. CTF and GNSS – Know Where You Are Farming. GNSS Technical Support Newsletter, Issue 30, Oct 2008, pp 4-6. Department of Sustainability and Environment, Melbourne, Victoria.

