

---

# Verwijdering van stikstof en fosfor door bufferstroken langs de Mosbeek

Diederik T. van der Molen, Roel Kruijne en E. Jan B. Uunk

---

*Bufferstroken worden genoemd als mogelijke gebiedsgerichte maatregel om de belasting van oppervlaktewater met meststoffen uit de landbouw te verminderen. In dit artikel wordt ingegaan op verschillende mogelijke vormen van bufferstroken en op processen die een rol spelen bij bufferstroken. Perspectieven voor bufferstroken zijn onderzocht middels veldmetingen nabij de Mosbeek in Noordoost-Twente. Op basis van metingen van de hydrologie en chemie in het grondwater is met behulp van een modelinstrumentarium nagegaan in hoeverre bufferstroken de belasting van de beek met stikstof en fosfor kunnen verminderen.*

*De aanleg van een tien meter brede bufferstrook langs intensief bemeste gras- en maïsperecelen levert een vermindering van de stikstofbelasting van 2% tot 28%. De vermindering voor fosfor bedraagt -6% tot 22%. De vermindering van de belasting door de bufferstrook wordt verklaard door een verkleining van het bemeste areaal, afvoer van stikstof en fosfor met gewas van de strook en denitrificatie van stikstof. Vermindering van de bemesting op de landbouwpercelen heeft een grotere invloed op de belasting van de beek dan de bufferstroken. De effectiviteit van bufferstroken voor fosfor neemt toe indien de fosfaatverzadigde bodem van de bufferstrook wordt vervangen door fosforarme grond en de zuurstofcondities goed zijn; de effectiviteit voor nitraat kan toenemen door verlenging van de verblijftijd van het water en zuurstofarme condities in de bufferstrook.*

*Op basis van het onderzoek wordt geconcludeerd dat bufferstroken op de proeflocatie slechts een kleine bijdrage kunnen leveren aan de vermindering van de emissie van meststoffen naar de Mosbeek. De weliswaar geringe milieuhygiënische werking van de bufferstroken draagt toch bij aan de totale waarde van stroken langs beken, die tot dusver hoofdzakelijk gebaseerd was op ecologische en landschappelijke motieven.*

## 1 Inleiding

De 'vermesting' van het water is één van de belangrijkste waterkwaliteitsproblemen in Nederland. Een te hoge toevoer van meststoffen, zoals stikstof en fosfor, leidt tot een overmatige groei van algen in meren en plassen. Dit resulteert ondermeer in overlast voor de drinkwaterbereiding, verlies aan recreatieve waarde ('groene soep') en een laag gewaardeerd natuurlijk ecosysteem. Bovendien kunnen in de zomer toxische stoffen afkomstig van algen leiden tot sluiting van wateren voor recreatie en schade aan schelpdieren in onze

---

**Diederik T. van der Molen** is werkzaam bij het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA, Postbus 17, 8200 AA Lelystad;

**Roel Kruijne** is werkzaam bij DLO-Staring Centrum, Postbus 125, 6700 AC Wageningen;

**E. Jan B. Uunk** is werkzaam bij Waterschap Regge en Dinkel, Postbus 5006, 7600 GA Almelo.

kustwateren. In sloten en genormaliseerde beken uit de vermessing of eutrofiëring zich vaak in bedekking met kroos, waardoor het water daaronder 'dood' is als gevolg van gebrek aan licht en zuurstof. Eutrofe stromende beken kenmerken zich door een eenzijdige begroeiing, ondermeer met braam en brandnetel (Boers en Van der Molen, 1993; Uunk en Schmidt, 1995).

Vanuit de huishoudens, de industrie en de landbouw wordt een bijdrage geleverd aan de vermessing van het oppervlaktewater. Zuivering van het huishoudelijk en het industrieel afvalwater heeft de afgelopen tijd echter geleid tot flinke vermindering van de belasting van het oppervlaktewater met meststoffen. Met name in het landelijk gebied is de bijdrage vanuit de landbouw aan de belasting met meststoffen aanzienlijk (De Haan en Veeningen, 1995; Schoumans e.a., 1995). Naast landelijk genomen maatregelen om de verliezen vanuit de landbouwsector te beperken, zijn regionale maatregelen nodig om het gewenste effect op de vermindering van de belasting met meststoffen te bereiken (Boers, 1996; Van der Molen e.a., 1997).

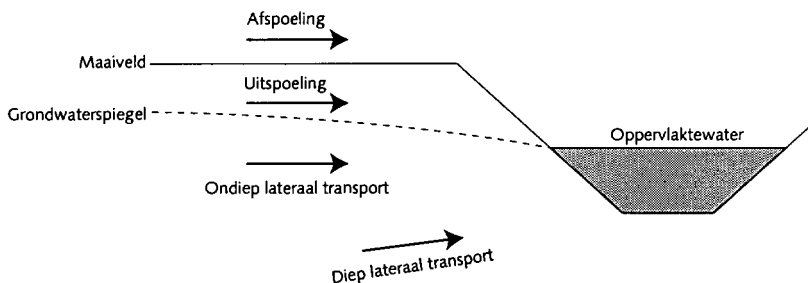
Een mogelijke maatregel om de belasting van meststoffen van landbouwgrond naar het oppervlaktewater te verminderen is het realiseren van bufferstroken tussen land en water. Bufferstroken fungeren niet alleen als filter voor meststoffen-verliezen van landbouwgronden, maar vormen tevens 'groene linten' in het landschap. Dit zijn biotopen en snelwegen voor allerlei diersoorten. In het buitenland is ruime ervaring opgedaan met bufferstroken (Osborne en Kovacic, 1992; Muscutt e.a., 1993). In een literatuuronderzoek is de toepasbaarheid van deze informatie uit het buitenland voor de Nederlandse situatie onderzocht (Orleans e.a., 1994). Als vervolg hierop is de effectiviteit van bufferstroken voor de vermindering van de belasting van het oppervlaktewater met meststoffen onderzocht met behulp van lokale veldmetingen en modelberekeningen. De veldmetingen zijn uitgevoerd bij de Mosbeek. Langs deze beek komen plaatselijk van oorsprong al bufferstroken tussen beek en landbouwgrond voor in de vorm van beekbegeleidende bosjes en dergelijke. Elders grenst de beek direct aan landbouwgrond. Het onderzoek is een samenwerking tussen het Waterschap Regge en Dinkel, het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling te Lelystad, de provincie Overijssel, DLO-Staring Centrum te Wageningen, de Waterleiding Maatschappij Overijssel en de eigenaar van de landbouwpercelen. Het project maakt deel uit van het plan van aanpak 'gebiedsgericht beleid Noordoost-Twente'.

Dit artikel beschrijft de processen die een rol spelen bij bufferstroken, het uitgevoerde veldonderzoek en de resultaten van de daarop gebaseerde modelberekeningen. In de discussie wordt ingegaan op de toepasbaarheid van bufferstroken als maatregel om de af- en uitspoeling van meststoffen naar het oppervlaktewater te verminderen. Een uitgebreide beschrijving van het veldonderzoek en de modelberekeningen is te vinden in Hendriks e.a. (1996) en Kruijne (1996). Uunk en Schmidt (1995) beschrijven de gebiedsstudie, waar het bufferstroken project onderdeel van uitmaakt.

## **2 Bufferstroken: vormen en processen**

Onder een bufferstrook wordt hier verstaan een strook grond tussen land en water waarvan beheer en/of inrichting zijn aangepast ten behoeve van de buffering van voedingsstoffen afkomstig van de aanliggende gronden. Vanuit deze definitie zijn verschillende vormen van bufferstroken te onderscheiden:

- een strook grond die niet wordt bemest;



**Figuur 1:** Transportroutes van perceel naar oppervlaktewater.

- een strook grond waarop (bovendien) de vegetatie afwijkt;
- een strook grond waarvan (bovendien) de vorm is aangepast.

Mogelijke vegetatietypen zijn gras, struiken en bomen. Uit het literatuuronderzoek van Orleans e.a. (1994) kon geen verschil in effectiviteit als gevolg van het vegetatietype worden aangetoond. Mogelijke aanpassingen van de vorm zijn 'drasbermen' en 'plasbermen', en meer specifieke aanpassingen op plaatsen waar drainbuizen het perceel verlaten.

Water en daarin aanwezige stoffen kunnen verschillende transportroutes kiezen op weg van het land naar het oppervlaktewater (figuur 1). Afspoeling (ook wel 'surface runoff' genoemd) is de afvoer over het bodemoppervlak. Dit treedt op wanneer de infiltratiecapaciteit van de bodem minder is dan de neerslag intensiteit (Meinardi en Van der Valk, 1989). De infiltratiecapaciteit hangt af van het bodemtype en van de mate van verzadiging met water. Daarnaast spelen de helling en de berging op het bodemoppervlak een rol bij het optreden van afspoeling. In de Nederlandse situatie is afspoeling voornamelijk in hellende gebieden relevant. Transport door de bodem wordt uitspoeling genoemd. Dit vindt plaats in de onverzadigde zone (ook wel 'interflow' genoemd) en in de met water verzadigde zone. In veel situaties wordt op grond van een verschil in verblijftijden onderscheid gemaakt tussen diep en ondiep transport in de verzadigde zone. Ondiepe uitspoeling (de som van transport via de onverzadigde zone en ondiep transport door de verzadigde zone, ook wel 'subsurface runoff' genoemd) is met name belangrijk in veen- en kleigebieden met een hoge grondwaterstand. In gedraineerde percelen wordt de neerslag en eventueel het kwelwater voornamelijk via de drains afgevoerd. Op zandgronden met een diepe grondwaterstand wordt het meeste water via diep lateraal transport afgevoerd. Bufferstroken zijn alleen effectief voor de verwijdering van voedingsstoffen die via afspoeling en ondiepe uitspoeling van het perceel naar de bufferstrook stromen.

De processen die zich in een bufferstrook afspelen zijn in principe niet anders dan die elders op het land plaatsvinden. Voedingsstoffen gebonden aan deeltjes die afspoelen kunnen sedimenteren, opgeloste voedingsstoffen kunnen worden opgenomen in de vegetatie en kunnen worden gebonden aan het bodemcomplex. Daarnaast kan stikstof worden verwijderd door omzetting van nitraat-stikstof in stikstof-gas ( $N_2$  en  $N_2O$ ). Door de vorm van de strook en het type vegetatie kan het sedimenteren worden geoptimaliseerd. Door niet te bemesten wordt de aanvoer van voedingsstoffen naar de bufferstrook verminderd en kan de vegetatie een deel van de voedingsstoffen opnemen, die vanaf het voedende perceel worden

aangevoerd. De voorraad voedingsstoffen die is gebonden aan het bodemcomplex, kan onder bepaalde omstandigheden deels weer loslaten en alsnog het oppervlaktewater bereiken. Door de afspoeling van water van de bufferstrook naar het oppervlaktewater zoveel mogelijk te voorkomen en door de condities voor denitrificatie te bevorderen kan de stikstofverwijdering worden geoptimaliseerd. Denitrificatie van stikstof en in mindere mate de afvoer van voedingsstoffen met de vegetatie zijn de enige processen waardoor voedingsstoffen echt uit de strook verdwijnen.

### 3 Het proefproject langs de Mosbeek

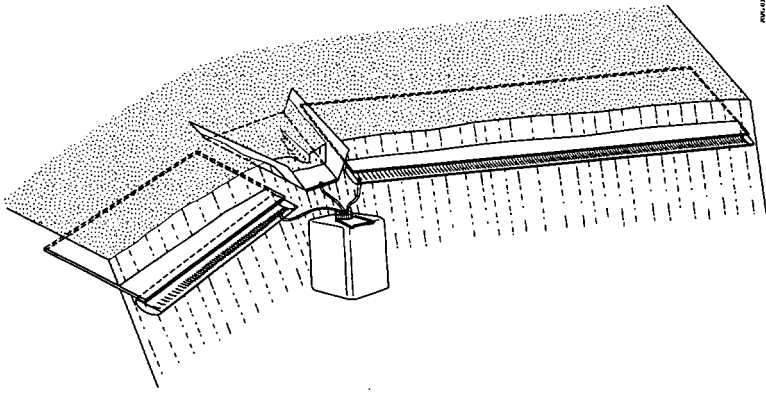
De Mosbeek ontspringt op een stuwwal nabij de Nederlands-Duitse grens. In de tweede helft van het Saalien (voorlaatste ijstijd) hebben landijstongen, afkomstig van Scandinavië, deze stuwwallen gevormd. Hierbij zijn keileemafzettingen ontstaan, welke in de laatste ijstijd zijn overdekt met een dekzandlaag. De keileemlaag vormt een hydrologische basis en ligt bij de onderzoekspercelen op een diepte die varieert van 0,7 tot ca. 2 meter. De bodems die worden aangetroffen zijn veld- en laarpodzolen op de hellingen en moerige eerdgronden en bekeerddgronden in de lage delen langs de beek. De percelen hellen gemiddeld 3%. Door de helling en de geringe dikte van het doorlatend pakket is er alleen sprake van ondiepe afvoer van het grondwater in de richting van de Mosbeek; diep lateraal transport speelt geen rol.

Het landgebruik op de onderzoekslocatie betreft een perceel met extensief gebruikt grasland en percelen met intensief gebruikt gras- en maïsland. Tussen het maïsperceel en de beek bevindt zich een bufferstrook in de vorm van een elzenbroekbos, tussen het extensief gebruikte grasland en de beek ligt een strook met adelaarsvaren. De bemestingsgeschiedenis van de percelen is ten behoeve van de modelberekeningen gereconstrueerd. In 1995 ontving het intensief gebruikte grasland 480 kg N ha<sup>-1</sup> en 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, het maïsland 220 kg N ha<sup>-1</sup> en 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> en het extensief gebruikte grasland 60 kg N ha<sup>-1</sup> en 66 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. De fosfaatverzadigingsgraad van de bodem van de intensief gebruikte percelen is hoog. De geohydrologische situatie, het bodemtype en het landgebruik op de proeflocatie zijn representatief voor het bovenstroomse- en benedenstroomse deel van het stroomgebied van de Mosbeek.

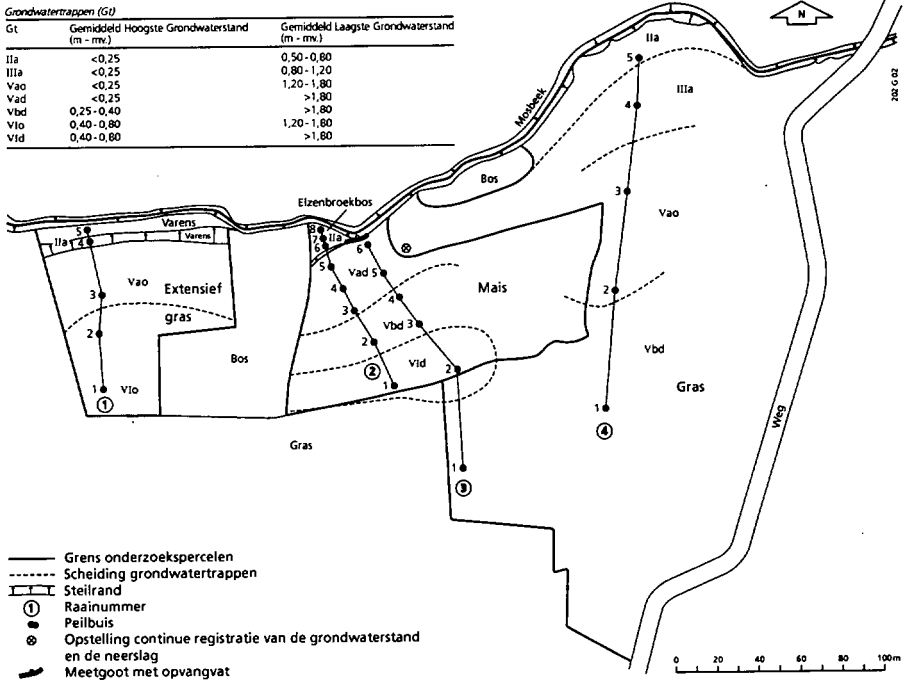
Diverse bodemfysische en bodemchemische karakteristieken zijn bepaald ten behoeve van de modellering. Daarnaast zijn in de periode december 1993 – juli 1995 veldgegevens verzameld, bestaande uit

- metingen van de neerslag, de grondwaterstand in peilbuizen en het oppervlaktewaterpeil;
- bepaling van de hoeveelheid en samenstelling van oppervlakkig afspoelend water (chloride, kalium, sulfaat en de stikstof en fosfaat-fracties in gefiltreerde en ongefiltreerde monsters), gemeten door middel van een meetgoot (figuur 2);
- de samenstelling van het grondwater (elektrisch geleidingsvermogen, zuurgraad, chloride, kalium, sulfaat, nitraat-, nitriet-, ammonium-, en Kjeldahl-stikstof, ortho- en totaal-fosfaat en totaal-ijzer).

De locaties voor metingen van de grondwaterstand en de bemonstering van bodem en grondwater zijn verdeeld over vier raaien, die min of meer loodrecht op de beek zijn gericht. Binnen een raai vertegenwoordigen de locaties elk een specifieke combinatie van hydrolo-



**Figuur 2:** Opstelling voor het bemeten van de oppervlakkige afspoeling (totale lengte van de meetgoot is 14 m).



**Figuur 3:** Ligging van de raaien, de peilbuizen en de bufferzone op de onderzoekslotatie.

**Tabel 1:** Karakteristieken van de raaien met peilbuizen in het onderzoeksgebied langs de Mosbeek

Raai-nummer	Landgebruik	Grondwater-trap (Gt)	Lengte perceel (m)	Bufferstrook	Lengte buffer (m)	Lengte raai (m)
1	Grasland extensief	VI, V	71,5	adelaarsvaren (7 meter, Gt II)	7,0	78,5
2	Mais	VI, V	75,5	elzenbroekbos (14 meter, Gt II)	14,1	89,6
3	Mais	VI, V	-	Geen		145,5
4	Grasland intensief	V, III, II	-	Geen		222,0

gie, bodem en grondgebruik. Door middel van bromide tracer-experimenten is vastgesteld dat het grondwater via de raaien met peilbuizen van de hogere delen naar de beek stroomt. Hierbij kwam tevens naar voren dat preferente stroombanen door de ondergrond een belangrijke invloed hebben op de transportprocessen. In de modelberekeningen is echter geen rekening gehouden met preferente stroming. Figuur 3 geeft een overzicht van de ligging van de raaien met peilbuizen op de onderzoekslocatie en tabel 1 vat enkele karakteristieken van de raaien samen. De meetgoot is geplaatst aan het einde van raai 3.

#### 4 Modelscenario's

De resultaten van metingen geven een indruk van het effect van de bufferstroken op de meetlocatie bij de (klimatologische) condities tijdens de metingen. Het gebruik van modellen biedt de mogelijkheid

- om de meetresultaten te extrapoleren naar een ander landgebruik op de percelen (gewas en bemesting);
- om de meetresultaten te extrapoleren naar een andere inrichting van de bufferstroken (wel/geen bufferstrook, omvang en begroeiing bufferstrook);
- om de resultaten te volgen over een langere periode en
- om de resultaten in te schatten bij gewijzigde klimatologische condities.

Veel van de bovengenoemde metingen zijn daarom gebruikt om de simulatiemodellen te ijken. Voor de hydrologie is het model SWAP gebruikt (Van Dam e.a., 1997), en voor berekeningen betreffende de stikstof- en fosforfracties het model ANIMO (Groenendijk en Kroes, 1997). Voor de specifieke situatie van de onderzoekslocatie zijn deze modellen aangepast. Een raai is onderverdeeld in secties, die de combinaties van hydrologie, bodemsoort en grondgebruik vertegenwoordigen. Deze secties zijn onderling gekoppeld door de afspoeling over het maaiveld en de uitspoeling in het doorlatend pakket telkens aan de volgende sectie door te geven. Aldus zijn de water- en stofhuishouding van de percelen geschematiseerd als een twee-dimensionaal systeem, dat een verticale doorsnede van het doorlatend pakket langs een raai voorstelt. De bovenstroomse zijrand van deze doorsnede valt samen met de (denkbeeldige) waterscheiding van het stroomgebied, en de benedenstroomse zijrand met het midden van de Mosbeek.

Het model SWAP is gekalibreerd op de grondwaterstanden, en het model ANIMO op de fosfaatbezetting in de bovengrond (tot 0,6 m diepte) en de concentraties nitraat, ammonium en fosfor in het grondwater. Vervolgens is het geijkte modelinstrumentarium gebruikt om

**Tabel 2:** Scenario's

Bemestingsvariant	Maïspeerceel			Grasperceel		
	Geen buffer	Gras-buffer	Bos-buffer	Geen buffer	Gras-buffer	Bos-buffer
I	x	x	x	x	x	x
II	x			x		
III	x			x		
IV		x			x	

**Tabel 3:** Mestgiften en resulterende overschotten na 2010

Bemestingsvariant	Mestgift				Overschot			
	Stikstof (kg N ha <sup>-1</sup> )		Fosfor (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )		Stikstof (kg N ha <sup>-1</sup> )		Fosfor (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	
	maïs	gras	maïs	gras	maïs	gras	maïs	gras
I	169	358	70	109	22	87	1	32
II	197	464	110	150	48	147	44	66
III	37	211	28	80	-55	27	-20	21
IV	244	524	85	150	94	178	16	60

een aantal scenario's door te rekenen voor intensief gebruikte percelen met maïs en gras, afgeleid van respectievelijk raai 3 en 4 uit tabel 1. De doorgerekende scenario's zijn vermeld in tabel 2.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een periode van 30 jaar (1995 – 2024). Er is gerekend met een breedte van de bufferzone van 10 meter. Bij de bemestingsvariant I is ook met breedten van 1 en 4 meter gerekend. De bemestingsvarianten I en III zijn afgeleid van scenario's voor landelijke berekeningen (Boers e.a., 1997). Scenario I gaat uit van een daling van de mestgiften volgens het voorgestelde beleid in 1995 en scenario III van een stringente aanpak van de mestgiften tot 2010. In beide gevallen is de procentuele daling van de landelijke mestgiften toegepast op de werkelijke mestgiften die in 1995 op de percelen is toegepast. Bemestingsvariant II betreft een constante gift op basis van de gebruiksnormen voor fosfor en de bemestingsrichtlijn voor stikstof. Bemestingsvariant IV is zodanig geschat dat het overschot de voorgestelde eindnormen (Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1995) in 2010 bereikt.

Tabel 3 vermeldt de mestgiften die in de berekeningen zijn gehanteerd vanaf 2010, alsmede de daaruit voortvloeiende overschotten. De mestgiften bestaan voor een deel uit dierlijke mest en voor een deel uit stikstof-kunstmest. Bij de giften en de overschotten is geen rekening gehouden met toevoer van meststoffen via depositie. Uiteraard is dit in de berekeningen wel meegenomen. Bemestingsvariant I resulteert in een overschot voor stikstof (gras en maïs) en voor fosfor (alleen bij maïs) dat beduidend lager is dan de eindnormen. Dit wordt veroorzaakt door specifieke hydrologische omstandigheden, de gebruikte dierlijke mestsoorten en de scherpe daling van de mestgiften in de periode van 1987 tot en met 1995. Om deze reden zijn de jaarlijkse giften bij bemestingsvariant IV hoger dan bij bemestingsvariant I.

## 5 Resultaten

### *Hydrologie*

De grondwaterstand fluctueert rond de 0,5 m beneden het maaiveld. Op de hogere delen worden soms lagere waarden gevonden (> 1,5 m onder het maaiveld), terwijl nabij de beek het grondwater soms tot aan het maaiveld staat. De berekende grondwaterstanden liggen vaak iets dieper dan de gemeten waarden en de afwijking tussen gemeten en berekende waarden ('root mean square error') ligt vaak tussen 0,1 en 0,2 m. De berekende grondwaterstanden zijn beoordeeld als voldoende nauwkeurig om als basis te dienen voor de berekeningen met meststoffen.

Ten aanzien van de afspoeling is het moeilijk om gemeten en berekende waarden met elkaar te vergelijken. Bij intensieve neerslag vormen zich erosiegeulen, waardoor het water zeer lokaal tot afspoeling komt. Het is experimenteel heel moeilijk gebleken om op basis van de veldmetingen een kwantitatieve schatting te geven van de afspoeling. Wel kon worden gewerkt met de momenten, waarop water tot afspoeling komt. Modelberekeningen naar de hydrologie gebaseerd op de metingen geven aan dat de ondiepe uitspoeling ook op deze hellende percelen veel belangrijker is dan de oppervlakkige afspoeling. Voor het natte jaar 1994 varieert de berekende uitspoeling vanaf de percelen van 0,478 m in raai 4 tot 0,611 m in raai 2, terwijl de berekende afspoeling vanaf dezelfde percelen gelijk is aan 0,068 m in raai 4 en 0,017 m in raai 2. Dit zijn waarden voor het watervolume per meter beeklengte per meter raailengte, dat op respectievelijk 222,0 en 75,5 m afstand van de (denkbeeldige) waterscheiding in de richting van de beek stroomt. Voor een jaar met een gemiddelde hydrologie zijn de waarden veel lager, evenals het procentuele aandeel van de afspoeling. Het extensief gebruikte grasperceel en de bufferstroken hebben een hogere infiltratie en een geringere afspoeling, doordat de bodemstructuur lossier is als gevolg van het ontbreken van vertrapping en berijding. Daarnaast zorgt het relatief geringe neerslagoverschot van de bosbegroeiing in de bufferstrook naast het maisperceel ook voor een relatief lagere uitspoeling van water.

### *Stikstof*

Nitraat is in het algemeen de belangrijkste stikstofcomponent. De gemeten nitraatconcentratie in het grondwater van het extensief gebruikte grasperceel is meestal lager dan 5 mg N l<sup>-1</sup>. Uitschieters van rond de 20 mg N l<sup>-1</sup> komen voor, doch niet in de bestaande bufferstrook. Op de representatieve punten in het maisperceel is de gemiddelde nitraatconcentratie meer dan 30 mg N l<sup>-1</sup>, terwijl in de aangrenzende, relatief natte, bufferstrook geen nitraat meer is gevonden. Wel is het ammonium-gehalte daar iets toegenomen van ongeveer 0 tot 2 mg N l<sup>-1</sup>. In het intensief gebruikte grasperceel worden concentraties gevonden van rond 20 mg N l<sup>-1</sup> in het droge deel en nagenoeg 0 mg N l<sup>-1</sup> in het laag gelegen, natte deel bij de beek. Ook in deze natte zone is ammonium enigszins verhoogd.

De conclusie luidt dat intensief gebruik van de percelen zich vertaalt in hoge nitraatconcentraties in het grondwater. In de bestaande bufferstroken en in het natte deel van het grasperceel dat grenst aan de beek is het nitraat nagenoeg verdwenen. Vermoedelijk komt dit door omzetting in stikstofgas door denitrificatie. Op deze plaatsen wordt de Mosbeek wel belast met uitspoeling van enkele milligrammen per liter ammonium.



## *Fosfor*

Totaal-fosfor bestaat bij hogere concentraties bijna volledig uit ortho-fosfaat. De fosforconcentraties in het bodemwater van het extensief gebruikte grasperceel zijn laag en liggen onder de waterkwaliteitsnorm voor het oppervlaktewater (0,15 mg P l<sup>-1</sup>). In het maïspanceel variëren de concentraties van 0,2 tot 1,0 mg P l<sup>-1</sup>. Dit zijn hoge concentraties gezien in het licht van de aërobe condities die er heersen. Hierdoor is ijzer in een vorm aanwezig waarbij veel fosfaat gebonden kan worden. De hoge concentraties die er desondanks gemeten zijn, corresponderen met de hoge gemeten fosfaatverzadigingsgraad van de percelen (Schoumans, 1994).

In de bodem van de bufferstroken en in de lage delen van het intensief gebruikte grasperceel heerst anaërobie, gezien de verhoogde concentraties opgelost ijzer. Hierdoor zijn er veel minder mogelijkheden voor fosfor om zich aan de bodemmatrix te binden. De fosforconcentratie in de bestaande bufferstrook is toegenomen tot ongeveer 1 mg P l<sup>-1</sup>. In het natte gedeelte van het intensief gebruikte grasperceel zijn fosforconcentraties gemeten van meer dan 1 mg P l<sup>-1</sup>. Intensief gebruik van de landbouwpercelen leidt tot verhoogde fosforconcentraties in het grondwater en de bestaande bufferstrook is niet in staat de concentraties te reduceren.

## *Scenario's*

De resultaten van de scenarioberekeningen zijn samengevat in tabellen 4 en 5. Het betreft resultaten voor 2024 ten opzichte van de resultaten bij de bemestingsvariant I en geen bufferstrook.

De belasting van de beek, in situaties met of zonder bufferstrook, vindt grotendeels plaats via ondiepe uitspoeling. Afspoeling speelt slechts een kleine rol. Dit is gedeeltelijk een gevolg van de keuze van de bemestingstijdstippen en de perioden met veel neerslag. Uit aanvullende berekeningen blijkt dat wanneer bemesting wordt gevolgd door een periode met veel neerslag, afspoeling van meststoffen voor deze hellende percelen een significante belasting van de beek kan veroorzaken.

Uit de resultaten blijkt dat de spreiding in de belasting van de beek in situaties met verschillende bemestingsvarianten veel groter is dan het verschil tussen de situaties met bufferstrook en zonder bufferstrook. Variant III leidt in enkele gevallen tot iets verlaagde gewasopbrengsten.

Een bufferstrook van tien meter is effectiever dan een strook van één meter. Het reductiepercentage van de bufferstrook neemt nagenoeg lineair toe met de breedte. Vermindering van de belasting van het oppervlaktewater met meststoffen bij toepassing van bufferstroken wordt deels bepaald door de verkleining van het bemeste areaal. Bij een breedte van tien meter is de verkleining van het bemeste areaal 6,9% en 4,5% van het oppervlak van respectievelijk het maïs- en grasperceel.

Een grasbuffer is effectiever dan een bosbuffer, omdat afvoer van gras en niet van hout of bladmateriaal is verondersteld. De maatregel van een bosbuffer na het maïspanceel resulteert zelfs in een verhoogde belasting van de beek met fosfor. De opname van fosfaat door de vegetatie van de bufferstrook is veel geringer dan bij maïs, waardoor de evenwichtssituatie van de referentie is gewijzigd in een situatie met een gering overschot voor fosfor. Verschillen tussen het maïs- en grasperceel worden toegeschreven aan specifieke

**Tabel 4:** Resultaten van de scenario's voor stikstof (uitgedrukt in procenten, positief is vermindering van de belasting naar oppervlaktewater).

Bemestingsvariant	Maisperceel			Grasperceel		
	Geen buffer	Gras-buffer	Bos-buffer	Geen buffer	Gras-buffer	Bos-buffer
I	0,0	10 1,7 (1 m)	1,9 0,7 (1 m)	0,0	28 4,4 (1 m)	18 3,5 (1 m)
II	-16			-21		
III	49			31		
IV		-48			-8,8	

**Tabel 5:** Resultaten van de scenario's voor fosfor (uitgedrukt in procenten, positief is vermindering van de belasting naar oppervlaktewater).

Bemestingsvariant	Maisperceel			Grasperceel		
	Geen buffer	Gras-buffer	Bos-buffer	Geen buffer	Gras-buffer	Bos-buffer
I	0,0	4,5 1,5 (1 m)	-5,8 -0,1 (1 m)	0,0	22 3,6 (1 m)	16 2,5 (1 m)
II	-60			-28		
III	22			16		
IV		0,0			6,8	

verschillen in de ontwateringssituatie en de bodemeigenschappen, en niet zozeer aan het gewastype. Door de aanwezigheid van grofzandige afzettingen is de uitspoeling van het maisperceel geconcentreerd in het onderste deel van het watervoerend pakket, terwijl de uitspoeling in het grasperceel gemiddeld hoger in de bodem plaats vindt.

De fosfaatverzadigde laag zakt tijdens de simulatieperiode langzaam naar beneden en komt meer in aanraking met een omgeving waarin fosfaat moeilijker aan bodemdeeltjes wordt gebonden. Hierdoor stijgen de fosforconcentraties weer aan het eind van de rekenperiode voor nagenoeg alle scenario's. Ondanks gelijk blijvende mestgiften neemt de belasting van de beek met fosfor na 2010 geleidelijk toe.

## 6 Discussie

De berekende effectiviteit van de bufferstroken langs de Mosbeek ligt in het algemeen ruim lager dan die gerapporteerd uit het buitenland (Orleans e.a., 1994). De gegevens uit het buitenland vertonen echter een ruime spreiding. Bovendien zijn de bodemeigenschappen en hydrologische omstandigheden in nieuwe bufferstroken sterk afwijkend van de bestaande bufferstroken op de onderzoekslocatie. Daarnaast wijkt de situatie in Nederland af van de meeste buitenlandse referenties, doordat de mestgiften hier veel hoger liggen. Bij een gelijk blijvende absolute verwijderingscapaciteit per meter bufferstrook is het procentuele effect daardoor kleiner. Voor wat betreft hydrologie, morfologie en bemesting komt de situatie bij ons goed overeen met die in Denemarken en daar worden vergelijkbare resultaten gevonden (Kronvang e.a., 1997).

De onderzoeksresultaten hebben betrekking op een lokale situatie, die ondermeer wordt gekarakteriseerd door hellende percelen en preferente stroombanen. Deze en andere karakteristieken moeten in ogenschouw worden genomen bij extrapolatie van de resultaten naar de gehele Mosbeek. Vervolgens is de Mosbeek in Nederland weer hooguit representatief voor een aantal kleine stroomgebieden. Dit laat onverlet dat de resultaten, die gebaseerd zijn op een degelijke, procesmatige onderzoeksbenadering, aanduiden dat men in de Nederlandse situatie met hoge meststoffenbelasting en opgeladen bodems geen wonderen mag verwachten van met name de fosfor verwijdering in stroken, die voorheen in landbouwkundig gebruik waren.

De werking van de bufferstroken berust op een kleiner bemest areaal, het oogsten van gewas op de bufferstrook en denitrificatie van nitraat. De denitrificatie is afhankelijk van de aanvoer van nitraat of de omzetting van ammonium in nitraat, de aanwezigheid van afbreekbaar organisch materiaal en de beschikbaarheid van (concurrerend) zuurstof. Natte, zuurstofarme condities zijn gunstig voor de verwijdering van stikstof. Deze randvoorwaarden zijn in de lage delen van het intensief gebruikte grasperceel ook zonder de bufferstrook redelijk optimaal, waardoor de bufferstrook niet leidt tot hoge reductiepercentages. De vochtige en daardoor vaak anaërobe condities zijn juist nadelig voor de binding van fosfaat. Het geringe effect van de bufferstroken voor fosfor op de proeflocatie wordt bepaald door de heersende condities en door de grote fosfaatvoorraad in de bodem als gevolg van vele jaren overbemesting. Te verwachten is dat de effectiviteit van de bufferstrook voor fosfor sterk zal toenemen wanneer de bodem van de bufferstrook wordt vervangen door 'schone' grond en wanneer de zuurstofcondities kunnen worden verbeterd.

In de berekende percentages (tabel 4) komt echter niet tot uitdrukking wat het effect is van het voorkómen van directe belasting van de beek als gevolg van de mesttoediening. Verder kunnen bufferstroken piekbelastingen van afspoeling van meststoffen opvangen. De aanleg van een soort drempel in de bufferstrook, met name in dit soort hellende gebieden, zal dit bevorderen. Het risico op een grote afspoeling van meststoffen geldt met name daar waar maispercelen direct aan de beek grenzen. Op grond van de minder goede bodembedekking van maïs is de kans op verplaatsing van bodemdeeltjes met afspoelend water daar groter dan op een grasperceel.

Bestrijding van de vermesting van het oppervlaktewater door aanpak van de emissies vanuit landbouwpercelen is het meest effectief en duurzaam door de bemesting aan te passen, bijvoorbeeld door de mest nabij de plant toe te dienen en door meer rekening te houden met klimatologische omstandigheden (Van der Molen en Breeuwsma, 1995). Uit de berekeningen blijkt dat scenario's met lagere mestgiften veel meer effect hebben op een vermindering van de belasting van het oppervlaktewater, dan scenario's met bufferstroken. Verder blijkt uit de berekeningen dat pas bij zeer drastische vermindering van de mestgiften opbrengstderving van het gewas plaatsvindt. Wel duurt het bij aanpassing van de bemesting door naijl-effecten langer totdat deze vermindering volledig doorwerkt in vermindering van de belasting van het oppervlaktewater.

## 7 Conclusies

Met behulp van diverse metingen en modelberekeningen is de lokale effectiviteit van bufferstroken als maatregel ter vermindering van de belasting van het oppervlaktewater met meststoffen onderzocht. Op basis van dit onderzoek wordt geconcludeerd dat een flinke bufferstrook (tien meter), die wordt beheerd (afvoer van gewas), leidt tot een geringe, maar significante vermindering van de belasting van de Mosbeek met meststoffen, met name stikstof. Voor stikstof ligt de effectiviteit van de strook tussen 1,9 en 28%, voor fosfor is de range -5,8 tot 22%.

De werking van de bufferstroken berust op een kleiner bemest areaal, het oogsten van gewas op de bufferstrook en de verwijdering van nitraat. Bovendien vermindert de aanwezigheid het risico op directe bemesting van de beek als gevolg van de mesttoediening. Verder zal een drempel tegen afspoeling met name in hellende gebieden de effectiviteit kunnen verhogen. De inrichting van een bufferstrook is mede afhankelijk van de keuze of het accent moet liggen op de verwijdering van stikstof, dan wel fosfor.

Tenslotte, hoewel de onderzoeksresultaten dus slechts een beperkt milieuhygiënisch rendement van de bufferstroken te zien geven, vergroten ze zeker de functionaliteit van niet intensief landbouwkundig beheerde stroken langs beken. Deze functionaliteit hoeft niet langer alleen te worden gebaseerd op ecologische en landschappelijke motieven.

## Literatuur

- Boers, P.C.M. (1996)** Nutrient emissions from agriculture in the Netherlands, causes and remedies; in: *Water, Science and Technology*, jrg 33, nr 4-5, pag 183-189.
- Boers, P.C.M., H.L. Boogaard, J. Hoogeveen, J.G. Kroes, I.G.A.M. Noij, C.W.J. Roest, E.F.W. Ruijgh en J.A.P.H. Vermulst (1997)** Huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit de landbouw; Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, DLO-Staring Centrum, Waterloopkundig Laboratorium, RIZA rapport 97.013.
- Boers, P.C.M. en D.T. van der Molen (1993)** Eutrophication control in Europe - the state of the art; in: *European Water Pollution Control*, jrg 3, nr 2, pag 19-25.
- Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk en C.A. van Diepen (1997)** Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment; Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technical Document 45.
- Groenendijk, P. en J.G. Kroes (1997)** Modeling the nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface flow; Wageningen, DLO-Staring Centrum, Report 144.
- Haan, H. de en R. Veeningen (1995)** Vermindering eutrofiëring polderwater; aanvullende maatregelen in polders in Friesland; in: *Landschap*, jrg 12, nr 6, pag 23-34.
- Hendriks, R.F.A., G.J. Leene, H.T.L. Massop en R. Kruijne (1996)** Perceelonderzoek naar het effect van beekbegeleidende bufferstroken op de stikstof- en fosforbelasting van de Mosbeek - Gebiedsbeschrijving, veldonderzoek en modelmatige analyse van de hydrologie; Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 420.1.
- Kronvang, B., C.C. Hoffmann, L.M. Svendsen, J. Windolf, J.P. Jensen en J. Dorge (1997)** Retention of nutrients in river basins; aangeboden aan *Aquatic ecology*.

- Kruijne, R. (1996)** Perceelonderzoek naar het effect van beekbegeleidende bufferstroken op de stikstof- en fosforbelasting van de Mosbeek - Nutriëntenonderzoek en scenarioberekeningen; Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 420.2.
- Meinardi, C.R. en J.P. van der Valk (1989)** Het stikstofgehalte in beken en waterlopen van het Nederlandse zandgebied; Rapport 728472016, RIVM, Bilthoven.
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (1995)** Integrale Notitie mest- en ammoniakbeleid; Tweede Kamer, vergaderjaar 1995–1996, 24 445, nr. 1.
- Molen, D.T. van der en A. Breeuwsma (1995)** Nutriëntenverliezen in de landbouw - Kloof tussen onvermijdbare en acceptabele nutriëntenverliezen; in: *Landschap*, jrg 12, nr 6, pag 7–14.
- Molen, D.T. van der, A. Breeuwsma en P.C.M. Boers (1997)** Agricultural nutrient losses to surface water in the Netherlands: impact, strategies and perspectives; in: *Journal of Environmental Quality*, jrg 27, pag 4–11.
- Muscutt, A.D., G.L. Harris, S.W. Bailey en D.B. Davies (1993)** Bufferzones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture; in: *Agriculture, Ecosystems and Environment*, nr 45, pag 59–77.
- Orleans, A.B.M., F.L.T. Mugge, T. van der Meij, P. Vos en W.J. ter Keurs (1994)** Minder nutriënten in het oppervlaktewater door bufferstroken? Een literatuuranalyse; Milieubiologie R.U. Leiden.
- Osborne, L.L. en D.A. Kovacic (1992)** Riparian vegetated buffer strips in stream restoration and management; in: *Freshwater Biology*, nr 29, pag 243–258.
- Schoumans, O.F. (1994)** Relatie tussen de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatconcentratie in oplossing van een onderzoekslocatie aan de Mosbeek; Rapport 348, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Schoumans, O.F., R. Kruijne en D.T. van der Molen (1995)** Vermindering fosfaatuitspoeling – Mogelijkheden bij fosfaatverzadigde gronden; in: *Landschap*, jrg 12, nr 6, pag 63–73.
- Uunk, E.J.B. en G. Schmidt (1995)** Bescherming van beken tegen vermessing - Een aanzet voor aanvullend regionaal beleid; in: *Landschap*, jrg 12, nr 6, pag 35–46.

---

# Waterdicht

---

## Distilled Water

*Some water  
Deigned itself  
To flowing!*

*It  
Sparkled  
Clearly  
With this caution:  
Not for use  
In washing clothing.*

*And this was not without just cause.*

*It  
Did not grasp at  
Willow shrubbery,  
Willows in full blossom. Quite*

*Ignored  
The streaming threads of algae  
And fishes fat on damselflies.*

*It  
Did not frequent wavy places,  
Nor did it wish to travel far.  
Its life was most uncomplicated—  
Clear,  
Unadulterated  
Water!*

Leonid Martynov (1905–1980)

Vertaald uit het Russisch door Dean  
Furbish