



RIVM Rapport 680716002/2007

De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven

B. Fraters, RIVM
L.J.M. Boumans, RIVM
T.C. van Leeuwen, LEI-Wageningen UR
J.W. Reijs, LEI-Wageningen UR

Contact:
Dico Fraters
Laboratorium voor Milieumonitoring
b.fraters@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, mede namens het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van project M/680716, Ondersteuning Mestbeleid

© RIVM 2007

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven

In deze studie is per grondsoort berekend in welke mate een stikstofoverschot bij bouwland en grasland uitspoelt naar het grond- en oppervlaktewater. De uitspoeling verschilt namelijk tussen grondsoorten en vormen van bodemgebruik. Bij bouwland op droge zandgrond spoelt negentig procent van het stikstofoverschot uit. Bij grasland op veengrond is dat slechts vijf procent.

Een stikstofoverschot is het verschil tussen de aanvoer van stikstof, bijvoorbeeld via kunstmest en dierlijke mest, en de afvoer van stikstof, bijvoorbeeld bij de oogst van gewas. Van de drie grondsoorten, die in deze studie zijn onderzocht, neemt de uitspoeling af in de volgorde: zand – klei – veen. Bij de zandgronden is de uitspoeling het grootst bij droge gronden en het laagst bij natte gronden. De uitspoeling is bovendien bij bouwland groter dan bij grasland.

Deze gegevens zijn belangrijk om te voorkomen dat door bemesting te veel stikstof uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater. Volgens de Nitraatrichtlijn zijn alle lidstaten van de Europese Unie verplicht dit te voorkomen. Nederland heeft een stelsel van stikstofgebruiksnormen ontwikkeld waarmee zowel de totale stikstofbemesting als de stikstofbemesting met dierlijke mest wordt gereguleerd. Voor de akker- en tuinbouwgewassen op zand- en lössgrond zijn voor de jaren 2008 en 2009 nog geen stikstofgebruiksnormen vastgesteld.

Deze informatie zal door de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen worden gebruikt bij de afleiding van milieuverantwoorde gebruiksnormen voor het totale stikstofgebruik en het stikstofgebruik met dierlijke mest. Voor de studie zijn meetgegevens gebruikt van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) van het RIVM en het LEI.

Trefwoorden: uitspoelingsfractie, stikstofoverschot, stikstofuitspoeling, LMM, grondwater, oppervlaktewater, landbouw, Nitraatrichtlijn, stikstofgebruiksnorm

Abstract

Leaching of nitrogen surplus to groundwater and surface waters on farms

In this study the degree of leaching of the nitrogen surplus to groundwater and surface waters is calculated per soil type for arable land and grassland. Leaching differs between soil types and forms of land use. For arable land on well drained sandy soils about 90% of the nitrogen surplus leaches from the root zone. For grassland on peat soils this is only 5%.

A nitrogen surplus is the remainder of nitrogen supply, for example via artificial fertiliser and manure, and nitrogen removal, for example via harvest of crops. Of the three soil types considered leaching of nitrogen decreases in the order: sand - clay - peat. For sandy soils leaching is largest for well drained soils with relatively deep groundwater levels and smallest for poor drained soils with shallow groundwater. In addition leaching is larger for arable land than for grassland.

These data are of importance to prevent too much leaching of nitrogen to groundwater and surface waters due to fertilisation. The Nitrates Directive obliges all Member States to prevent this. The Netherlands have developed a system of nitrogen use standards that limits both total nitrogen use and nitrogen use via animal manure. For arable and horticultural crops grown on sandy soils or loess nitrogen use standards are not yet available for 2008 and 2009.

These data will be used by an official working group to derive environmentally safe use standards for total nitrogen use and use of animal manure nitrogen. For this study data are used collected by the National Mineral Policy Monitoring Programme (LMM) of RIVM and LEI.

Key words: leaching fraction, nitrogen surplus, nitrogen leaching, LMM, groundwater, surface waters, agriculture, Nitrates Directive, nitrogen uses standards

Voorwoord

Dit rapport is gemaakt in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijk Ordening en Milieu, mede namens het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Het rapport is goedgekeurd door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM). De aanpak van de studie en de conceptversies van het rapport zijn besproken en goedgekeurd door de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen van de CDM. Het Landbouw Economisch Instituut (LEI) is verantwoordelijk voor de berekening van het stikstofoverschot, aan de hand van het protocol van de werkgroep, en voor de beschrijving hiervan in dit rapport. Het LEI heeft tevens de verschillen geanalyseerd tussen de overschotten, die met het werkgroepprotocol zijn berekend, en de overschotten die zijn berekend in 2005 met een voorloper van het werkgroepprotocol. Het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieu (RIVM) is verantwoordelijk voor de berekening van de uitspoelingsfracties. De berekeningsmethode is door de werkgroep geselecteerd uit een aantal door het RIVM aangedragen opties. Het RIVM heeft tevens de gevoeligheid van de uitkomsten voor de aannamen geanalyseerd.

De auteurs bedanken de overige werkgroepsleden, Jaap Schröder, Gerard Velthof, Jantine van Middelkoop, Wim van Dijk, Jaap Willems en Frans Aarts voor hun bijdrage. Daarnaast een woord van dank voor collega's die gegevens hebben aangeleverd dan wel eerdere conceptversies van het rapport hebben becommentarieerd, met name Co Daatselaar (LEI) en Arnoud de Klijne (RIVM).

Dico Fraters, Leo Boumans, Ton van Leeuwen en Joan Reijs.

Inhoud

Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding en doel	11
1.2 Het berekenen van de gebruiksnormen	12
1.3 De uitspoelingsfractie	15
2 Methoden en materialen	21
2.1 Algemeen	21
2.2 Meetgegevens verzameld met het LMM	21
2.3 Verzameling van de overige gegevens	26
2.4 Berekening van de uitspoelingsfractie	27
2.5 Berekening van het stikstofoverschot	31
2.6 Berekening van de stikstofuitspoeling	33
3 Resultaten en discussie	37
3.1 Berekende uitspoelingsfracties	37
3.2 Vergelijking met eerdere berekeningen	37
3.3 Robuustheid van de uitkomsten	39
4 Conclusies en aanbevelingen	55
4.1 Conclusies	55
4.2 Aanbevelingen	55
Referenties	57
Bijlage 1 Afleiden van correctiefactoren voor grondsoort en grondwatertrap	63
Bijlage 2 Berekening van het jaarspecifieke neerslagoverschot	65
Bijlage 3 Uitspoelingsfracties per gewas en grondsoort per jaar	69
Bijlage 4 Relatie uitspoelingsfractie en overschot	71
Bijlage 5 Voorbeeldberekening uitspoelingsfractie	75
Bijlage 6 Effecten van verschil in berekeningsmethoden op het bodemoverschot	81
Bijlage 7 Atmosferische stikstofdepositie	83

Samenvatting

De Nitraatrichtlijn verplicht alle lidstaten van de Europese Unie om de totale stikstofbemesting in de landbouw zodanig te reguleren dat de bemesting niet leidt tot een onacceptabele stikstofuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Ook dient het gebruik van dierlijke mest op landbouwbedrijven te worden beperkt tot maximaal 170 kg stikstof per hectare per jaar. Nederland heeft een stelsel van stikstofgebruiksnormen ontwikkeld waarmee zowel de totale stikstofbemesting als de stikstofgift met dierlijke mest wordt gereguleerd. Dit stelsel en andere maatregelen zijn vastgelegd in het Actieprogramma 2006-2009. Actieprogramma's worden in principe elke vier jaar geëvalueerd en zonodig herzien.

In 2007 is een project gestart om het Actieprogramma voor de periode 2010-2013 wetenschappelijk te onderbouwen. Voor de onderbouwing wordt een model gebruikt, het model van de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen (WOG-model). Hiermee kunnen stikstofgebruiksnormen worden afgeleid die zorg dragen voor een balans tussen de aan- en afvoer van stikstof en waarmee voldaan wordt aan de waterkwaliteitsdoelstelling uit de Nitraatrichtlijn. Een eerdere versie van dit model is ook gebruikt bij de onderbouwing van het huidige Actieprogramma. Een evaluatie van het model, na afloop van de vorige onderbouwing, heeft er toe geleid dat het model is verbeterd.

Een belangrijke parameter in het model is de uitspoelingsfractie. De uitspoelingsfractie is de verhouding tussen de actuele hoeveelheid stikstof, die uitspoelt uit de wortelzone, en de hoeveelheid stikstof die potentieel kan uitspoelen. De potentiële hoeveelheid is het stikstofoverschot op de bodembalans. De uitspoelingsfractie wordt afgeleid uit meetgegevens die zijn verkregen met het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid. Om het nieuwe Actieprogramma te onderbouwen is de afleiding verbeterd en zijn extra meetgegevens meegenomen. De extra meetgegevens zijn beschikbaar gekomen sinds de vorige onderbouwing. Verbeterd zijn (1) het berekende stikstofoverschot, vooral door ruimtelijke differentiatie van de atmosferische stikstofdepositie, ammoniakemissie en nettomineralisatie, en (2) de berekende stikstofuitspoeling, vooral door de rekenmethode voor het meerjarig gemiddelde neerslagoverschot aan te passen en door beter rekening te houden met de aanwezigheid van andere grondwatertrappen en grondsoorten op de landbouwbedrijven.

Uit de berekeningen blijkt dat de uitspoelingsfractie het grootst is bij bouwland op zeer droge zandgrond (Gt VIII) en het kleinst bij grasland op veengrond, zie Tabel S1. De uitspoelingsfractie bij nattere zandgronden is kleiner dan bij droge zandgronden, zie Tabel S2.

Tabel S1 Fractie van het stikstofoverschot op de bodembalans dat uitspoelt naar grond- of oppervlaktewater (uitspoelingsfractie) per bodemgebruik en grondsoort. Tussen haakjes het 95%-betrouwbaarheidsinterval, dit is gebaseerd op de variatie in berekende uitspoelingsfracties tussen jaren.

Bodemgebruik	Zand (Gt VIII)	Klei	Veen
Bouwland	0,89 (0,79-0,99)	0,36 (0,22-0,50)	-
Grasland	0,46 (0,40-0,51)	0,12 (0,09-0,14)	0,04 (0,03-0,06)

Tabel S2 Fractie van het stikstofoverschot op de bodembalans dat uitspoelt naar grondwater (uitspoelingsfractie) per bodemgebruik en grondwatertrap voor de zandgronden.

Bodemgebruik	Grondwatertrap (I = zeer nat, VIII = zeer droog)								
	I/II/II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VIII
Bouwland	0,04	0,07	0,28	0,38	0,45	0,43	0,58	0,74	0,89
Grasland	0,02	0,04	0,14	0,20	0,23	0,22	0,30	0,38	0,46

In deze studie is ook een globale gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat de netto-stikstofmineralisatie, de grondsoort, de grondwatertrap (Gt) en het neerslagoverschot de belangrijke parameters zijn die de grootte van de uitspoelingsfractie bepalen. De laatste twee zijn wel van invloed op de grootte van de afgeleide uitspoelingsfractie, maar het effect op de te berekenen stikstofgebruiksnorm is beperkt. De module van het WOG-model die uit de stikstofconcentratie de stikstofuitspoeling berekent, gebruikt namelijk dezelfde Gt-correctie en hetzelfde neerslagoverschot als bij het afleiden van de uitspoelingsfractie.

De volgende punten dienen nader onderzocht te worden ter verbetering van de berekening van de stikstofoverschot op de bodembalans en de stikstofuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven:

- o De netto-stikstofmineralisatie bij veengronden en moerige dalgronden is onafhankelijk van het bodemgebruik ingeschat. De relatie met ontwateringstoestand voor veen is slechts eerste benadering om differentiatie in mineralisatie aan te brengen binnen grondsoorten.
- o Er is geen uitspoelingsfractie voor moerige gronden in de zandregio.
- o De stikstofuitspoeling voor zandgronden betreft alleen de uitspoeling van nitraatstikstof naar het grondwater en niet van totaal-stikstof naar het oppervlaktewater. Voor gedraineerde zandgronden wordt dus niet de totale stikstofuitspoeling naar het oppervlaktewater bepaald, zoals bij de klei- en veengronden.
- o De stikstofuitspoeling voor de klei- en veengronden is de gemiddelde uitspoeling voor gronden in de klei- en veenregio. Er is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van andere grondsoorten en grondwatertrappen, in tegenstelling tot de stikstofuitspoeling voor zandgrond.
- o De stikstofuitspoeling voor grasland is afgeleid met de veronderstelling dat maïsland op melkveebedrijven eenzelfde uitspoelingsfractie en stikstofoverschot heeft als bouwland op akkerbouwbedrijven.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

De Nitraatrichtlijn verplicht alle lidstaten van de Europese Unie zorg te dragen voor een balans tussen de stikstofbehoefte van het gewas en de aanvoer van stikstof met bemesting. Hierbij moet rekening worden gehouden met de aanwezig minerale stikstof in de bouwvoor en de stikstof die via mineralisatie beschikbaar komt (EU, 1991, annex III). Ook verplicht de Richtlijn om het gebruik van dierlijke mest op landbouwbedrijven te beperken tot maximaal 170 kg stikstof per hectare per jaar. Nederland heeft een stelsel van stikstofgebruiksnormen ontwikkeld waarmee zowel de totale stikstofbemesting als de stikstofgift met dierlijke mest wordt gereguleerd. Dit stelsel en andere maatregelen zijn vastgelegd in het Actieprogramma 2006-2009. De Actieprogramma's dienen om de de uitspoeling van stikstof zodanig te beperken dat verontreiniging van grond- en oppervlaktewater door de landbouw wordt voorkomen. De Nitraatrichtlijn Actieprogramma's worden in principe elke vier jaar door de lidstaten zelf geëvalueerd en zonodig herzien.

In 2004 en 2005 is een project uitgevoerd door de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen (WOG) van de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) om stikstofgebruiksnormen wetenschappelijk te onderbouwen (Van Dijk et al., 2005; Schröder et al., 2004). Deze stikstofgebruiksnormen zijn vervolgens door het ministerie van Landbouw vastgesteld voor de periode 2006-2009 en opgenomen in het derde Nederlandse Actieprogramma. Voor de akker- en tuinbouwgewassen op zand- en lössgrond waren wel voor de jaren 2006 en 2007 stikstofgebruiksnormen vastgesteld, maar niet voor de jaren 2008 en 2009.

In 2007 is een project gestart om gebruiksnormen vast te stellen voor het vierde Actieprogramma voor de periode 2010-2013, en tevens voor akker- en tuinbouwgewassen op zand- en lössgrond voor 2008 en 2009. De mate waarin het stikstofoverschot op de bodembalans uitspoelt naar het grond- en oppervlaktewater is als onderdeel van dit project onderzocht.

De verhouding tussen de hoeveelheid stikstof die uitspoelt uit de wortelzone en de hoeveelheid stikstof die potentieel kan uitspoelen, het stikstofoverschot op de bodembalans, wordt de uitspoelingsfractie genoemd. De uitspoelingsfractie is de fractie van dit overschot dat uitspoelt. De uitspoeling kan theoretisch niet groter zijn dan het stikstofoverschot. Het stikstofoverschot op de bodembalans is overigens slechts een gedeelte van de totale hoeveelheid in de bodem aanwezige stikstof. Uitspoelingsfracties zijn berekend voor bouwland op dekzand- en kleigrond en voor grasland op dekzand-, klei- en veengrond. Deze uitspoelingsfracties worden gebruikt in een rekenmodel van de WOG. Dit model is in 2004 gebruikt om stikstofgebruiksnormen af te leiden (Van Dijk et al., 2005; Schröder et al., 2004) en in 2005 om de effecten van een gebruik van dierlijke mest hoger dan het voorgeschreven maximum van 170 kg stikstof per ha te onderzoeken (Schröder et al., 2005, 2007b). In de volgende paragraaf zal nader worden ingegaan op het model.

De methodiek om de uitspoelingsfracties af te leiden, zoals die is gehanteerd in 2004 en 2005, is gefragmenteerd en onvolledig beschreven. Dit komt mede doordat de methode al eerder is gehanteerd in het zogenoemde MestABC, de voorloper van het WOG-model (Willems et al., 2000; Bresser et al., 1999; Westhoek, 1995). Met het MestABC kon het effect worden berekend van de hoogte van het MINAS-stikstofoverschot op de nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater. Het

MINAS-overschot is het verschil tussen de aanvoer en de afvoer van mineralen op een landbouwbedrijf. Het gaat hierbij om mineralen die via 'de poort' worden aan- en afgevoerd. Het MestABC berekende vanuit het MINAS-stikstofoverschot een stikstofoverschot op de bodembalans, en met dat laatste stikstofoverschot werd een nitraatconcentratie in het bovenste grondwater berekend. Westhoek (1995) gebruikte in het MestABC uitspoelingsfracties die met het model ANIMO waren afgeleid. Deze uitspoelingsfracties zijn ook gebruikt om het toelaatbaar milieukundig stikstofoverschot te berekenen om de MINAS-normen te onderbouwen (Van Eck, 1995). Bresser et al. (1999) gebruikten voor het eerst uitspoelingsfracties¹ die op LMM-metingen waren gebaseerd, bij de berekening van de effecten van een aanvullend stikstofbeleid voor de uitspoelingsgevoelige zandgronden.

Bij de evaluatie van het project uit 2004 en 2005 kwam naar voren dat er zowel behoefte is aan een verbeterde methodiek, voor het afleiden van de uitspoelingsfracties, als aan een goede beschrijving hiervan. De gewenste verbeteringen betreffen onder andere:

- de netto-stikstofmineralisatie bij hoogveengronden en organisch-stofrijke zandgronden (dalgronden) in de zandregio;
- een evaluatie van de gebruikte gegevens voor het neerslagoverschot;
- het gebruik van recente meetgegevens van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM).

Het doel van dit rapport is om een volledige beschrijving te geven van de verbeterde methodiek voor het afleiden van de uitspoelingsfracties voor bouwland en grasland op dekzand, klei en veen op basis van LMM-gegevens. Er zijn geen uitspoelingsfracties afgeleid voor duinzand en löss. Voor deze grondsoorten zijn geen of onvoldoende gegevens van LMM-bedrijven beschikbaar om uitspoelingsfracties af te leiden. In een aparte studie zijn voor deze grondsoorten, op basis van andere informatie, wel uitspoelingsfracties afgeleid (Velthof en Fraters, 2007). In de toekomst zal het wel mogelijk zijn om voor löss uitspoelingsfracties af te leiden, omdat vanaf 2006 in het LMM 50 landbouwbedrijven in de lössregio zijn opgenomen waar zowel de landbouwpraktijk als de waterkwaliteit wordt gemonitord (Fraters et al., 2007).

In paragraaf 1.2 zal eerst inzicht worden gegeven in de berekening van de gebruiksnormen met het WOG-model, waarmee kan worden voldaan aan de doelstellingen van de Nitraatrichtlijn. De rol van de uitspoelingsfractie hierin en de wijze waarop deze op hoofdlijnen is afgeleid wordt besproken in paragraaf 1.3. In hoofdstuk 2 is beschreven op welke wijze de basisgegevens verzameld zijn en hoe de berekeningen in detail zijn uitgevoerd. De resultaten worden gepresenteerd en bediscussieerd in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 sluit af met conclusies en aanbevelingen.

1.2 Het berekenen van de gebruiksnormen

Het WOG-model (Schröder et al., 2004) berekent gebruiksnormen waarmee per gewas dan wel op bouwplanniveau en per grondsoort dan wel per combinatie van grondsoorten, aan de doelstellingen van de Nitraatrichtlijn voor waterkwaliteit wordt voldaan. Een belangrijk uitgangspunt bij de berekeningen is dat de Nitraatrichtlijndoelstelling niet op elk moment op elke plek hoeft te worden gerealiseerd, maar dat gemiddeld in ruimte en tijd aan de doelstelling moet worden voldaan. Het beleid kan aangeven welke middeling toelaatbaar is.

Het WOG-model kent twee modulen, de eerste module berekent het stikstofoverschot op de bodembalans op basis van informatie over onder andere het gebruik van kunstmest en dierlijke mest.

¹ De methodiek is beschreven in een interne RIVM-nota.

De tweede module berekent de stikstofconcentratie als gevolg van dit stikstofoverschot in de bovenste meter van het grondwater, drainwater of slootwater. De beschrijving van beide modules is hieronder op hoofdlijnen gegeven.

Het stikstofoverschot op de bodembalans

Het stikstofoverschot op de bodembalans is de potentiële hoeveelheid stikstof die kan uitspoelen en is berekend als het verschil tussen de hoeveelheid aangevoerde en afgevoerde stikstof. De aanvoer betreft de stikstof die met dierlijke mest, kunstmest en gewasresten op de bodem komt, de minerale stikstof die aan het begin van het groeiseizoen in de bouwvoor aanwezig is (N_{min} , voorjaar), de stikstof die is aangevoerd met atmosferische depositie, de stikstof die is gebonden door vlinderbloemigen en de stikstof die beschikbaar komt bij mineralisatie van organische stof in de bodem (met name gewasresten en 'nawerkende' mestresten). De afvoer betreft, naast de hoeveelheid stikstof die wordt afgevoerd met het gewas, ook de stikstof die als ammoniak verloren gaat tijdens beweiding en het uitrijden van dierlijke mest, de investering in (nieuwe) gewasresten, de 'investering in N_{min} voorjaar' in het volgende jaar en het vasthouden van een deel van de stikstof die met organische mest is verstrekt (en als nawerking in het volgende jaar bij de aanvoerposten wordt ingeboekt) (Schröder et al., 2004, 2007b).

In de berekening zijn aan aantal aan- en afvoerposten tegen elkaar weggestreept. Dit zijn 'N_{min} voorjaar' en 'investering N_{min} voorjaar', de mineralisatie van organische stof en de investering in organische stof (in- en uitboeken van de bijdrage van gewasresten, mestresten, groenbemesters). Verondersteld wordt dat de jaarlijkse aanvoer van organische stikstof in de vorm van gewasresten, groenbemesters en organische mest gelijk is aan de jaarlijkse afbraak, net als Schröder et al. (2004), zodat het totale stikstofgehalte van de bodem constant blijft. Alleen voor de veen- en dalgronden is een uitzondering gemaakt op deze regel. Hier wordt wel verondersteld dat de totale hoeveelheid stikstof in de bodem afneemt².

Het stikstofoverschot op de bodembalans, dat op deze wijze is berekend, zal of denitrificeren of uitspoelen naar grond- en oppervlaktewater. Denitrificatie is de afbraak van nitraat tot gasvormige stikstofverbindingen. Hoe hoger de denitrificatie, hoe lager de uitspoeling.

De stikstofuitspoeling

Het is bekend dat grondsoorten verschillen in de mate waarin het stikstofoverschot uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater. Steenvoorden (1988) stelde al in de tachtiger jaren van de vorige eeuw vast dat de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater onder landbouwbedrijven in de zandregio hoger is dan in de kleiregio en het laagst is bij bedrijven in de veenregio. Dit verschil wordt veroorzaakt door verschillen in denitrificatie. Denitrificatie treedt op onder zuurstofloze omstandigheden. Daarnaast is er gemakkelijk afbreekbare organische stof nodig (energiebron voor denitrificerende bacteriën). De denitrificatie in veengronden is hoog, door het hoge organisch-stofgehalte en de hoge grondwaterstanden (Van Beek et al., 2004). De kans op zuurstofloze omstandigheden wordt ook bepaald door textuur. In grond met veel fijne bodemdeeltjes, zoals kleigronden, is kans op denitrificatie hoger dan in gronden met grovere deeltjes, zoals zandgronden (Granli en Bøckman, 1994). De grondwaterstand bepaalt ook of zuurstofloze omstandigheden in zandgronden voorkomen. Naarmate de grondwaterstand meer in contact komt met de wortelzone is er minder zuurstof en meer nitraat voor denitrificatie beschikbaar is. De denitrificatie is daardoor groter in

² Schröder et al. (2004, 2007) maakten alleen een uitzondering voor veengronden. Een recente analyse van onderzoeks- en proefveldgegevens heeft geleid tot de conclusie dat ook voor dalgronden een uitzondering dient te worden gemaakt (Schröder et al., 2007a).

natte zandgronden (ondiepe grondwatertrap) dan in droge zandgronden (diepe grondwatertrap). In sommige zandgronden komen onder de wortelzone lagen met organische stof voor (moerige lagen). In deze lagen kan ook denitrificatie optreden. Het gehalte aan afbreekbare organische stof is hoger in grasland dan in bouwland (Velthof, 2003), waardoor er meer denitrificatie is in grasland dan in bouwland. Deze verschillen in denitrificatie dragen bij aan de verschillen in gemeten nitraatconcentraties in het grondwater of bodemvocht tussen grondsoorten en verschillend landgebruik. De nitraatconcentraties zijn dus veelal lager in veen- en kleigronden dan in zandgronden en binnen de zandgronden heeft de grondwatertrap een groot effect; de nitraatconcentraties zijn hoger in droge zandgronden dan in natte zandgronden. In zandgronden met moerige lagen is de nitraatconcentratie vaak lager dan in zandgronden zonder moerige lagen. Nitraatconcentraties onder grasland zijn vaak lager dan onder bouwland. De verschillen worden niet alleen in het LMM gevonden, maar ook in projecten als Sturen op Nitraat (Hack-ten Broeke et al., 2004), Koeien en Kansen (Oenema et al., 2007) en Telen met Toekomst (De Ruijter et al., 2006).

Bij het afleiden van de gebruiksnormen is gekeken welke water op een landbouwbedrijf het meest direct wordt beïnvloed door de landbouwpraktijk en tevens vanuit bescherming van het milieu het meeste aandacht verdient. Dit is afhankelijk van de grondsoort. Voor zandgronden is de bescherming van het grondwater als uitgangspunt genomen en is de hoeveelheid nitraat in de bovenste meter van het grondwater maatgevend voor de uitgespoelde hoeveelheid stikstof. Het doel is om te hoge nitraatconcentraties in het grondwater, dat gebruikt kan worden voor de winning van drinkwater, te voorkomen. Voor klei- en veengronden is de bescherming van het oppervlaktewater als uitgangspunt genomen. Om die reden is de hoeveelheid totaal-stikstof maatgevend voor de berekening van de stikstofuitspoeling en niet alleen nitraatstikstof. Voor eutrofiëring van oppervlaktewater is de totale hoeveelheid stikstof van belang en niet alleen de nitraatstikstof. Bij kleigronden is de hoeveelheid stikstof in het drainwater maatgevend, bij veengronden de hoeveelheid in het slotwater.

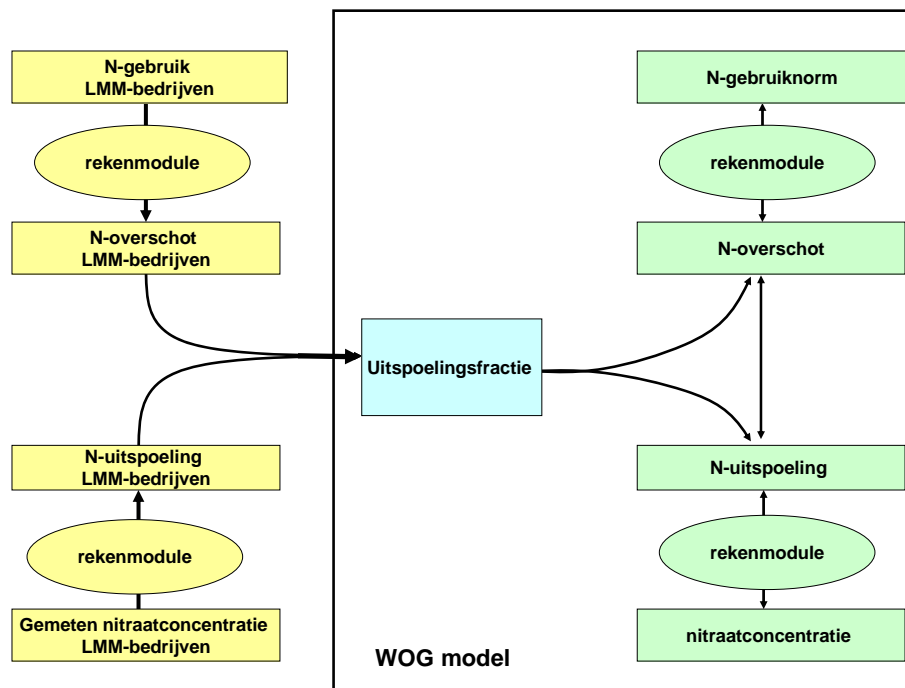
Bij de zandgronden is onderscheid gemaakt tussen gronden op basis van de grondwatertrap (Gt), dit wil zeggen de diepte van de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (Locher en De Bakker, 1993). Uit onderzoek is gebleken dat bij eenzelfde stikstofgebruik geldt dat hoe dieper de gemiddelde grondwaterstand is, hoe hoger de nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater is (Boumans et al., 2005, 1989; Hack ten Broeke et al, 2004; De Ruijter et al., 2007; Steenvoorden, 1988). Het beleid maakt onderscheid tussen twee groepen van zandgronden bij het berekenen van een gemiddelde stikstofgebruiksnorm per gewas(groep), de uitspoelingsgevoelige zandgronden en de overige zandgronden. De uitspoelingsgevoelige zandgronden omvatten de gronden met een gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) van 0,70 m beneden maaiveld. Dit zijn de gronden met de Gt VII en Gt VIII en een deel van de gronden met Gt VI (Van Kekem et al., 2005). Voor onderzoek worden meestal drie groepen onderscheiden, soms drainageklassen genoemd (Boumans et al., 2001); slecht drainerend / natte gronden (Gt I, II, II*, III, III*, IV), matig drainerend / matig droog (Gt V, V* en VI) en goed drainerend / droog (Gt VII en VIII).

Bij de klei- en veengrond is geen onderscheid gemaakt op basis van de grondwatertrap. In het algemeen zijn de verschillen in gemiddelde grondwaterstand bij de klei- en veengronden kleiner dan bij de zandgronden. Ook door het beleid worden deze gronden niet verder onderscheiden. Het model berekent daarom voor klei- en veengronden een gemiddelde uitspoeling.

1.3 De uitspoelingsfractie

De uitspoelingsfractie geeft aan welk deel van de stikstof die na afloop van het groeiseizoen in de bodem aanwezig is, uitspoelt naar het bovenste grondwater. De fractie wordt berekend door de stikstofuitspoeling (in kg per ha per jaar) te delen door het stikstofoverschot op de bodembalans (kg per ha per jaar). De uitspoelingsfracties zijn afgeleid met behulp van meetgegevens van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM), zie linkerkant van Figuur 1.1.

De deelnemers aan het LMM worden geselecteerd uit het Bedrijven InformatieNet (BIN) van het LEI. In het BIN zijn de volgende hoofdtypen onderscheiden: (1) akkerbouw, (2) tuinbouw, (3) blijvende teelten (fruitteelt en boomkwekerij), (4) graasdieren (rundvee, paarden, schapen en geiten), (5) hokdieren (intensieve veehouderij), (6) gewassencombinaties, (7) veeteeltcombinaties en de (8) gewassen veeteeltcombinaties. De akkerbouwbedrijven in het LMM, zijn de bedrijven in het LEI-BIN die behoren tot hoofdtype 1. De extensieve groenteteelten (onder andere conservengroenten en de grote oppervlakten knolselderij, waspeen, winterpeen, spinazie, tuinbonen, stamsperziebonen) worden tot de akkerbouw gerekend, wanneer een bepaalde hectaregrens wordt overschreden (Poppe, 2004). Melkveebedrijven zijn bedrijven met NEG type 4110 (sterk gespecialiseerde melkveebedrijven), 4120 (gespecialiseerde melkveebedrijven) en 4370 (melkveebedrijven) en maken deel uit van hoofdtype 4 (graasdierbedrijven). De resultaten van de overige bedrijfstypen, voor zover beschikbaar in het LMM³, zijn niet gebruikt voor het afleiden van de uitspoelingsfracties voor bouwland of voor grasland.



Figuur 1.1 De uitspoelingsfractie, schematische weergave van de afleiding van de uitspoelingsfractie op basis van LMM meetgegevens (links) en gebruik bij het afleiden van Nitraatrichtlijnverantwoorde gebruiksnormen (rechts). De rekenmodules voor het afleiden van de uitspoelingsfracties worden besproken in paragraaf 2.5 (stikstofoverschot) en paragraaf 2.6 (stikstofuitspoeling). De rekenmodules in het WOG-model worden besproken door Van Dijk en Schröder (2007).

³ De bedrijfstypen tuinbouw en blijvende teelten zijn niet in het LMM vertegenwoordigd.

De uitspoelingsfractie zal kleiner zijn naarmate nitraat in een bodem meer denitrificeert. Op basis van hetgeen besproken is in de vorige paragraaf zal daarom gelden dat:

- o de uitspoelingsfractie groter is voor zandgrond dan voor kleigrond en het laagste voor veengrond;
- o de uitspoelingsfractie groter is voor bouwland dan voor grasland;
- o de uitspoelingsfracties voor droge zandgronden groter zijn dan voor natte.

De berekening van de uitspoelingsfractie is dus een simpele deling van uitspoeling door overschot. Echter zowel het stikstofoverschot als de stikstofuitspoeling kunnen niet direct worden gemeten, maar moeten worden afgeleid uit meetgegevens, forfaits en/of correctiefactoren. Dit wordt in detail besproken in respectievelijk paragraaf 2.5 en paragraaf 2.6.

In het WOG-model (Figuur 1.1 rechterkant) wordt de uitspoelingsfractie gebruikt om op basis van het stikstofoverschot de stikstofuitspoeling te berekenen of andersom op basis van de 'gewenste' stikstofuitspoeling een 'maximaal toelaatbaar' stikstofoverschot (Schröder et al., 2007b; Van Dijk en Schröder, 2007). Op deze wijze kan met het model zowel een gebruiksnorm worden berekend waarmee aan de doelstellingen van de Nitraatrichtlijn wordt voldaan, als de consequenties worden berekend van een andere gebruiksnorm voor de stikstofconcentratie in het grond- of oppervlaktewater.

Algemene uitgangspunten

De uitspoelingsfractie wordt berekend als de stikstofuitspoeling in een bepaald jaar gedeeld door het stikstofoverschot van het jaar ervoor. Hiervoor zijn de gegevens gebruikt van alle LMM-bedrijven waarvoor alle relevante gegevens beschikbaar waren. Dit betreft dus zowel de stikstofconcentratie in grond- of oppervlaktewater als de gegevens van de landbouwpraktijk van het voorafgaande jaar waarmee een stikstofoverschot op de bodembalans kon worden berekend. Deze procedure is ook gevolgd in eerdere studies. De aanname is dat het effect van landbouwkundig handelen in het erop volgende uitspoelingsseizoen volledig meetbaar is in het bovenste grondwater of het oppervlaktewater. Het is bekend dat het grootste effect inderdaad in het erop volgende uitspoelingsseizoen meetbaar is, echter ook in latere uitspoelingsseizoenen zijn de effecten nog aanwezig (zie bijvoorbeeld Meinardi en Van den Eertwegh, 1997; Boumans en Verloop, 2007). Het is echter nog niet mogelijk om landbouwpraktijk van voorafgaande jaren te koppelen aan de waterkwaliteitsgegevens, deels omdat deze er niet zijn.

Per jaar is een gemiddelde stikstofuitspoeling en een gemiddeld stikstofoverschot berekend voor de groep van akkerbouwbedrijven en de groep van melkveebedrijven die in dat jaar deelnamen. Uitgangspunt is dat een jaargroep uit minimaal zeven bedrijven dient te bestaan. Dit aantal is arbitrair, maar dit minimum aantal maakt de uitkomsten van de berekeningen robuuster en minder gevoelig voor toevallige uitschieters. Deze procedure is ook gevolgd voor de evaluatie van de meststoffenwet (Hooijboer et al., 2007). Vervolgens is per jaar per bedrijfstype en per grondsoortregio een uitspoelingsfractie berekend.

Het WOG-model rekent met uitspoelingsfracties per bodemgebruik per grondsoort. De metingen op de LMM-bedrijven leveren alleen gegevens op per bedrijfstype per grondsoortregio. Per bedrijfstype komen meerdere soorten gewassen voor. Ook komen binnen de bedrijfstypen per grondsoortregio andere grondsoorten voor dan de hoofdgrondsoort (grondsoort die de naam geeft aan de grondsoortregio). Op een bedrijf in de zandregio kunnen naast zandgronden dus ook lössgrond, dalgrond, kleigrond en/of veengrond voorkomen. De LMM-metgegevens per bedrijfstype – grondsoortregio moeten dus worden vertaald naar uitspoelingsfracties per gewas – grondsoort. Deze studie beperkt zich tot het afleiden van uitspoelingsfracties voor de het bodemgebruik bouwland en grasland en de grondsoorten dekzand, klei en veen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gegevens

afkomstig van de bedrijfstypen akkerbouw en melkvee in de hoofdgrondsoortregio's zandregio, kleiregio en veenregio. Om dit te kunnen doen zijn een aantal aannamen gedaan:

- De stikstofuitspoeling en het stikstofoverschot voor bouwland per grondsoortregio zijn gelijk aan die voor de akkerbouwbedrijven in de betreffende regio.
- De stikstofuitspoeling voor grasland in de zand- en kleiregio is gelijk aan het verschil tussen de totale stikstofuitspoeling op melkveebedrijven en de stikstofuitspoeling van het bouwland op de melkveebedrijven.
- Het stikstofoverschot voor grasland in de zand- en kleiregio is gelijk aan het verschil tussen het totale stikstofoverschot op melkveebedrijven en het stikstofoverschot van het bouwland op de melkveebedrijven.
- De stikstofuitspoeling en het stikstofoverschot voor grasland op veengronden is gelijkgesteld aan die voor de melkveebedrijven in de veenregio.

Bouwland op melkveebedrijven betreft meestal maïsland al dan niet in rotatie met grasland. Zowel de stikstofgift als de stikstofafvoer met het gewas zal voor maïsland gemiddeld anders zijn dan voor bouwland op akkerbouwbedrijven. Daarnaast zal vanwege de voorkomende rotatie met grasland vaak sprake zijn van een nettomineralisatie bij het maïsland en een nettovastlegging bij grasland (Boumans en Verloop, 2007). Het is echter niet mogelijk om voor de LMM-melkveebedrijven, waar het overschot op bedrijfsniveau wordt bepaald, op dergelijke wijze onderscheid te maken tussen grasland en maïsland. Voor melkveebedrijven in de veenregio geldt dat enerzijds het areaal bouwland op deze bedrijven laag is (gemiddeld 5%) en dat anderzijds geen gegevens beschikbaar zijn om een uitspoelingsfractie te berekenen voor bouwland op veengrond. In het LMM ontbreken akkerbouwbedrijven in de veenregio. Deze komen namelijk nauwelijks voor (< 3% van het landbouwareaal; CBS Landbouwtellinggegevens 1999 verwerkt door LEI).

Het stikstofoverschot

Het stikstofoverschot op de bodembalans (in kg per ha per jaar) wordt berekend in twee stappen voor de LMM-bedrijven. Eerst wordt het stikstofoverschot op de bedrijfsbalans berekend. Daarna wordt het overschot op de bodembalans berekend via een correctie op het overschot op de bedrijfsbalans. De rekenprocedure is vastgelegd in een protocol zodat deze overeenkomt met die in het WOG-model, zie Figuur 1.1. De procedure wordt besproken in paragraaf 2.5. Voor de verdere berekeningen is aangenomen dat binnen een bedrijf het stikstofoverschot niet verschilt tussen verschillende bodemtypen of grondwatertrappen.

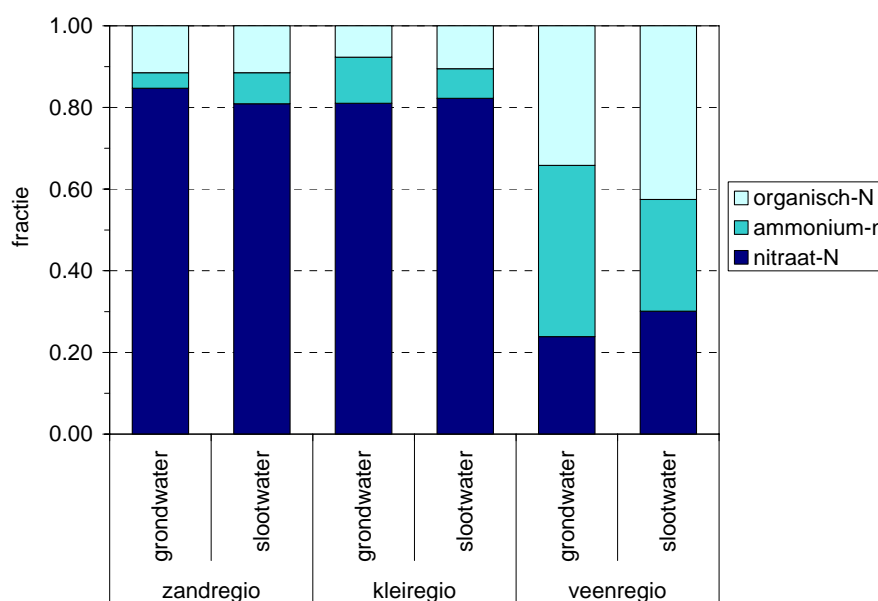
De stikstofuitspoeling

De stikstofuitspoeling (in kg per ha per jaar) voor de zandregio wordt berekend door de nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater (kg stikstof per m³), gemeten door het LMM op de landbouwbedrijven bedrijven in de zandregio, te vermenigvuldigen met het berekende neerslagoverschot (m³ per ha per jaar; zie volgende subparagraaf).

De op deze wijze berekende stikstofuitspoeling geeft de gemiddelde nitraatstikstofuitspoeling op de landbouwbedrijven. Gemiddeld komt 85% van de stikstof in het bovenste grondwater onder landbouwbedrijven in de zandregio voor in de vorm van nitraat, zie Figuur 1.2.

Op de deelnemende landbouwbedrijven komen meerdere grondsoorten en grondwatertrappen voor. De berekening geeft daarom de gemiddelde uitspoeling voor alle aanwezige grondsoorten en grondwatertrappen. Voor dekzandgrond wordt een uitspoelingsfractie per grondwatertrap berekend op basis van de bedrijfsgegevens door middel van een correctiefactor voor de aanwezigheid van moerige gronden (dalgronden en veengronden) op de bedrijven en een correctiefactor voor de aanwezigheid van andere grondwatertrappen. De correctiefactoren zijn afgeleid met behulp van regressieanalyse. De correctiefactor voor moerige gronden is speciaal voor deze studie afgeleid op basis van LMM-

meetgegevens. De correctiefactoren voor de verschillende grondwatertrappen zijn afkomstig uit Boumans et al. (1989), zie Tabel 1.1. Deze Gt-correctiefactoren komen redelijk overeen met Gt-correctiefactoren afgeleid in veld-, lysimeter- en modelstudies (Van Eck, 1995; bijlage VIII in Goossens en Meeuwissen, 1990). De Boumans 'Gt-correctiefactoren' worden ook in het WOG-model gebruikt. De Gt-correctiefactor geeft de verhouding aan tussen de nitraatconcentratie bij de droogste grond (Gt VIII) en die bij andere gronden, bij gelijke stikstof bemesting. De nitraatuitspoeling voor andere Gt's wordt berekend door de uitspoeling bij Gt VIII te vermenigvuldigen met de betreffende Gt-correctiefactor. Hierbij wordt aangenomen dat het stikstofverschot evenredig toeneemt met de bemesting. De nitraatuitspoeling voor andere Gt's wordt berekend door de uitspoeling bij Gt VIII te vermenigvuldigen met de betreffende Gt-correctiefactor.



Figuur 1.2 Verhouding tussen de stikstofcomponenten (organisch-stikstof, ammonium en nitraat) in grondwater (bemonsterd via zowel boorgaten als drains) en slootwater van landbouwbedrijven in de zand-, klei en veenregio (metingen bij BIN-jaren 2002-2004). Bron: LMM.

Tabel 1.1 Gt-correctiefactoren en hun standaardafwijking (SD: maat voor spreiding in meetgegevens).
Bron: Boumans et al. (1989).

Gt	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VIII
gemiddeld	0,05	0,05	0,08	0,31	0,43	0,50	0,48	0,65	0,83	1,00
SD	0,09	0,09	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,07	0,09

De stikstofuitspoeling voor kleigronden wordt berekend door de in het LMM gemeten totaalstikstofconcentratie in plaats van de nitraatconcentratie te vermenigvuldigen met het berekende neerslagoverschot. Voor veengronden wordt ook uitgegaan van de totaalstikstofconcentratie. Hierbij worden de gemeten concentraties in het slootwater gebruikt en niet de concentratie in het bovenste grondwater. In het bovenste grondwater van landbouwbedrijven in de veenregio, en in mindere mate ook in de kleiregio, komen soms hoge ammoniumconcentraties voor. Dit is waarschijnlijk het gevolg van anaerobe afbraak van veen, aangezien de concentratie met de diepte toeneemt (Meinardi, 2004). Het is

niet zeker of, en zo ja in welke mate, dit grondwater met verhoogde ammoniumconcentraties in de winterperiode wordt afgevoerd naar de sloten op de landbouwbedrijven. Van Beek et al. (2007) laten zien dat de hoogte van het water in de sloot van invloed is op de waterstroming in het naastgelegen perceel, en dat naarmate de slootwaterstand hoger is, de voeding van de sloot vooral geschiedt via ondiepe stroombanen.

Het neerslagoverschot

Bij de berekening van de uitspoeling wordt een jaarspecifiek neerslagoverschot ($P_{n,j}$) gebruikt. Dit is berekend door het meerjarig gemiddelde overschot (P_n) te vermenigvuldigen met een jaarspecifieke factor. Het meerjarig gemiddelde neerslagoverschot is het gemiddelde neerslagoverschot voor de periode 1971-2000. De jaarspecifieke factor is een maat voor de grootte van het neerslagoverschot in een meetjaar ten opzichte van andere meetjaren in de periode 1991-2004. Deze jaarspecifieke factor wordt berekend met behulp van het relatieve neerslagoverschot per jaar ($P_{n,r}$), zie Bijlage 2.

Het meerjarig gemiddelde neerslagoverschot is berekend met het STONE-model waarbij neerslaggegevens van het KNMI zijn gebruikt van de periode 1971-2000 (Van Bakel et al., 2007; Massop et al., 2005). Het meerjarig gemiddelde neerslagoverschot is berekend door rekening te houden met het bodemgebruik, de grondsoort en de grondwatertrap. Dit zijn de factoren die van invloed zijn op de mate waarin de neerslag verdampt dan wel uitspoelt. Bij de afleiding van de uitspoelingsfractie worden dezelfde meerjarig gemiddelde neerslagoverschotten gebruikt als in het WOG-model. In eerdere studies zijn de gegevens uit de zogenoemde HELP-tabellen gebruikt, zoals gepubliceerd door Van Drecht en Schepers (1998). In het STONE-model zijn echter de nieuwste inzichten verwerkt. Een bijkomend voordeel van het gebruik van de zelfde cijfers voor neerslagoverschot is dat de berekende nitraatconcentraties met het STONE-model en het WOG-model beter onderling zijn te vergelijken.

Het relatieve neerslagoverschot wordt berekend met gegevens van de bemonsterde landbouwbedrijven, zoals de datum en de grondwaterstand op het moment van bemonsteren (Boumans et al., 2001). Bij de berekening worden ook de actuele neerslag- en verdampingsgegevens gebruikt voor de periode voorafgaande aan de bemonstering. Het relatieve neerslagoverschot blijkt voor landbouwbedrijven in de zandregio (Fraters et al., 2005) en in de kleiregio (Rozemeijer et al., 2006) de belangrijkste verklaring te geven voor verschillen in gemeten nitraatconcentraties tussen jaren. Dit ondanks het feit dat voor de berekening niet gewas- en bodemtype specifiek wordt gerekend, maar alleen voor de combinatie gras op dekzand.

Gebruik van gegevens op bedrijfsniveau

Een belangrijk voordeel van het gebruik van LMM-gegevens is dat de berekende uitspoelingsfracties, die worden gebruikt om nitraatconcentraties van praktijkbedrijven te berekenen, zijn gebaseerd op gegevens die ook zijn verzameld op praktijkbedrijven. Er kleven echter zoals hierboven besproken ook nadelen aan het gebruik van deze gegevens. Omdat de vastlegging van het stikstofgebruik en stikstofafvoer en de metingen van de waterkwaliteit plaatsvinden op bedrijfsniveau, is er sprake van een complexe onderzoekssituatie. De gegevens hebben betrekking op meerdere gewassen, grondsoorten en grondwatertrappen binnen een bedrijf. De reden om ondanks deze bezwaren toch te werken met gegevens op bedrijfsniveau is dat gegevens op perceelsniveau, afkomstig van proefveldonderzoek, schaars zijn en mogelijk niet representatief.

Proefveldgegevens zijn wel gebruikt om de uitkomsten van het onderzoek met de LMM-gegevens globaal te toetsen. Voor deze globale toetsing van de uitkomsten is tevens gebruikgemaakt van de gegevens verzameld in het project Telen met Toekomst (TmT). Dit betreft onderzoek op praktijkbedrijven in de akkerbouw en vollegrondsgroententeelt.

2 Methoden en materialen

2.1 Algemeen

In het vorige hoofdstuk is aangegeven waarom welke gegevens gebruikt zijn en zijn argumenten gegeven voor de keuzen en aannamen, die zijn gemaakt bij de berekeningen. Dit hoofdstuk bespreekt de wijze waarop de gegevens zijn verzameld en op welke wijze de berekeningen zijn uitgevoerd. Eerst zal een overzicht worden gegeven van de meetgegevens, die zijn verzameld met het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (paragraaf 2.2). Daarna worden in paragraaf 2.3 de andere verzamelde gegevens besproken.

Bij de bespreking van de berekeningen zal eerst in algemene zin worden aangegeven hoe de uitspoelingsfractie is berekend (paragraaf 2.4), daarna worden achtereenvolgens de berekening van het stikstofoverschot op de bodembalans (paragraaf 2.5) en van de stikstofuitspoeling (paragraaf 2.6) in detail besproken. In Bijlage 5 wordt aan de hand van een voorbeeld duidelijk gemaakt hoe de stikstofuitspoeling en de uitspoelingsfractie worden berekend.

2.2 Meetgegevens verzameld met het LMM

Voor de berekening is gebruikgemaakt van meetgegevens over de landbouwpraktijk en de waterkwaliteit uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) uit de zandregio, kleiregio en veenregio, en voor de bedrijfstypen akkerbouw en melkvee (Fraters en Boumans, 2005). Voor de lössregio bleken onvoldoende waarnemingen beschikbaar, zie Tabel 2.1.

Voor de zandregio zijn bedrijfsgegevens beschikbaar vanaf het landbouwpraktijkjaar 1991, de bijbehorende waterkwaliteitsmetingen zijn verricht in 1992 (april-september). Voor de akkerbouwbedrijven zijn 11 meetjaren en voor de melkveebedrijven 13 meetjaren beschikbaar met zeven of meer bedrijven, zie Tabel 2.1. Voor akkerbouw zijn in totaal de gegevens van 152 bedrijfsbemonsteringen beschikbaar, waarvan er 149 zijn gebruikt. De bemonsteringen zijn uitgevoerd op 71 verschillende akkerbouwbedrijven⁴, zie Figuur 2.1. De akkerbouwbedrijven in de periode 1991-1994 waren beperkt tot bedrijven in het Noordelijk zandgebied en de Veenkoloniën. Vanaf 1996 is de selectie niet beperkt geweest. Voor melkveebedrijven zijn 499 bedrijfsbemonsteringen beschikbaar, waarvan er 498 zijn gebruikt. De bemonsteringen zijn uitgevoerd op 230 melkveebedrijven⁵, zie Figuur 2.2.

Voor de kleiregio zijn bedrijfsgegevens beschikbaar vanaf het landbouwpraktijkjaar 1996, de bijbehorende waterkwaliteitsmetingen zijn verricht in de winter van 1996-1997 (oktober-april). Voor zowel de akkerbouw als de melkveehouderij zijn acht meetjaren beschikbaar met zeven of meer bedrijven, zie Tabel 2.1. Voor akkerbouw zijn in totaal de gegevens van 171 bedrijfsbemonsteringen beschikbaar, waarvan er 167 zijn gebruikt. De bemonsteringen zijn uitgevoerd op 62 verschillende

⁴ In totaal zijn op deze akkerbouwbedrijven in de zandregio bedrijven circa 3 600 boringen verricht en zijn 375 mengmonsters geanalyseerd

⁵ In totaal zijn op deze melkveebedrijven in de zandregio bedrijven 12 500 boringen verricht en zijn 1 550 mengmonsters geanalyseerd

akkerbouwbedrijven⁶, zie Figuur 2.1. Voor melkveebedrijven zijn 163 bedrijfsbemonsteringen beschikbaar, waarvan 157 zijn gebruikt. De bemonsteringen zijn uitgevoerd op 50 melkveebedrijven⁷, zie Figuur 2.2.

Tabel 2.1 Aantal LMM-bedrijven per jaar waarvoor bedrijfsvoeringsgegevens verzameld zijn per bedrijfstype, regio en stikstofoverschotniveau² voor de periode 1991-2004 waarvoor zowel landbouwkenmerken als milieukwaliteitsgegevens beschikbaar zijn. Combinaties met minder dan zeven bedrijven zijn niet gebruikt in de berekeningen en zijn geel gemarkeerd.

Bedrijfstype	Regio	N-niveau	landbouwpraktijkjaar													
			91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
			Aantal bedrijven													
Akkerbouw	Zand	Alle	18	19	0	16	0	10	11	8	8	3	9	16	15	19
		Laag	9	9	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8	7	9
		Hoog	9	9	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8	7	9
	Klei	Alle	0	0	0	0	0	4	11	26	25	24	18	8	28	27
		Laag	0	0	0	0	0	0	0	13	12	12	9	0	14	13
		Hoog	0	0	0	0	0	0	0	13	12	12	9	0	14	13
	Löss	Alle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	4
		Laag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Hoog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melkvee	Zand	Alle	67	63	31	51	1	13	18	18	22	15	26	33	63	78
		Laag	33	31	15	25	0	0	9	9	11	7	13	16	31	39
		Hoog	33	31	15	25	0	0	9	9	11	7	13	16	31	39
	Klei ¹	Alle	1	1	0	1	1	2	16	22	26	25	11	16	18	23
		Laag	0	0	0	0	0	0	8	11	13	12	0	8	9	11
		Hoog	0	0	0	0	0	0	8	11	13	12	0	8	9	11
	Veen	Alle	0	0	0	0	16	0	0	10	0	0	5	6	10	20
		Laag	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	5	6	0	10
		Hoog	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	Löss	Alle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	4	6
		Laag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Hoog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

¹ Bedrijven bemonsterd voor 1996 (landbouwpraktijkjaren 1991-1995) hoorden oorspronkelijk tot de zandregio en zijn als zodanig bemonsterd. Na een herindeling van de regio's zijn deze alsnog toebedeeld aan de kleiregio.

² Er zijn (bij meer dan 14 bedrijven) twee even grote groepen gemaakt op basis van het berekende stikstofoverschot op de bodembalans. De bedrijven met een stikstofoverschot lager dan de mediane waarde zijn in de groep 'laag' ingedeeld, de bedrijven met een stikstofoverschot hoger dan de mediaan in de groep 'hoog'.

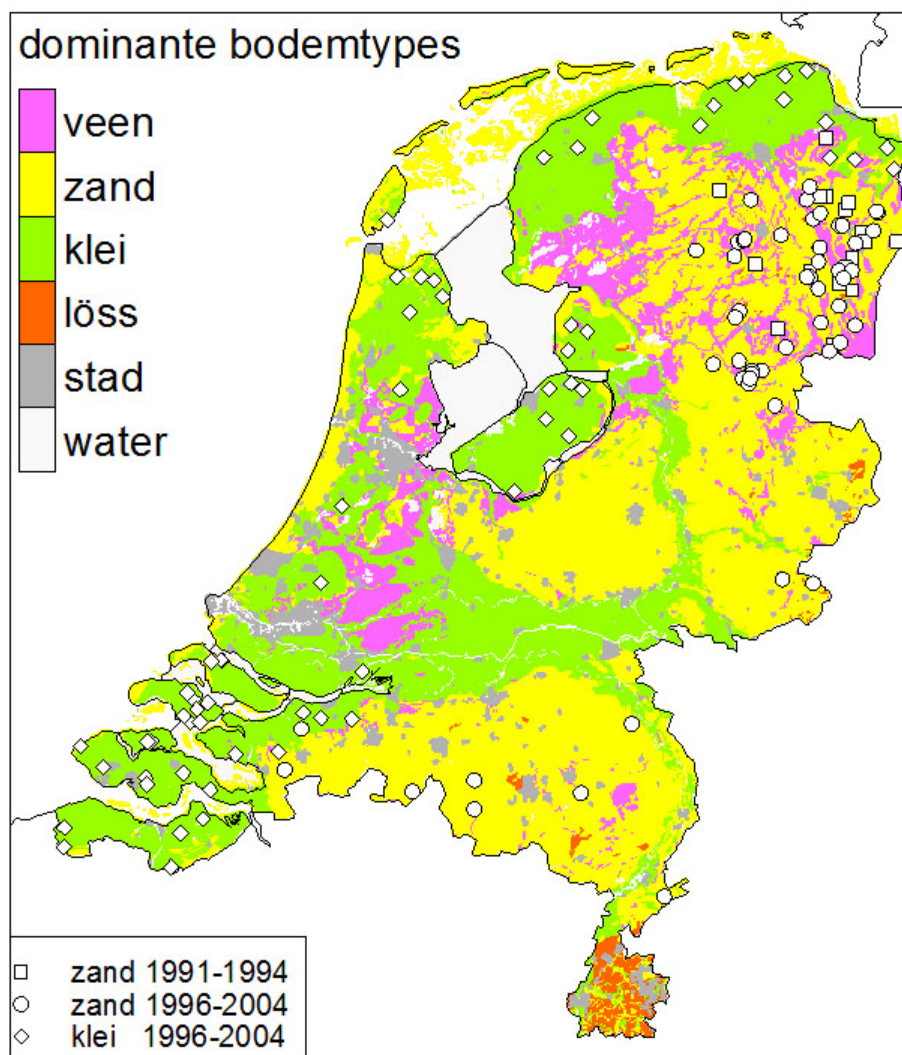
Voor de veenregio zijn bedrijfsgegevens beschikbaar vanaf het landbouwpraktijkjaar 1995, de bijbehorende waterkwaliteitsmetingen zijn verricht in de winter van 1995-1996 (november-april). Voor de melkveehouderij zijn vier meetjaren beschikbaar met zeven of meer bedrijven, zie Tabel 2.1. Voor

⁶ In totaal zijn op de akkerbouwbedrijven in de kleiregio bedrijven circa 300 boringen verricht, 2 600 drainwatermonsters genomen en zijn 550 drainwater- en grondwatermengmonsters geanalyseerd

⁷ In totaal zijn op de melkveebedrijven in de kleiregio bedrijven circa 900 boringen verricht, 2 000 drainwatermonsters genomen en zijn 620 drainwater- en grondwatermengmonsters geanalyseerd

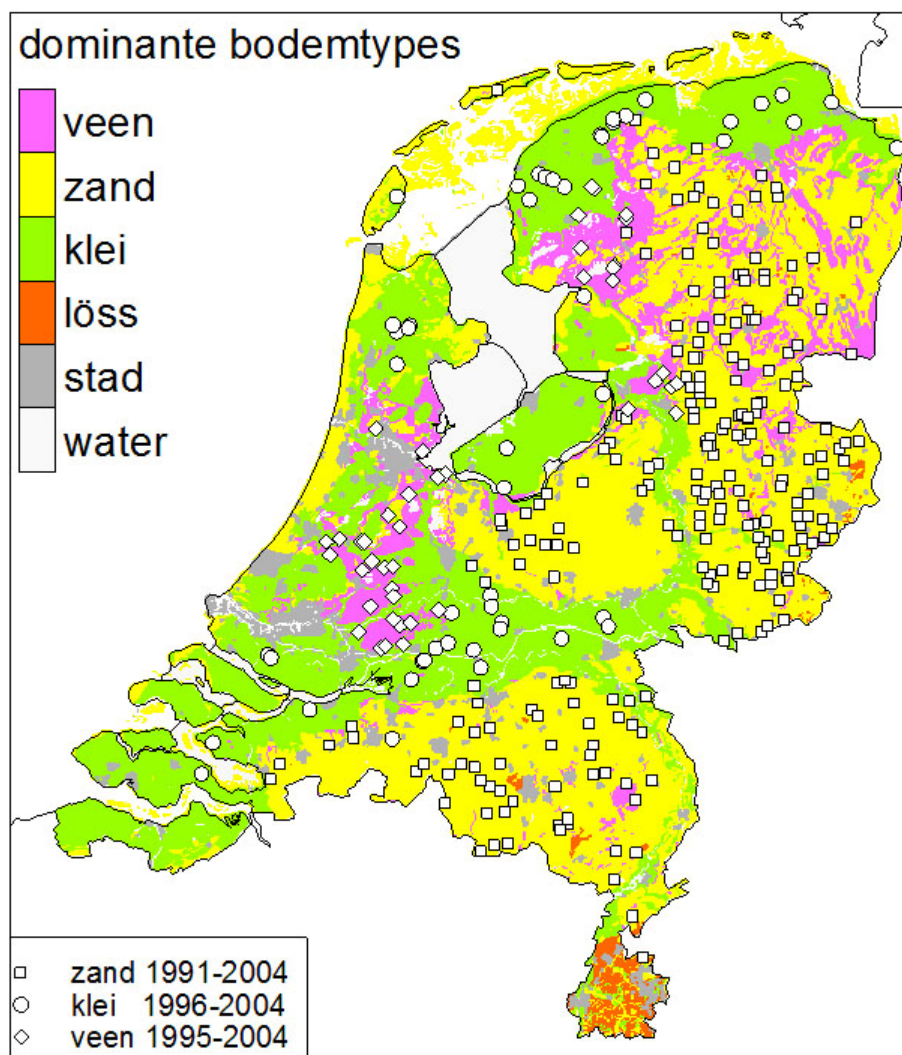
melkveebedrijven zijn 67 bedrijfsbemonsteringen beschikbaar, waarvan 56 zijn gebruikt. De bemonsteringen zijn uitgevoerd op 43 melkveebedrijven⁸, zie Figuur 2.2.

Het effect van de hoogte van het stikstofoverschot op de uitspoeling is nader geanalyseerd. Hiervoor is een opsplitsing van de bedrijven gemaakt naar jaar, bedrijfstype, regio en naar een relatief hoog en een relatief laag stikstofoverschot. Er zijn twee even grote groepen gemaakt. De bedrijven met een stikstofoverschot lager dan de mediane waarde zijn in de groep ‘laag’ ingedeeld, de bedrijven met een stikstofoverschot hoger dan de mediaan in de groep ‘hoog’. Een voorwaarde is dat per groep 14 of meer bedrijven beschikbaar waren met zowel landbouwpraktijk als waterkwaliteitsgegevens zijn, zie Tabel 2.1.



Figuur 2.1 Ligging van akkerbouwbedrijven die deelnemen aan het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid in de zandregio, bemonsterd in de periode 1992 – 2005 (BIN-jaren 1991-2004) en in de kleiregio bemonsterd in de periode 1996/'97-2004/'04 (BIN-jaren 1996-2004). Bron bodemkaart: Alterra, Wageningen.

⁸ In totaal zijn op de melkveebedrijven in de veenregio bedrijven circa 270 monsters genomen in bedrijfsloten en zijn 67 rmengmonsters geanalyseerd



Figuur 2.2 Ligging van melkveebedrijven die deelnemen aan het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid in de zandregio, bemonsterd in de periode 1992 – 2005 (BIN-jaren 1991-2004), in de kleiregio bemonsterd in de periode 1996/'97-2004/'04 (BIN-jaren 1996-2004) en in de veenregio bemonsterd in de periode 1995/'96-2003/'04 (BIN-jaren 1995-2004). Bron bodemkaart: Alterra, Wageningen.

Landbouwpraktijk

De bedrijfsvoering van de aan het LMM deelnemende landbouwbedrijven wordt door het LEI vastgelegd in het Bedrijven-Informatienet (BIN). Het BIN is een gestratificeerde steekproef van ongeveer 1500 land- en tuinbouwbedrijven, waarvan een gedetailleerde set financieel-economische en milieutechnische gegevens wordt bijgehouden. Het BIN representeert bijna 95% van de totale agrarische productie in Nederland (Poppe, 2004). Circa 45 gespecialiseerde LEI-medewerkers (technisch-administratief-medewerkers) zijn fulltime belast met het, volgens uniforme instructies en data-invoerprogrammatuur, vergaren en vastleggen van bedrijfsgegevens in BIN. Belangrijke basis hierbij vormen de facturen van de bedrijven welke stuk voor stuk worden ingezien en verwerkt. Omdat naast de financiële ook de fysieke productstromen en betreffende relaties (toeleveranciers en afnemers) worden vastgelegd, is het mogelijk om de vastgelegde gegevens, ook op jaarbasis of voor een groep van bedrijven, op kruisconsistenties (euro per kg) te controleren en bij twijfels na te trekken. De

medewerker inventariseert verder de begin- en eindvoorraden van alle producten en aanvullende gegevens zoals het bouwplan, beweidingssysteem en de samenstelling van de veestapel. Zodra een verslagjaar compleet is uitgewerkt en gecontroleerd, worden de fysieke in- en uitgaande productstromen, gecorrigeerd voor voorraadmutaties en geaggregeerd naar jaartotalen. In de BIN-systematiek vindt op verschillende momenten en niveaus in de vastlegging, controle van de kwaliteit van de vastgelegde gegevens plaats (Vrolijk et al., in voorbereiding). Ook de presentatie en bespreking van het jaarverslag met de deelnemer is een belangrijke extra stap op het juist en nauwkeurig in beeld brengen van de bedrijfsvoering en –resultaten.

Waterkwaliteit

Bij de bemonstering van de bovenste meter van het grondwater in de zandregio zijn per bedrijf 16 locaties bemonsterd. Van de monsters van deze 16 locaties zijn twee mengmonsters gemaakt elk bestaande uit acht aselect gekozen individuele monsters. Deze twee mengmonsters zijn chemisch geanalyseerd⁹. Daarnaast zijn in het veld bij elke locatie nitraatmetingen gedaan met behulp van een eenvoudige methode (kleurreactie; nitraatsneltest). Bij ieder meetpunt is ook de grondwaterstand vastgelegd.

In de kleiregio zijn in de periode 1996-2000 (winters 1996/'97 tot en met 2000/'01) op alle bedrijven 16 drainagebuizen geselecteerd en deze zijn 1-4 keer per winter bemonsterd. Per ronde is een mengmonster gemaakt dat is geanalyseerd in het laboratorium. Van individuele drains is de nitraatconcentratie bepaald. Vanaf 2001 is op bedrijven met minder dan 25% van het areaal gedraineerd via buisdrainage tweemaal per winter op 16 locaties de bovenste meter van het grondwater bemonsterd. Dergelijke bedrijven deden voorheen niet mee in het LMM. Van de monsters van deze 16 locaties zijn twee mengmonsters gemaakt elk bestaande uit acht aselect gekozen individuele monsters. Deze twee mengmonsters zijn geanalyseerd. Daarnaast zijn in het veld bij elke locatie nitraatmetingen gedaan met behulp van een eenvoudige methode (kleurreactie; nitraatsneltest).

In de veenregio zijn per bedrijf eenmaal per jaar acht slootlocaties bemonsterd. Vier sloten voerden alleen water af van het bedrijf (bedrijfssloten) en vier sloten voerden ook water af van stroomopwaarts gelegen landbouwbedrijven (doorgaande sloten). Per ronde zijn twee mengmonsters gemaakt, een mengmonster voor de bedrijfssloten en een voor de doorgaande sloten. Van individuele slotenmonsters is de nitraatconcentratie bepaald.

Alle watermonsters zijn in het veld gefiltreerd over een 0,45 µm filter, aangezuurd tot pH < 2 en koel en donker getransporteerd en opgeslagen tot analyse. Watermonsters zijn geanalyseerd op nitraat, ammonium en Kjeldahlstikstof of totaalstikstof. De Kjeldahlstikstof omvat ammoniumstikstof en organische stikstofverbindingen. De nitraatanalyseresultaten zijn vergeleken met de resultaten van de metingen in het veld met de nitraatsneltest. De resultaten waren consistent en hebben dus niet geleid tot verwijderen van analyseresultaten.

De totaal-stikstofconcentratie is of direct bepaald (resultaat van chemische analyse) of berekend door de somming van de Kjeldahlstikstof en nitraatstikstof.

⁹ In de eerste drie meetjaren (1991/'92-1993/'94) zijn 48 locaties per bedrijf bemonsterd en vier mengmonsters gemaakt en geanalyseerd met elk 12 aselect gekozen individuele monsters.

2.3 Verzameling van de overige gegevens

Behalve bedrijfsgegevens en de grondwaterkwaliteit is ook de verdeling van de fracties van de grondsoorten en grondwatertrappen bepaald en het gemiddelde relatieve neerslagoverschot per bedrijf per jaar berekend. Voor de berekening van het absolute neerslagoverschot zijn meerjarig gemiddelde neerslagoverschotten berekend.

Verdeling bodemtype en Gt

Van elk landbouwbedrijf worden per jaar alle percelen die voor bemonstering in aanmerking komen gedigitaliseerd met behulp van de topografische kaart. Deze digitale bedrijfskaarten worden over de gegeneraliseerde bodem- en grondwatertrappenkaart heen gelegd en het areaal per bodemtype en grondwatertrap per bedrijf wordt uitgerekend en gerelateerd aan het totale bedrijfsareaal. De gegeneraliseerde bodem- en Gt-kaarten zijn gebaseerd op de 1 : 50.000 en 1 : 250.000 kaarten van Alterra (Van Drecht en Scheper, 1998). Er zijn zeven bodemtypen (grondsoorten) onderscheiden die voor deze studie zijn teruggebracht tot vijf grondsoorten: zand, löss (inclusief leem), dalgrond, klei (oude klei, rivierklei, zeeklei) en veen.

Meerjarig neerslagoverschot

Het (Gt-specifieke) meerjarig gemiddelde neerslagoverschot per gewas, grondsoort en grondwatertrap is berekend met het model STONE (Van Bakel et al., 2007; Massop et al., 2005). De resultaten van deze berekening staan in Tabel 2.2. In Bijlage 2 (tweede deel) zijn de 10- en 90-percentielwaarden gegeven.

Tabel 2.2 (Gt-specifieke) Meerjarig gemiddelde neerslagoverschot (P_n mm per jaar) per grondsoort, gewas en grondwatertrap. Bron: STONE, versie 2.3, mediane waarden voor 1971-2000 (Van Bakel et al., 2007).

grondsoort	gewas	Grondwatertrap (Gt)										
		I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VIII
zand	bouwland	286 ¹	286 ¹	375	295	323	347	289	315	324	345	343
	maïspan	286 ¹	286	374	352	350	358	374	364	332	332	353
	grasland	372	323	257	287	279	274	277	276	280	298	323
klei	bouwland	452	432 ²	336	355	355	352	377	341	326	322	326
	maïspan	452 ²	432	361	402 ³	402	361	363 ³	364	353	342	364
	grasland	350 ⁴	314	290	310	303	318	298	303	320	299	310
veen	bouwland	536	414	337	352	363	353	354	321	348	388	388 ⁵
	maïspan	367	425	391	382	389	338	360	374	353	376	376 ⁵
	grasland	350	318	281	302	276	287	307	282	288	350	318

¹ Ontbrekende waarde, voor berekening is de P_n gebruikt van maïspan, zand, Gt II.

² Ontbrekende waarde, voor berekening is de P_n gebruikt van maïspan/bouwland, klei van betreffende Gt.

³ Ontbrekende waarde, voor berekening is het verloop van P_n met Gt gebruikt van bouwland, klei, om waarde af te leiden voor maïspan.

⁴ Ontbrekende waarde, voor berekening is het verloop van P_n met Gt gebruikt van grasland, veen, om de waarde af te leiden voor grasland, klei.

⁵ Ontbrekende waarde, voor berekening is de P_n gebruikt van bouwland/maïspan, veen, Gt VII.

Relatief neerslagoverschot

Voor elk bedrijf is per bemonsteringsjaar een gemiddelde relatief neerslagoverschot ($P_{n,r}$) berekend. Dit is gedaan door de concentratie van een denkbeeldige stof in de bovenste meter van het grondwater te berekenen voor elk meetpunt op het bedrijf op het moment van bemonsteren. Deze stof, die niet aan de

bodem wordt gebonden of wordt afgebroken, wordt elke 10-daagse periode op de bodem opgebracht met 10 mg/m². Met het model ONZAT (OECD, 1989) is voor gras op dekzand op basis van KNMI-gegevens over neerslag en verdamping voor elk van de 15 weersdistricten en 10 hydrologische randvoorwaarden het verloop van de concentratie in de bovenste meter van het grondwater in de tijd berekend. De gemiddelde concentratie van deze denkbeeldige stof in de bovenste meter van het grondwater op het moment van bemonsteren is een maat voor de grondwateraanvulling en dus voor het relatieve neerslagoverschot. Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar Boumans et al. (2001) en Fraters et al. (2004).

2.4 Berekening van de uitspoelingsfractie

Uitspoelingsfracties worden berekend voor grondsoort/Gt/gewas combinaties. Er zijn drie grondsoorten (dekzand, klei, veen), twee gewastypen (bouwland, grasland) en 11 Gt's onderscheiden. De Gt's worden alleen gecombineerd met dekzand. Veen wordt alleen gecombineerd met grasland. De berekening van de uitspoelingsfractie is niet voor iedere combinatie hetzelfde en deze worden daarom apart besproken. Het stikstofoverschot is alleen bekend per bedrijfstype en grondsoortregio, maar niet per gewas, grondsoort en grondwatertrap. De grondsoortregio's zijn zandregio, kleiregio en veenregio en de bedrijfstypen zijn akkerbouw en melkvee. De combinatie akkerbouw in de veenregio komt niet voor in het LMM.

De berekening van de uitspoelingsfracties wordt gedaan met gemiddelde waarden van het stikstofoverschot en de stikstofuitspoeling per bedrijfstype per grondsoortregio en per landbouwpraktijkjaar. De aantallen individuele bedrijven waarop de gemiddelden zijn gebaseerd zijn weergegeven in Tabel 2.1. Alleen voor het afleiden van een correctiefactor voor de aanwezigheid van moerige gronden op de landbouwbedrijven in de zandregio is gebruik gemaakt van individuele bedrijfscijfers (zie Bijlage 1).

De uitspoelingsfractie (fU) wordt in principe berekend per gewastype (g), bodemtype (b), grondwatertrap (gt) en landbouwpraktijkjaar (j) door de stikstofuitspoeling (U , in kg per ha per jaar) te delen door het stikstofoverschot op de bodembalans (O , kg per ha per jaar).

$$fU[g,b,gt,j] = \frac{U[g,b,gt,j]}{O[g,b,gt,j]} \quad [1]$$

Hierbij is:

- $fU[g,b,gt,j]$ de uitspoelfactie voor gewas g op bodemtype b met grondwatertrap gt en in landbouwpraktijkjaar j ;
- $U[g,b,gt,j]$ de stikstofuitspoeling in kg/ha/jaar voor gewas g op bodemtype b met grondwatertrap gt en behorende bij het landbouwpraktijkjaar j ;
- $O[g,b,gt,j]$ het stikstofoverschot in kg/ha/jaar voor gewas g op bodemtype b met grondwatertrap gt en behorende bij het landbouwpraktijkjaar j .

Bouwland op dekzand

Voor bouwland op dekzand worden uitspoelingsfracties per Gt onderscheiden. De uitspoelingsfractie is het quotiënt van de berekende uitspoeling voor bouwland op dekzand en het berekende stikstofoverschot:

$$fU[bouwland,zand,gt,j] = \frac{U[bouwland,zand,gt,j]}{O[bouwland,zand,gt,j]} \quad [2a]$$

Hierbij is:

$fU[bouwland,zand,gt,j]$	uitspoelingsfractie voor bouwland op zand met grondwatertrap gt in landbouwpraktijkjaar j ;
$U[bouwland,zand,gt,j]$	stikstofuitspoeling (kg/ha/jaar) voor bouwland op zand met grondwatertrap gt in landbouwpraktijkjaar j ;
$O[bouwland,zand,gt,j]$	stikstofoverschot (kg/ha/jaar) voor bouwland op zand met grondwatertrap gt in landbouwpraktijkjaar j .

Voor de toepassing van formule 2a zijn de volgende aannamen zijn gedaan:

- o Dekzand in zandregio is representatief voor de dekzandgronden in alle grondsoortregio's;
- o De uitspoeling voor bouwland is gelijk aan de uitspoeling voor de akkerbouwbedrijven,
 $U[bouwland,zand,gt,j] = U[akkerbouw,zand/zandregio,gt,j]$;
- o Het stikstofoverschot voor bouwland verschilt niet per Gt en is gelijk aan het stikstofoverschot op de akkerbouwbedrijven,
 $O[bouwland,zand,gt,j] = O[akkerbouw,zandregio,j]$;
- o De uitspoeling per Gt kan worden berekend door de uitspoeling die is berekend voor zeer droog zand te vermenigvuldigen met een Gt-correctiefactor.

De uitspoelingsfractie voor bouwland op dekzand wordt daarom berekend als:

$$U[akkerbouw,zand/zandregio,gt,j] = U[akkerbouw,zand/zandregio,zd,j] * C[gt] \quad [2b]$$

Hierbij is:

$U[akkerbouw,zand/zandregio,gt,j]$	stikstofuitspoeling (kg/ha/jaar) voor zandgrond met grondwatertrap gt op de akkerbouwbedrijven in de zandregio in landbouwpraktijkjaar j ;
$U[akkerbouw,zand/zandregio,zd,j]$	stikstofuitspoeling (in kg/ha/jaar) voor zeer droog dekzand (Gt VIII) bij akkerbouwbedrijven in de zandregio in landbouwpraktijkjaar j (zie vergelijking [9]);
$C[gt]$	Gt-correctiefactor (zie Tabel 1.1).

De uitspoelingsfractie voor bouwland op dekzand wordt daarom als volgt berekend:

$$fU[bouwland,zand,gt,j] = \frac{U[akkerbouw,zand/zandregio,zd,j] * C[gt]}{O[akkerbouw,zandregio,j]} \quad [2c]$$

Hierbij is:

$O[akkerbouw,zandregio,j]$	stikstofoverschot (kg/ha/jaar) voor akkerbouwbedrijven in zandregio in landbouwpraktijkjaar j .
----------------------------	---

Grasland op zand

Voor grasland op zand wordt de uitspoelingsfractie ook per Gt berekend. De uitspoelingsfractie is het quotiënt van het de stikstofuitspoeling op grasland en het stikstofoverschot op grasland.

$$fU[\text{gras}, \text{zand}, \text{gt}, j] = \frac{U[\text{grasland}, \text{zand}, \text{gt}, j]}{O[\text{grasland}, \text{zand}, \text{gt}, j]} \quad [3a]$$

Hierbij is:

$fU[\text{gras}, \text{zand}, \text{gt}, j]$	uitspoelingsfractie voor grasland op dekzand met grondwatertrap gt in landbouwpraktijkjaar j ;
$U[\text{grasland}, \text{zand}, \text{gt}, j]$	stikstofuitspoeling (kg/ha/jaar) voor grasland op dekzand met grondwatertrap gt in landbouwpraktijkjaar j ;
$O[\text{grasland}, \text{zand}, \text{gt}, j]$	stikstofoverschot (kg/ha/jaar) voor grasland op dekzand met grondwatertrap gt in landbouwpraktijkjaar j .

De volgende werkwijzen zijn gevolgd en aannamen zijn gedaan om formule 3a toe te passen.

- o De gevonden uitspoeling voor grasland op zandgrond in de zandregio is representatief voor al het grasland op dekzand in de overige grondsoortregio's.
- o De stikstofuitspoeling voor grasland op zandgrond is berekend als het verschil tussen de berekende uitspoeling voor zand op melkveebedrijven in de zandregio en de uitspoeling van het bouwlandaandeel op deze bedrijven. De uitspoeling van het bouwlandaandeel is berekend door de gemiddelde uitspoeling per hectare te vermenigvuldigen met het aandeel bouwland. De gemiddelde uitspoeling per hectare voor bouwland is berekend door de uitspoelingsfractie voor bouwland op zand te vermenigvuldigen met het stikstofoverschot. Aangezien de uitspoelingsfractie en het stikstofoverschot voor het bouwland op melkveebedrijven niet bekend zijn, is gerekend met de gegevens van de akkerbouwbedrijven in de zandregio.
- o Het stikstofoverschot voor grasland op zandgrond is berekend als het verschil tussen het stikstofoverschot op de melkveebedrijven en het stikstofoverschot voor het bouwlandaandeel. Dit laatste is berekend door de fractie bouwland te vermenigvuldigen met het stikstofoverschot voor akkerbouwbedrijven in de zandregio.
- o Voor de berekening van de uitspoelingsfractie voor gras zijn de gegevens uit Tabel 2.3 gebruikt voor het bouwlanddeel op melkveebedrijven. Deze gegevens gebaseerd op de gegevens van de akkerbouwbedrijven in de zandregio. Bij de berekening van de uitspoelingsfractie voor grasland voor een specifiek jaar wordt voor het bouwlanddeel de gegevens gebruikt van de bijbehorende periode. Deze werkwijze is gevolgd omdat niet voor elk jaar dat gegevens voor melkveebedrijven beschikbaar zijn, ook gegevens van akkerbouwbedrijven beschikbaar zijn (zie Tabel 2.1).

Tabel 2.3 Uitspoelingsfractie voor bouwland op zandgrond met Gt VIII en stikstofoverschot (in kg/ha/jaar) voor akkerbouwbedrijven; gemiddelde per periode.

Periode (landbouwpraktijkjaren)	Aantal meetjaren	Uitspoelingsfractie	Stikstofoverschot (kg/ha/jaar)
1991-1994	2	0,94	174
1995-1998	3	0,74	156
1999-2001	3	0,87	143
2002-2004	3	0,99	112

- o Net als bij bouwland kan de uitspoeling per Gt worden berekend door de stikstofuitspoeling voor droog zand (Gt VIII) te vermenigvuldigen met de Gt-correctiefactor:

$$U[\text{melkvee,zand,gt,j}] = U[\text{melkvee,zand/zandregio,zd,j}] * C[\text{gt}] \quad [3b]$$

Hierbij is:

$U[\text{melkvee,zand/zandregio,zd,j}]$ stikstofuitspoeling in kg/ha/jaar op zeer droog zand (in de zandregio) voor melkveebedrijven in landbouwpraktijkjaar j ; zie vergelijking [9] in paragraaf 2.6.

$C[\text{gt}]$ Gt-correctiefactor, zie Tabel 1.1

De uitspoelingsfractie van het stikstofoverschot voor grasland op zand per Gt en jaar voor melkveebedrijven in de zandregio kan worden bereken met de volgende vergelijking:

$$fU[\text{gras,zand,gt,j}] = \frac{U[\text{melkvee,zand,gt,j}] - (fBouwland[j] * fU[\text{bouwland,zand,gt,p}] * O[\text{akkerbouw,zandregio,p}])}{O[\text{melkvee,zandregio,j}] - (fBouwland[j] * O[\text{akkerbouw,zandregio,p}])} \quad [3c]$$

Hierbij is:

$U[\text{melkvee,zand,gt,j}]$ stikstofuitspoeling voor dekzand met grondwatertrap gt voor melkveebedrijven in de zandregio in landbouwpraktijkjaar j ;

$fU[\text{bouwland,zand,gt,p}]$ uitspoelingsfractie voor zand met grondwatertrap gt voor akkerbouwbedrijven in de zandregio voor periode p , zie Tabel 2.3;

$O[\text{melkvee,zandregio,j}]$ stikstofoverschot voor melkveebedrijven in de zandregio in landbouwpraktijkjaar j ;

$O[\text{akkerbouw,zandregio,p}]$ stikstofoverschot voor akkerbouwbedrijven in de zandregio voor periode p (zie Tabel 2.3);

$fBouwland[j]$ fractie bouwland op de melkveebedrijven in de zandregio in landbouwpraktijkjaar j ; berekend als fractie bouwland = 1 – fractie grasland.

Bouwland en grasland op klei

De berekening van de uitspoelingsfractie voor bouwland en grasland op klei lijkt op die voor bouwland en grasland op zand. Er wordt echter geen aparte uitspoelingsfractie berekend voor de verschillende grondwatertrappen en er wordt geen rekening gehouden met eventueel aanwezig andere grondsoorten.

$$fU[\text{bouwland,klei,j}] = \frac{U[\text{akkerbouw,kleiregio,j}]}{O[\text{akkerbouw,kleiregio,j}]} \quad [4]$$

Hierbij is:

$fU[\text{bouwland,klei,j}]$ uitspoelingsfractie voor bouwland op klei in landbouwpraktijkjaar j ;

$U[\text{akkerbouw,kleiregio,j}]$ stikstofuitspoeling (kg/ha/jaar) voor akkerbouwbedrijven in de kleiregio in landbouwpraktijkjaar j ;

$O[\text{akkerbouw,kleiregio,j}]$ stikstofoverschot (kg/ha/jaar) voor akkerbouwbedrijven in kleiregio in landbouwpraktijkjaar j .

$$fU[\text{gras, klei, } j] = \frac{U[\text{melkvee, kleiregio, } j] - (f\text{Bouwland}[j] * fU[\text{bouwland, klei, } p] * O[\text{akkerbouw, kleiregio, } p])}{O[\text{melkvee, kleiregio, } j] - (f\text{Bouwland}[j] * O[\text{akkerbouw, kleiregio, } p])} \quad [5]$$

Hierbij is:

$fU[\text{gras, klei, } j]$	uitspoelingsfractie voor grasland op klei in landbouwpraktijkjaar j ;
$U[\text{melkvee, kleiregio, } j]$	stikstofuitspoeling voor melkveebedrijven in de kleiregio in landbouwpraktijkjaar j ;
$fU[\text{bouwland, klei, } p]$	uitspoelingfractie voor akkerbouwbedrijven in de kleiregio in de meetperiode 1996-2004;
$O[\text{melkvee, kleiregio, } j]$	stikstofoverschot voor melkveebedrijven in de kleiregio landbouwpraktijkjaar j ;
$O[\text{akkerbouw, kleiregio, } p]$	stikstofoverschot voor akkerbouwbedrijven in de kleiregio in de meetperiode 1996-2004;
$f\text{Bouwland } [j]$	fractie bouwland op de melkveebedrijven in de kleiregio in landbouwpraktijkjaar j ; berekend als fractie bouwland = 1 – fractie grasland.

De berekening van $U[\text{akkerbouw, kleiregio, } j]$ en $U[\text{melkvee, kleiregio, } j]$ is beschreven in vergelijking [10] in paragraaf 2.6.

Grasland op veen

De berekening van de uitspoelingsfractie voor grasland op veen is het quotiënt van de berekende uitspoeling voor melkveebedrijven in de veenregio ($U[\text{melkvee, veenregio, } j]$) en het berekende stikstofoverschot op deze bedrijven ($O[\text{melkvee, veenregio, } j]$). Er wordt net als bij klei geen aparte uitspoelingsfractie berekend voor de verschillende grondwatertrappen en geen rekening gehouden met eventueel aanwezig andere grondsoorten.

$$fU[\text{gras, veen, } j] = \frac{U[\text{melkvee, veenregio, } j]}{O[\text{melkvee, veenregio, } j]} \quad [6]$$

Hierbij is:

$fU[\text{gras, veen, } j]$	uitspoelingsfractie voor grasland op veen in landbouwpraktijkjaar j ;
$U[\text{melkvee, kleiregio, } j]$	stikstofuitspoeling voor melkveebedrijven in de veenregio in landbouwpraktijkjaar j ;
$O[\text{melkvee, kleiregio, } j]$	stikstofoverschot voor melkveebedrijven in de veenregio in landbouwpraktijkjaar j ;

De berekening van $U[\text{melkvee, kleiregio, } j]$ is beschreven in vergelijking [11] in paragraaf 2.6.

2.5 Berekening van het stikstofoverschot

De rekenprocedure voor de berekening van het stikstofoverschot op de bodembalans is vastgelegd in een protocol, dat door de WOG is opgesteld. In Tabel 2.4 is een samenvatting van het protocol gegeven. Het stikstofoverschot op de bodembalans wordt berekend in twee stappen. Eerst wordt het

stikstofoverschot op de bedrijfsbalans berekend. Daarna wordt het overschot op de bodembalans berekend via een correctie op het overschot op de bedrijfsbalans.

Tabel 2.4 Samenvatting van het protocol voor het berekenen van het stikstofoverschot (in kg per ha per jaar) op de bedrijfsbalans (bovenste deel) en het overschot op de bodembalans (onderste deel).

Omschrijving posten	Berekeningsmethodiek	
<i>Aanvoer bedrijf</i>	Kunstmest	Hoeveelheid ^a * N-gehalte ^c
	Krachtvoer en enkelvoudige voeders	Hoeveelheid ^a * N-gehalte ^c
	Ruwvoer	Hoeveelheid ^a * N-gehalte ^f
	Plantaardige producten (zaai- plant- en pootgoed)	Hoeveelheid ^a * N-gehalte ^g
	Dierlijke mest en compost	Hoeveelheid ^b * N-gehalte ^h
	Dieren	Hoeveelheid ^b * N-gehalte ⁱ
<i>Afvoer bedrijf</i>	Dierlijke producten (melk, wol, eieren)	Hoeveelheid ^c * N-gehalte ^j
	Gewassen en overige plantaardige producten	Hoeveelheid ^c * N-gehalte ^g
	Dieren	Hoeveelheid ^d * N-gehalte ^h
	Dierlijke mest en compost	Hoeveelheid ^d * N-gehalte ⁱ
<i>Overschot Bedrijfsbalans</i>	Aanvoer – Afvoer	
<i>Correctie aanvoer bodem</i>	+ Nettomineralisatie	Gedifferentieerd per grondsoort ^k
	+ Atmosferische depositie	Gedifferentieerd per provincie ^l
	+ N-binding door vlinderbloemigen	Alle vlinderbloemigen ^m
	- Vervluchtiging uit stal en opslag	Op basis van diersoort, stalsysteem en beweidingssysteem ⁿ
	- Vervluchtiging toediening en beweiding	Kunstmest en dierlijke mest op basis van werkelijke mestproductie, beweiding en toedieningsmethode ^o
<i>Overschot Bodembalans</i>	Overschot bedrijfsbalans + correctie aanvoer bodem	

a) Aankopen – verkopen + beginvoorraad – eindvoorraad

b) Aankopen + voorraadafname

c) Verkopen – aankopen + eindvoorraad - beginvoorraad

d) Verkopen + voorraadtoename

e) N-gehalten kunstmest, krachtvoer en enkelvoudige voeders via kwartaaloverzichten leverancier

f) N-gehalten van ruwvoer via kwartaaloverzichten of forfaitaire normen (LNV, 2004).

g) N-gehalten gewassen en plantaardige producten volgens Van Dijk (2003).

h) N-gehalten dierlijke mest en compost volgens (LNV, 2004)

i) N-gehalten dieren volgens Beukeboom, (1996)

j) Het N-gehalten van melk wordt berekend als het bedrijfsspecifieke eiwitgehalte/6.38. Overige N gehalte dierlijke producten volgens (Beukeboom, 1996).

k) De berekening van de aanvoer via mineralisatie voor grasland op veengrond is gebaseerd op de in BIN vastgelegde fractie grasland, de fracties laagveen en klei-op-veen en op de door de deelnemer getypeerde ontwateringstoestand (goed/matig/slecht). In het geval van een goede ontwateringstoestand is voor elke hectare gras op laagveen of klei-op-veen 160 kg N per ha ingerekend (Van Kekem, 2004); 80 kg in het geval van een matige ontwateringstoestand en 0 kg bij een slechte. Deze extra mineralisatie is als gevolg van de ligging van het laagveen beperkt tot de klei- en veenregio (zie Bijlage 5). De berekening van de aanvoer via mineralisatie voor bouwland en grasland op moerige gronden in de zandregio is gebaseerd op de bodemtypering volgens (Van Drecht en Schepers, 1998) en bedraagt 20 kg per ha per jaar (Schröder et al., 2007a). Voor alle overige gronden in de zandregio is 0 kg ingerekend. Voor bedrijven in de zandregio is de nettomineralisatie per ha berekend door de fractie moerige gronden (dal- en veengrond) te vermenigvuldigen met 20.

- l) De atmosferische depositie wordt jaarlijks gedifferentieerd per provincie en varieert in 2002 tussen 23-40 kg N per ha per jaar (zie bijlage 5).
- m) N-binding in kg N per ha per jaar. Voor grasklaver 10 kg; voor luzerne: 160 kg; voor conservenerwten, tuinbonen, bruine en slabonen 40 kg; Voor overige vlinderbloemigen 80 kg.
- n) Vervluchtiging uit stal en opslag als functie van diersoort, stalsysteem en beweidingssysteem volgens Oenema et al. (2000)
- o) Vervluchtiging uit kunstmest: 1% van toegediende hoeveelheid N. Vervluchtiging dierlijke mest bij beweiding: 8% van de N-totaal in weide uitgescheiden (Schröder et al., 2005). Bij mechanische mesttoediening grasland: 6,5% van N totaal (sleufkouter); Bouwland: 8,5% van N totaal (inwerken), (Van Dijk et al., 2004)

De productstromen op de LMM-landbouwbedrijven zijn vastgelegd in het Bedrijveninformatienetwerk (BIN). Het overschot op de bedrijfsbalans is het verschil tussen de hoeveelheid stikstof die is aangevoerd op een bedrijf en de afgevoerde hoeveelheid (zie Tabel 2.4 bovenste deel). Alle op het bedrijf aan- en afgevoerde hoeveelheden stikstof zijn berekend door de fysieke productstromen (in kg) te vermenigvuldigen met gemeten of forfaitaire stikstofgehalten. Vervolgens zijn al deze hoeveelheden gesommeerd. Eventuele veranderingen in productvoorraden zijn hierin meegenomen, zodat gerekend is met daadwerkelijk verbruik en productie van mineralen.

De tweede stap betreft het berekenen van het stikstofoverschot op de bodembalans. Het stikstofoverschot op de bedrijfsbalans is gecorrigeerd voor de aan- en afvoer van stikstof vanuit de bodem en de lucht. Deze correcties zijn uitgevoerd op basis van algemeen vastgestelde rekenregels en forfaits. Het stikstofoverschot op de bodembalans is berekend door bij het overschot op de bedrijfsbalans de volgende posten op te tellen: de stikstof die vrijkomt bij zogenaamde nettomineralisatie van organische stof in de bodem (te weten de stikstof die vrijkomt uit veen en veendeeltjes en dus niet de stikstof die vrijkomt uit de gewasresten, groenbemesters en mestresten van de lopende bedrijfsvoering en waartegenover een even grote uitboekingspost van stikstof staat zoals eerder aangegeven), de atmosferische stikstofdepositie (gedifferentieerd per provincie, zie Bijlage 6) en de stikstofbinding door vlinderbloemigen. De stikstof die als ammoniak vervluchtigt uit de stal en tijdens de opslag, en de stikstof die als ammoniak vervluchtigt tijdens de toediening en de beweiding, worden afgetrokken van het stikstofoverschot op de bedrijfsbalans, zie Tabel 2.4 onderste deel.

Per bedrijf per jaar is op deze wijze het stikstofoverschot van de bodembalans berekend. Op basis van deze bedrijfscijfers is een groepsgemiddeld overschot berekend voor alle akkerbouwbedrijven per grondsoortregio per jaar ($O[akkerbouw,gr,j]$) en alle melkveebedrijven per grondsoortregio per jaar ($O[melkvee,gr,j]$) indien er meer dan zeven bedrijven zijn (zie Tabel 2.1).

2.6 Berekening van de stikstofuitspoeling

De berekening van de stikstofuitspoeling is verschillend voor de drie grondsoorten zeer droog zand, klei en veen; deze worden daarom afzonderlijk besproken.

Zeer droge zandgronden

De stikstofuitspoeling (in kg per ha per jaar) voor landbouw op de zeer droge zandgronden (Gt VIII) is berekend voor de bedrijfstypen akkerbouw en melkveehouderij. Hiervoor is de berekende uitspoeling per bedrijfstype per jaar in de zandregio als geheel gecorrigeerd voor de aanwezigheid van moerige gronden (dal- en veengronden) en de aanwezigheid van andere Gt's dan Gt VIII op de bedrijven bemonsterd in dat jaar.

$$U[bt,zand/zandregio,zd,j] = \frac{U[bt,zandregio,j]}{C[bt,j]} + fMoerig[bt,j] * C[moerig] * P_{n,j}[bt,zandregio,j] \quad [7]$$

Hierbij is:

- $U[bt,zand/zandregio,zd,j]$ stikstofuitspoeling in kg/ha/jaar voor dekzandgrond met grondwatertrap Gt VIII voor bedrijfstype *bt* in landbouwpraktijkjaar *j*;
- $U[bt,zandregio,j]$ stikstofuitspoeling in kg/ha/jaar voor bedrijfstype *bt* in de zandregio voor landbouwpraktijkjaar *j*; zie vergelijking [8];
- $C[bt,j]$ correctiefactor voor aanwezigheid andere Gt's dan Gt VIII (zeer droog) op de landbouwbedrijven behorende tot bedrijfstype *bt* in landbouwpraktijkjaar *j*. Berekend als de som van de producten van de fractie van een Gt en de bijbehorende Gt-correctiefactor (zie Tabel 1.1), voor Gt I is dezelfde Gt-correctiefactor gebruikt als Gt II;
- $fMoerig[bt,j]$ fractie moerige gronden (veen- en dalgrond) per bedrijfstype; gemiddelde van alle bedrijven in landbouwpraktijkjaar *j* voor bedrijfstype *bt*;
- $C[moerig]$ correctiefactor in kg per m³ voor de aanwezigheid van moerige gronden op de bedrijven, is 0,0081 kg NO₃-N per m³ (36 / 4,42*1000). Deze is afgeleid via regressieanalyse op basis van concentraties nitraat in mg/l, zie Bijlage 1, en omgerekend naar nitraatstikstofconcentratie in kg/m³;
- $P_{n,j}[bt,zandregio,j]$ jaarspecifieke neerslagoverschot in m³ per hectare per jaar voor bedrijfstype *bt* in de zandregio voor landbouwpraktijkjaar *j*. Dit is berekend door het (groepsspecifieke) meerjarig gemiddelde neerslagoverschot te vermenigvuldigen met een jaarspecifieke factor die is gebaseerd op het jaarspecifieke relatieve neerslagoverschot, zie Bijlage 2.
Het (groepsspecifieke) meerjarige gemiddeld neerslagoverschot per bedrijfstype per grondsoortregio en jaar is afhankelijk van de fractie bouwland en grasland en de fracties van de verschillende grondsoorten en grondwatertrappen. Hierbij is voor de dal- en veengronden gerekend met het (Gt-specifieke) meerjarig gemiddeld neerslagoverschot voor veen uit Tabel 2.2. Alle overige grondsoorten zijn als zand beschouwd. In Bijlage 5 wordt aan de hand van een rekenvoorbeeld dit toegelicht.

De stikstofuitspoeling per bedrijfstype in de zandregio is berekend door de jaargemiddelde gemeten nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater (in kg stikstof per m³) te vermenigvuldigen met het berekende jaargemiddelde neerslagoverschot (m³ per ha per jaar) en hierbij iets op te tellen als moerige gronden op de bedrijven aanwezig zijn.

$$U[bt,zandregio,j] = NO_3-N[bt,zandregio,j] * P_{n,j}[bt,zandregio,j] \quad [8]$$

Hierbij is:

- $U[bt,zandregio,j]$ stikstofuitspoeling in kg/ha/jaar voor bedrijfstype *bt* in de zandregio in landbouwpraktijkjaar *j* (basis uitspoeling ofwel ongecorrigeerde uitspoeling);
- $NO_3-N[bt,zandregio,j]$ jaargemiddelde gemeten nitraatstikstofconcentratie in kg per m³ voor bedrijfstype *bt* in de zandregio in landbouwpraktijkjaar *j*;

Vergelijking [7] en vergelijking [8] leveren samengevoegd vergelijking [9] op:

$$U[bt,zand/zandregio,zd,j] =$$

$$\left\{ \frac{NO_3-N[bt,zandregio,j]}{C[bt,j]} + f_{Moerig}[bt,j] * C[moerig] \right\} * P_{n,j}[bt,zandregio,j] \quad [9]$$

Kleigronden

De stikstofuitspoeling (in kg per ha per jaar) voor landbouw in de kleiregio is berekend voor de bedrijfstypen akkerbouw of melkveehouderij. Deze is berekend door de jaargemiddelde gemeten totaal-stikstofconcentratie in de bovenste meter van het grondwater (bemonsterd via drains of tijdelijke boorgaten) (in kg stikstof per m³) te vermenigvuldigen met het berekende jaargemiddelde neerslagoverschot (m³ per ha per jaar).

$$U[bt,kleiregio,j] = N_{totaal}[bt,kleiregio,j] * P_{n,j}[bt,kleiregio,j] \quad [9]$$

Hierbij is

$U[bt,kleiregio,j]$	stikstofuitspoeling in kg/ha/jaar per bedrijfstype in de kleiregio; gemiddelde voor alle bedrijven per bedrijfstype <i>bt</i> in landbouwpraktijkjaar <i>j</i> ;
$N_{totaal}[bt,kleiregio,j]$	jaargemiddelde gemeten totaal-stikstofconcentratie in kg per m ³ per bedrijfstype in de kleiregio; gemiddelde voor alle bedrijven per bedrijfstype <i>bt</i> in landbouwpraktijkjaar <i>j</i> ;
$P_{n,j}[bt,kleiregio,j]$	jaarspecifieke neerslagoverschot in m ³ per hectare per jaar voor bedrijfstype <i>bt</i> in de kleiregio voor landbouwpraktijkjaar <i>j</i> . Dit is berekend door het meerjarige gemiddelde neerslagoverschot te vermenigvuldigen met het jaarspecifieke factor gebaseerd op het relatieve neerslagoverschot, zie Bijlage 2. Het (groeps specifieke) meerjarige gemiddelde neerslagoverschot per bedrijfstype per grondsoortregio en jaar is afhankelijk van de fractie bouwland en grasland en de fracties van de verschillende grondsoorten en grondwatertrappen. Voor de zandgronden op de bedrijven is gerekend met het (Gt-specifieke) meerjarig gemiddeld neerslagoverschot voor zand uit Tabel 2.2. Alle overige grondsoorten zijn als klei beschouwd. In Bijlage 5 wordt aan de hand van een rekenvoorbeeld dit toegelicht.

Veengronden

De stikstofuitspoeling (in kg per ha per jaar) voor melkveehouderij in de veenregio is berekend door de jaargemiddelde gemeten totaal-stikstofconcentratie in het slotwater van de bedrijfsslotten (in kg stikstof per m³) te vermenigvuldigen met het berekende jaargemiddelde neerslagoverschot (m³ per ha per jaar).

$$U[melkvee,veenregio,j] = N_{totaal}[melkvee,veenregio,j] * P_{n,j}[melkvee,veenregio,j] \quad [11]$$

Hierbij is

$U[melkvee,veenregio,j]$	stikstofuitspoeling in kg/ha/jaar; gemiddelde voor alle melkveebedrijven in de veenregio in landbouwpraktijkjaar <i>j</i> ;
--------------------------	---

$N_{\text{totaal}}[\text{melkvee,veenregio},j]$	jaargemiddelde gemeten totaal-stikstofconcentratie in kg per m ³ ; gemiddelde voor alle melkveebedrijven in de veenregio in landbouwpraktijkjaar j ;
$P_{n,j}[\text{melkvee,veenregio},j]$	jaarspecifieke neerslagoverschot in m ³ per hectare per jaar voor melkveebedrijven in de veenregio in landbouwpraktijkjaar j . Dit is berekend door het (groepsspecifieke) meerjarig gemiddelde neerslagoverschot te vermenigvuldigen met het jaarspecifieke factor gebaseerd op het relatieve neerslagoverschot, zie Bijlage 2. Het (groepsspecifieke) meerjarige gemiddeld neerslagoverschot per bedrijfstype per grondsoortregio en jaar is afhankelijk van de fractie bouwland en grasland en de fracties van de verschillende grondsoorten en grondwatertrappen. Voor de zandgronden op de bedrijven in de veenregio is gerekend met het (Gt-specifieke) meerjarig gemiddelde neerslagoverschot voor zand uit Tabel 2.2. Alle overige grondsoorten zijn als veen beschouwd. In Bijlage 5 wordt aan de hand van een rekenvoorbeeld dit toegelicht.

3 Resultaten en discussie

3.1 Berekende uitspoelingsfracties

De berekende uitspoelingsfracties variëren tussen 0,04 voor grasland op veen tot 0,89 voor bouwland op zeer droog zand (Gt VIII), zie Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Fractie van het stikstofoverschot op de bodembalans dat uitspoelt naar grond- of oppervlaktewater (uitspoelingsfractie) per bodemgebruik en grondsoort. Tussen haakjes het 95%-betrouwbaarheidsinterval, dit is gebaseerd op de variatie in berekende uitspoelingsfracties tussen jaren.

Bodemgebruik	Zand (Gt VIII)	Klei	Veen
Bouwland	0,89 (0,79-0,99)	0,36 (0,22-0,50)	-
Grasland	0,46 (0,40-0,51)	0,12 (0,09-0,14)	0,04 (0,03-0,06)

De uitspoelingsfracties voor zandgrond met een andere grondwatertrap dan Gt VIII kunnen worden berekend door de uitspoelingsfractie bij Gt VIII te vermenigvuldigen met de bij de gewenste grondwatertrap behorende Gt-correctiefactor (zie Tabel 1.1). Een overzicht met alle uitspoelingsfracties per gewas en grondsoort per grondwatertrap is gegeven in Tabel 3.2. In Bijlage 3 zijn de uitspoelingsfractie per gewas en grondsoort per jaar gegeven.

Tabel 3.2 Fractie van het stikstofoverschot op de bodembalans dat uitspoelt naar grondwater (uitspoelingsfractie) per bodemgebruik en grondwatertrap voor de zandgronden.

Bodemgebruik	Grondwatertrap (I = zeer nat, VIII = zeer droog)								
	I/II/II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VIII
Bouwland	0,04	0,07	0,28	0,38	0,45	0,43	0,58	0,74	0,89
Grasland	0,02	0,04	0,14	0,20	0,23	0,22	0,30	0,38	0,46

3.2 Vergelijking met eerdere berekeningen

De uitspoelingsfracties, die met de verbeterde methodiek zijn berekend, komen voor grasland op klei- en veengrond goed overeen met eerdere berekeningen. Voor grasland op zandgrond zijn de uitspoelingsfracties hoger dan die zijn berekend in 2005 (zie Tabel 3.3). Voor bouwland op zand ligt de nieuwe waarde tussen die van de eerste berekening uit 1999 en de tweede uit 2005. Voor bouwland op klei valt het nieuwe cijfer hoger uit dan de eerdere berekeningen, maar ligt de waarde wel binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de berekening uit 2005.

De belangrijkste verschillen met de gebruikte methodiek uit 2005 zijn:

- een wijziging in de berekening van de hoeveelheid atmosferische stikstofdepositie en ammoniakemissie, hetgeen leidde tot een lager stikstofoverschot, zie Bijlage 6;
- het opnemen van een netto-stikstofmineralisatie voor moerige gronden op landbouwbedrijven in de zandregio, hetgeen leidde tot een hoger stikstofoverschot;

- (c) een wijziging in de berekening van het meerjarig gemiddelde neerslagoverschot (P_n), hetgeen leidde tot een gemiddeld lager neerslagoverschot en daarmee lagere stikstofuitspoeling in kg per hectare.

Tabel 3.3 Vergelijking van de uitspoelingsfracties berekend met de nieuwe methodiek (2007), met die berekend met de methodiek uit 1999 en 2005. Tussen haakjes het 95%-betrouwbaarheidsinterval, dit is gebaseerd op de variatie in berekende uitspoelingsfracties tussen jaren.

Gewastype	Grondsoort	1999 ¹	2005 ²	2007
Bouwland	Zand Gt VIII	0,81	1,06 (0,98-1,14)	0,89
	Klei	0,28	0,31 (0,25-0,37)	0,36
Gras	Zand Gt VIII	0,43	0,39 (0,33-0,45)	0,46
	Klei	0,10	0,11 (0,06-0,17)	0,12
	Veen	0,03	0,04 (0,03-0,05)	0,04

¹ Zoals gepubliceerd in Schröder et al., 2004 en Bresser et al., 1999

² Zoals gepubliceerd in Schröder et al., 2005 en 2007b

Andere wijzigingen in de berekeningsmethodiek met beperkte effecten zijn:

- (d) de wijziging in de correcties voor de aanwezigheid van andere grondwatertrappen en grondsoorten op LMM-landbouwbedrijven in de zandregio voor de berekening van de stikstofuitspoeling voor landbouw op zeer droge zandgronden (Gt VIII);
- (e) de wijziging in de berekening van het jaarspecifieke neerslagoverschot ($P_{n,j}$);
- (f) het beschikbaar zijn van drie extra meetjaren, te weten de landbouwpraktijkjaren 2002-2004, waarbij moet worden opgemerkt dat bepaalde combinaties van jaar-bedrijfstype-regio, die in eerdere berekening wel zijn meegenomen, nu zijn afgefallen als gevolg van de factoren (g) tot en met (i) hieronder;
- (g) het beperken van de koppeling van waterkwaliteitsgegevens aan landbouwpraktijkgegevens van het jaar ervoor (voorheen werden, indien de gegevens van de landbouwpraktijk van het jaar ervoor niet beschikbaar waren, de gegevens van het jaar daarvoor gebruikt. In de nieuwe methodiek worden deze waarnemingen niet meegenomen in de analyse);
- (h) het hanteren van een minimum aantal van zeven bedrijven per combinatie van jaar-bedrijfstype-grondsoortregio;
- (i) een wijziging van de grenzen van de grondsoortgebieden waardoor een aantal bedrijven in een andere grondsoortregio terecht kwam.

Het berekende stikstofoverschot voor de melkveebedrijven in de zand- en kleiregio met de nieuwe methodiek (punten a en b) is gemiddeld circa 10% lager dan dat berekend met de methodiek uit 2005, zie Tabel 3.4. Voor de akkerbouwbedrijven komt de nieuwe methodiek uit op een circa 5% lager stikstofoverschot. Voor de melkveebedrijven in de veenregio is het stikstofoverschot berekend met de nieuwe methodiek 6% hoger. Dit is vooral het gevolg van de hogere aanvoer via de nettomineralisatie. Er zijn overigens maar twee jaren die vergeleken kunnen worden. Een lager stikstofoverschot bij een gelijkblijvende uitspoeling (concentraties veranderen niet op deze bedrijven) betekent een hogere uitspoelingsfractie.

Tabel 3.4 Vergelijking van de stikstofoverschotten op de bodembalans (in kg per hectare per jaar) berekend met de nieuwe methodiek (2007), met die, berekend met de oude methodiek (2005).

Bedrijfstype	Regio	Periode	Aantal jaar	N-overschot 2005 ¹	N-overschot 2007
Akkerbouw	Zand	1991-1999	7	168	162
	Klei	1997-2001	5	171	162
Melkveehouderij	Zand	1991-2001	10	322	294
	Klei	1997-2001	5	313	282
	Veen	1995, 1998	2	354	374

¹ Zoals gebruikt door Schröder et al., 2004, 2005.

Het lagere meerjarig gemiddelde neerslagoverschot in de nieuwe berekeningen (punt c) heeft tot gevolg dat de berekende uitspoeling in de zandregio met gemiddeld 17% afneemt voor de akkerbouwbedrijven en met 8% voor de melkveebedrijven ten opzichte van de oude berekeningsmethodiek. Een lagere stikstofuitspoeling bij een gelijkblijvend stikstofoverschot betekent een lagere uitspoelingsfractie.

Tot slot wordt nog het effect van het meenemen van drie nieuwe recente meetjaren besproken (punt f). In de volgende paragraaf zal worden ingegaan op de onzekerheid in de correcties voor grondsoort en grondwatertrap en dat van het neerslagoverschot. Hiermee wordt dan tevens hun effect in de wijziging in de methodiek duidelijk (punten d en e).

In de recente meetjaren (2002-2004) blijkt zowel het stikstofoverschot op de bodembalans als de stikstofuitspoeling lager te zijn dan in de periode die er aan voorafgaat, zie Tabel 3.5. Alleen de stikstofuitspoeling bij de melkveebedrijven op klei is iets hoger in de laatste periode. Het resultaat is wel dat voor de akkerbouw de uitspoelingsfractie in de tweede periode hoger is dan in de eerste periode. Voor melkveebedrijven is dat andersom, behalve dan voor de bedrijven op klei. Op de mogelijke relatie tussen de uitspoelingsfractie en het stikstofoverschot zal in de volgende paragraaf worden ingegaan.

Tabel 3.5 Vergelijking van de periode 2002-2004 met de voorafgaande meetperiode per grondsoort en per bedrijfstype; overzicht van stikstofoverschot op de bodembalans, stikstofuitspoeling (beide in kg per hectare per jaar) en uitspoelingsfractie.

Periode	Parameter	Zand, Gt VIII		Klei		Veen
		akkerbouw	melkvee	akkerbouw	melkvee	Melkvee
≤ 2001	N-overschot	160	287	162	283	374
	N-uitspoeling	135	159	45	11	17
	Uitspoelingsfractie	0,85	0,55	0,28	0,13	0,05
2002-2004	N-overschot	112	187	85	193	263
	N-uitspoeling	109	85	36	13	11
	Uitspoelingsfractie	0,99	0,46	0,49	0,17	0,04

3.3 Robuustheid van de uitkomsten

Bij de berekening van de uitspoelingsfracties is steeds de gemiddelde of mediaanwaarde (afhankelijk van de beschikbaarheid) gebruikt voor de parameters in de berekening. De gebruikte gemiddelden kennen echter een onzekerheid, de werkelijke waarde kan iets hoger of iets lager zijn. De vraag is wat

deze onzekerheid betekent voor de waarde van de berekende uitspoelingsfractie. Voor een aantal mogelijk belangrijke parameters in de berekeningen is daarom nagegaan wat de invloed is van een hogere of lagere waarde op de berekende uitspoelingsfractie. Ook is de gevoeligheid voor aannamen onderzocht. Van de volgende parameters en/of aannamen is de invloed op de uitspoelingsfractie onderzocht:

- de grootte van de netto-stikstofmineralisatie;
- de hoogte van het neerslagoverschot;
- de grootte van de correctie voor grondsoort;
- de grootte van de correctie voor grondwatertrap;
- het al of niet ontbreken van een relatie tussen uitspoeling, uitspoelingsfractie en overschot;
- het al of niet voorkomen van na-ijling;
- de representativiteit van de waarnemingen.

Deze analyses zijn gedaan via een eenvoudige benadering, namelijk door per parameter en aanname de invloed van een andere waarde voor deze parameter op de gevonden uitspoelingsfractie te onderzoeken, zo mogelijk kwantitatief. Voor zover mogelijk zal ook worden geschat wat de doorwerking is op de te berekenen gebruiksnormen.

Netto-stikstofmineralisatie

Indien de werkelijke nettomineralisatie afwijkt van de huidige veronderstelde, werkt dit direct door in het berekende stikstofoverschot op de bodembalans.

Voor grasland op goed ontwaterd laagveen is een nettomineralisatie van 160 kg per ha per jaar aangenomen (Van Kekem, 2004). Een 10% hogere mineralisatie (16 kg/ha/jaar indien gronden goed ontwaterd zijn) leidt bij het huidige gemiddelde stikstofoverschot op melkveebedrijven in de veenregio van 319 kg/ha tot een 5% hoger stikstofoverschot en dus tot een 5% lagere uitspoelingsfractie. Voor een 10% lagere mineralisatie geldt het omgekeerde; dit leidt dus tot een 5% hogere uitspoelingsfractie.

Voor landbouwbedrijven in de zandregio wordt een netto-stikstofmineralisatie aangenomen van 20 kg stikstof per hectare per jaar voor de moerige gronden (Schröder et al., 2007a). De gemiddelde fractie moerige gronden voor de akkerbouwbedrijven in het LMM bedraagt 0,57. Hiervan is de helft hoogveengrond en de helft dalgrond, zie Tabel 3.6. Voor de melkveebedrijven bedraagt de gemiddelde fractie moerige gronden 0,17. Hiervan is 40% hoogveengrond en 60% dalgrond. Deze post verhoogt het gemiddelde stikstofoverschot met 12 kg/ha/jaar voor akkerbouwbedrijven (9% toename) en 4 kg/ha/jaar voor melkveebedrijven (1% toename). De uitspoelingsfractie voor bouwland neemt hierdoor met 7% af van 0,96 (zonder nettomineralisatie) naar 0,89 (met nettomineralisatie). De uitspoelingsfractie voor grasland verandert niet. De kleine daling door de toename van het stikstofoverschot op melkveebedrijven wordt gecompenseerd door de berekende lagere uitspoeling op het bouwlanddeel van deze bedrijven.

Deze post nettomineralisatie voor moerige gronden in de zandregio is onzeker en blijkt belangrijk voor de grootte van de uitspoelingsfractie voor bouwland op zand en ook voor de hoogte van de te berekenen stikstofgebruiksnorm. Als met deze post rekening wordt gehouden bij het afleiden van de uitspoelingsfractie, betekent dat, net als voor grasland op veen, dat ook bij het vaststellen van het stikstofgebruik een extra post moet worden opgenomen door landbouwbedrijven in de zandregio met moerige gronden. Het niet meenemen van een dergelijke post op de balans betekent dat het stikstofoverschot, bij toekenning van eenzelfde stikstofgebruiksnorm aan moerige grond als aan zandgrond, hoger zal zijn voor moerige gronden dan voor niet-moerige dekzandgronden. De nitraatconcentratie in het grondwater zal daardoor hoger zijn bij moerige gronden dan bij niet moerige gronden.

Het neerslagoverschot

In de vorige paragraaf is opgemerkt dat het neerslagoverschot invloed heeft op de berekende uitspoelingsfractie. De stikstofuitspoeling wordt berekend door de stikstofconcentratie te vermenigvuldigen met het neerslagoverschot (zie bijvoorbeeld vergelijking 9). Dus hoe groter het neerslagoverschot, hoe groter de stikstofuitspoeling en daardoor hoe groter de uitspoelfractie.

Het neerslagoverschot waarmee de stikstofconcentratie wordt vermenigvuldigd, is het jaarspecifieke neerslagoverschot ($P_{n,j}$). Dit wordt berekend door het (groepsspecifieke) meerjarige gemiddelde neerslagoverschot ($P_{n[\text{groep}]}$) te vermenigvuldigen met een factor gebaseerd op het relatieve neerslagoverschot ($P_{n,r}$), zie Bijlage 2. Zowel fouten in $P_{n[\text{groep}]}$ als in $P_{n,r}$ kunnen dus gevolgen hebben voor de berekende uitspoelfractie.

$P_{n[\text{groep}]}$ wordt berekend met behulp van de Gt-specifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschotten ($P_{n[\text{gt}]}$), zie Tabel 2.2. $P_{n[\text{groep}]}$ is niet elk jaar hetzelfde omdat niet elk jaar dezelfde bedrijven bemonsterd zijn. Hierdoor zijn er verschillen in de fracties van de verschillende gewassen, grondsoorten en grondwatertrappen. Er zijn geen gegevens beschikbaar over het betrouwbaarheidsinterval van de mediaanwaarden vermeld in Tabel 2.2. Wel zijn naast de mediaanwaarde de 10- en 90-percentielwaarden berekend (Van Bakel, 2007). De 10- en 90-percentielwaarden zijn gemiddeld voor maïsland op zand- en kleigrond gelijk aan de mediaan $\pm 15\%$ en voor overig bouwland en grasland gelijk aan de mediaan $\pm 20\%$, zie Bijlage 2. Voor veengronden zijn de verschillen kleiner, voor maïsland en overig bouwland zijn ze gelijk aan de mediaan $\pm 10\%$ en voor grasland gelijk aan de mediaan $\pm 15\%$. Het effect van 10% hogere waarden voor de (Gt-specifieke) meerjarig gemiddelde neerslagoverschotten uit Tabel 2.2 is berekend. Tien procent hogere waarden leiden bij zowel de akkerbouw- als de melkveebedrijven in de zandregio tot een circa 10% hogere berekende uitspoeling. De uitspoelingsfractie voor bouwland op zand met Gt VIII neemt dan toe van 0,89 tot 0,97. De uitspoelingsfractie voor grasland neemt toe van 0,46 tot 0,50. Een bepaalde procentuele toename in het neerslagoverschot leidt tot een bijna even grote procentuele toename van de berekende uitspoelingsfractie.

$P_{n,r}$ wordt alleen gebruikt om per jaar een betere schatting te hebben van het neerslagoverschot in een specifiek jaar. Het gemiddelde neerslagoverschot voor de gehele meetperiode verandert niet. Dus voor bijvoorbeeld de akkerbouwbedrijven in de zandregio geldt dat het gemiddelde van $P_{n,j}$ voor de jaren in de periode 1991-2004 gelijk is aan het gemiddelde van $P_{n[\text{groep}]}$ voor de jaren in deze periode¹⁰. Toch heeft $P_{n,r}$ invloed. Dit kunnen we zien aan de berekende gemiddelde ongecorrigeerde¹¹ stikstofuitspoeling. Voor akkerbouwbedrijven in de zandregio is de gemiddelde ongecorrigeerde stikstofuitspoeling in de periode 1991-2004 63 kg/ha/jaar als we rekenen met $P_{n[\text{groep}]}$. Als we rekenen met $P_{n,j}$ dan is de gemiddelde ongecorrigeerde stikstofuitspoeling voor deze periode 56 kg/ha/jaar. Ook de standaardfout van het gemiddelde is kleiner bij rekenen met $P_{n,j}$ (12 kg/ha/jaar) dan met rekenen met $P_{n[\text{groep}]}$ (27 kg/ha/jaar). Een relatief kleine variatie tussen jaren in de stikstofuitspoeling is in overeenstemming met de verwachting. Het algemene idee is dat bij een bepaald bemestingsregime er een min of meer vaste hoeveelheid stikstof in de bodem aanwezig is die kan uitspoelen. Afhankelijk van de grootte van het neerslagoverschot zal dan de gemeten nitraatconcentratie hoger ('vaste' hoeveelheid opgelost in weinig neerslag) of lager ('vaste' hoeveelheid opgelost in veel neerslag) uitvallen.

¹⁰ De neerslagcorrectiefactor (C_r , zie Bijlage 2) is zodanig gekozen dat de gemiddelde van $P_{n,j}$ en $P_{n[\text{groep}]}$ aan elkaar gelijk zijn

¹¹ Dit wil zeggen de berekende stikstofuitspoeling zonder correctie voor de aanwezigheid van moerige gronden en grondwatertrappen die anders zijn dan Gt VIII.

Hoewel de grootte van de uitspoelingsfractie gevoelig is voor de aanname van het (Gt-specifieke) meerjarig gemiddelde neerslagoverschot, is het van geen belang voor de te berekenen stikstofgebruiksnorm. De module van het WOG-model die uit de stikstofconcentratie de stikstofuitspoeling berekent (zie Figuur 1.1, rechterkant), gebruikt namelijk hetzelfde neerslagoverschot als bij het afleiden van de uitspoelingsfractie (zie Figuur 1.1, linkerkant). Dat betekent dat indien door een groter neerslagoverschot een hogere uitspoelingsfractie wordt berekend, deze hogere uitspoelingsfractie weer gecombineerd wordt met dit grotere neerslagoverschot en de te berekenen stikstofgebruiksnorm zodoende dezelfde blijft (zie voorbeeld in tekstbox hieronder).

Voorbeeld van de werking van neerslagoverschot in de berekeningen

Het gebruik van een hoger neerslagoverschot (bijvoorbeeld 3000 m³/ha/jaar in plaats van 2800 m³/ha/jaar) bij het afleiden van de uitspoelingsfractie (fU) leidt tot een hogere berekende uitspoelingsfractie uitgaande van een bepaalde gemeten stikstofconcentratie (bijvoorbeeld 0,017 kg/m³ = 75 mg nitraat per liter) en vastgesteld stikstofoverschot (125 kg/ha/jaar). Bijvoorbeeld situatie:

$$(a) \quad 2800 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{jaar} : fU_{[a]} = (0,017 * 2800) / 125 = 0,38$$

$$(b) \quad 3000 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{jaar} : fU_{[b]} = (0,017 * 3000) / 125 = 0,41$$

Hierdoor zal de met het WOG-model berekende stikstofuitspoeling (kg/ha/jaar) bij een bepaald stikstofoverschot hoger zijn. Echter de stikstof spoelt uit met meer water (groter neerslagoverschot) en de concentratie zal hetzelfde zijn als in de situatie dat met een andere neerslagoverschot was gerekend bij het afleiden van de uitspoelingsfractie en vervolgens bij het berekenen van de stikstofconcentratie. Bijvoorbeeld als invoer in WOG-model een stikstofoverschot van 100 kg/ha/jaar is, dan is de berekende nitraatconcentratie in beide gevallen 62 mg/l:

$$(a) \quad \text{NO}_3\text{-N} = 100 * 0,38 / 2800 = 0,014 \text{ kg/m}^3 = 62 \text{ mg nitraat per liter}$$

$$(b) \quad \text{NO}_3\text{-N} = 100 * 0,41 / 3000 = 0,014 \text{ kg/m}^3 = 62 \text{ mg nitraat per liter}$$

Het jaarspecifiek maken van het neerslagoverschot werkt niet alleen door in de uitspoelingsfractie, maar ook in de te berekenen gebruiksnorm.

De correctie voor grondsoort

Om de uitspoelingsfractie voor bouwland en grasland op zandgrond te bepalen is de berekende uitspoeling voor landbouwbedrijven in de zandregio gecorrigeerd voor de aanwezigheid van moerige gronden, zie paragraaf 2.6. De gemeten nitraatconcentratie op landbouwbedrijven in de zandregio is duidelijk lager voor landbouwbedrijven met veel moerige gronden (veen- en dalgrond), dan voor bedrijven met weinig van deze gronden. Dit wordt veroorzaakt door de extra denitrificatie (zie Inleiding). Hoewel moerige gronden vaak wat natter zijn en het neerslagoverschot gemiddeld wat hoger is, geldt deze relatie tussen de gemeten nitraatconcentratie en fractie moerige gronden ook als rekening

wordt gehouden met de andere factoren die van invloed zijn (grondwatertrap en neerslagoverschot), zie voor details Bijlage 1.

De afgeleide correctiefactor bedraagt 36 mg/l of wel 0,0081 kg/m³. Dit wil zeggen dat bij een bedrijf dat volledig op moerige gronden gelegen is de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater 36 mg/l lager is dan bij een vergelijkbaar bedrijf zonder moerige gronden. De standaardfout van de correctiefactor is 10 mg/l. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval is dan 16-56 mg/l. De consequentie van deze onzekerheid voor de berekende uitspoelingsfractie is weergegeven in Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Berekende uitspoelingsfracties voor bouwland en grasland op zandgrond voor verschillende waarden van de correctiefactor voor grondsoort (C[moerig]).

Gewastype	Grootte van correctiefactor voor moerige grond (mg/l)		
	16	36	56
Bouwland	0,83	0,89	0,95
Grasland	0,46	0,46	0,46

Net als bij de nettomineralisatie blijkt dat de invloed van moerige grond op de berekende uitspoelingsfractie voor bouwland groter is dan voor grasland. Dit komt doordat, zoals eerder besproken, het aandeel moerige gronden op de akkerbouwbedrijven ruim drie keer groter is dan op de melkveebedrijven, zie Tabel 3.7. Het verschil in de berekende uitspoeling op akkerbouwbedrijven bedraagt bijna 9%, terwijl op melkveebedrijven het verschil beperkt blijft tot ruim 3%. Maar er is ook een dempend effect van de aanwezigheid van bouwland op melkveebedrijven op de berekende uitspoeling voor grasland, zoals eerder vermeld.

De berekende uitspoelingsfractie geldt alleen voor niet-moerige dekzandgronden (zand in de zandregio volgens de bodemkaart), en geldt niet voor de moerige zandgronden in de zandregio (de veen- en dalgrond in de zandregio volgens de bodemkaart). Voor moerige zandgronden zal de stikstofuitspoeling bij eenzelfde stikstofoverschot lager zijn dan voor niet-moerige zandgronden. Dat is namelijk de consequentie van de gebruikte correctie. Bedacht moet worden dat de nu berekende 36 mg/l geldt voor de landbouwpraktijk en het stikstofgebruik zoals die in de periode 1991-2004 gebruikelijk was. Bijvoorbeeld indien het stikstofoverschot gelijk is aan nul dan kan geen 36 mg/l in mindering worden gebracht.

Tabel 3.7 Fractieverdeling van de grondsoorten¹², gemiddeld over alle bemonsterde LMM-bedrijven per grondsoortregio en per bedrijfstype.

Regio	Bedrijfstype	Grondsoort		
		Zand	Klei/Leem	Moerig (Veen)
Zand	Akkerbouw	0,42	0,01	0,57 (0,28)
	Melkvee	0,77	0,06	0,17 (0,07)
Klei	Akkerbouw	0,07	0,92	0,01 (0,00)
	Melkvee	0,07	0,90	0,03 (0,03)
Veen	Melkvee	0,03	0,16	0,81 (0,80)

¹² De grondsoortverdeling is gebaseerd op de oude bodemkaart. Als gevolg van de afbraak van veen in de moerige zandgronden zijn een deel van deze gronden op de nieuwe kaart zal zandgrond gekarteerd (Van Kekem, 2004).

Voor de klei- en veengronden is een eenvoudigere benadering gevolgd. Bij de berekening van de uitspoeling is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van andere grondsoorten dan klei en veen op de LMM-bedrijven. Dit is zo gedaan, omdat de fractie van de grondsoorten anders dan de hoofdgrondsoort op de LMM-bedrijven in de klei- en veenregio (veel) lager is dan in de zandregio, zie Tabel 3.7. Verder is voor de bedrijven in de klei- en veenregio nog geen relatie aangetoond tussen de gemeten stikstofconcentratie en de aanwezigheid van de andere grondsoorten.

De correctie voor grondwatertrap

De uitspoelingsfractie voor zand is berekend voor een zandgrond met Gt VIII. Dit is de zandgrond met de diepste gemiddelde grondwaterstand die het meest gevoelig is voor uitspoeling van nitraat naar het grondwater. Op de LMM-landbouwbedrijven in de zandregio komen echter vooral andere grondwatertrappen voor, zie Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Fractieverdeling van de grondwatertrappen¹³, gemiddeld over alle bemonsterde LMM- bedrijven per grondsoortregio en per bedrijfstype.

Regio	Bedrijfstype	Grondwatertrap (Gt)						
		I/II/II*	III/III*	IV	V/V*	VI	VII	VIII
Zand	Akkerbouw	0,02	0,26	0,13	0,21	0,28	0,07	0,03
	Melkvee	0,15	0,28	0,04	0,21	0,20	0,09	0,03
Klei	Akkerbouw	0,03	0,05	0,09	0,18	0,55	0,11	0,00
	Melkvee	0,11	0,22	0,05	0,27	0,19	0,15	0,00
Veen	Melkvee	0,86	0,09	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00

De Gt-correctiefactoren van Boumans et al. (1989) zijn gebruikt voor het corrigeren voor de aanwezigheid van andere Gt's op de LMM-bedrijven, zie Tabel 1.1 en paragraaf 2.6. Deze factoren zijn bepaald via regressieanalyse met gemeten nitraatconcentraties en veldopnames van de Gt. Zoals in Tabel 1.1 te zien is, kennen ook deze factoren een onzekerheid. Het is echter de vraag of deze voor alle Gt's dezelfde kant op werkt. Om een indruk te krijgen is de invloed onderzocht van een 10% hogere en 10% lagere waarde voor de Gt-correctiefactoren. Een 10% hogere waarde betekent minder 'correctie' en de uitspoelingsfractie neemt voor bouw- en grasland af met iets minder dan 10%, zie Tabel 3.9. De verlaging van de waarde van de Gt-correctiefactor werkt precies andersom uit.

Tabel 3.9 Vergelijking van berekende uitspoelingsfracties voor bouwland en grasland op zand bij een 10% hogere en 10% lagere waarde van de Gt-correctiefactoren dan de standaard waarde uit Tabel 1.1.

Bodemgebruik	Grootte van Gt-correctiefactor		
	-10%	standaard	+10%
Bouwland	0,97	0,89	0,81
Grasland	0,51	0,46	0,41

De Gt-correctiefactoren van Boumans et al. (1989) komen voor akkerbouw goed overeen met correctiefactoren berekend met de LMM-gegevens, zie Tabel 3.10. Voor melkveebedrijven zijn de Gt-correctiefactoren van Boumans et al. lager dan die berekend met LMM-gegevens. Vanwege de verwevenheid van de Gt's in het LMM is het niet mogelijk dit voor iedere Gt apart te doen. Standaard worden voor de LMM-analyses drie drainageklassen onderscheiden: goed drainerend (droog: Gt VII en

¹³ De grondwatertrapverdeling is gebaseerd op de oude bodemkaart. Als gevolg van grondwaterstandverlagingen is het areaal gronden met Gt VI, VII en VIII toegenomen (Van Kekem et al., 2005).

Gt VIII), matig drainerend (matig nat / matig droog: Gt V, V* en VI) en slecht drainerend (nat: overige Gt's), zie bijvoorbeeld Boumans et al., 2001. Via regressieanalyse is de onderlinge verhouding bepaald, zie Bijlage 1. Deze zijn vergeleken met de areaalgewogen gemiddelde Gt-correctiefactoren van Boumans et al. (1989) per drainageklasse.

Tabel 3.10 Areaalgewogen Gt-correctiefactoren¹ (Boumans et al., 1989) voor akkerbouw en melkveebedrijven op zandgrond per drainageklasse vergeleken met correctiefactoren berekend met de LMM-gegevens (zie Bijlage 1).

Bedrijfstype	Methode	Drainageklasse			Gemiddeld
		Slecht	Matig	Goed ²	
Akkerbouw	Boumans et al.	0,31	0,58	0,88	0,50
	LMM	0,23	0,64	0,88	0,50
Melkvee	Boumans et al.	0,15	0,47	0,87	0,37
	LMM	0,23	0,64	0,87	0,47

¹ Voor Boumans et al. (1989) berekend als areaalgewogen gemiddelde van Gt-correctiefactoren

² Voor LMM-methode gelijk gesteld aan die berekend voor Boumans et al. (1989)

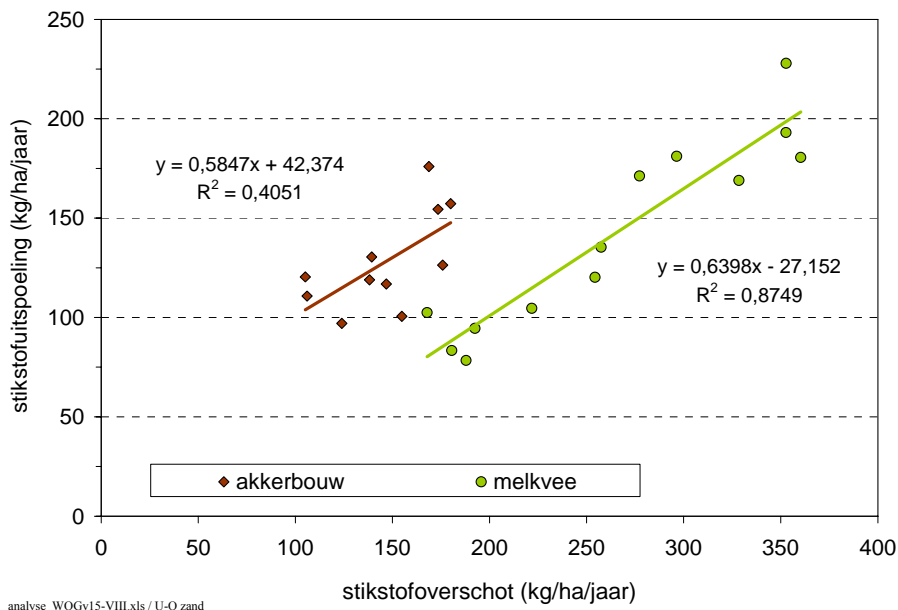
Relatie tussen uitspoeling, uitspoelingsfractie en overschot

Op de zeer droge zandgronden (Gt VIII) neemt de stikstofuitspoeling duidelijk af bij een afname van het stikstofoverschot, zowel bij akkerbouw- als bij melkveebedrijven¹⁴ (zie Figuur 3.1). De stikstofuitspoeling is bij eenzelfde overschot op de bodembalans hoger bij akkerbouwbedrijven dan bij melkveebedrijven.

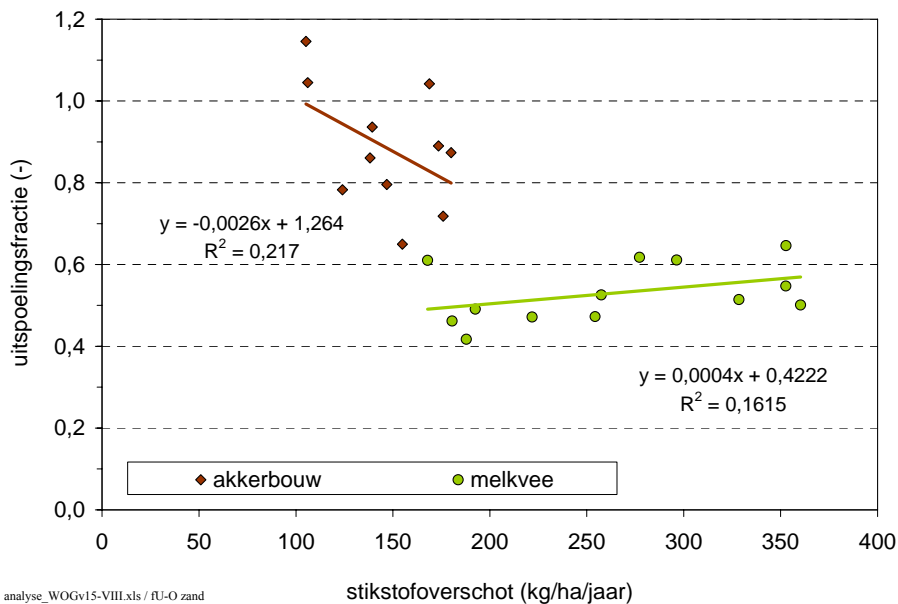
De berekende uitspoelingsfractie neemt toe met een afname van het stikstofoverschot voor de akkerbouwbedrijven op zand met Gt VIII (zie Figuur 3.2). Voor de melkveebedrijven is er geen relatie tussen de uitspoelingsfractie en het stikstofoverschot. Aan het eind van deze subparagraaf zal hier nader op ingegaan worden.

De relaties tussen de stikstofuitspoeling en het stikstofoverschot zijn zwak voor akkerbouw- en melkveebedrijven in de kleiregio. De uitspoeling neemt toe met een toename van het overschot bij de akkerbouwbedrijven, maar bij de melkveebedrijven is de toename van de uitspoeling met de toename van het overschot verwaarloosbaar (zie Figuur 3.3). Huinink en De Waard (1997) rapporteerde eveneens dat zij geen relatie konden vinden tussen de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater en de stikstofoverschotten in hun onderzoek op akkerbouwbedrijven in de Hoekse Waard. Volgens is er voor kleigronden wel degelijk een relatie is tussen stikstofuitspoeling en stikstofoverschot (Schröder et al., 2003; Watson et al., 2000; Meinardi en Van den Eertwegh, 1997).

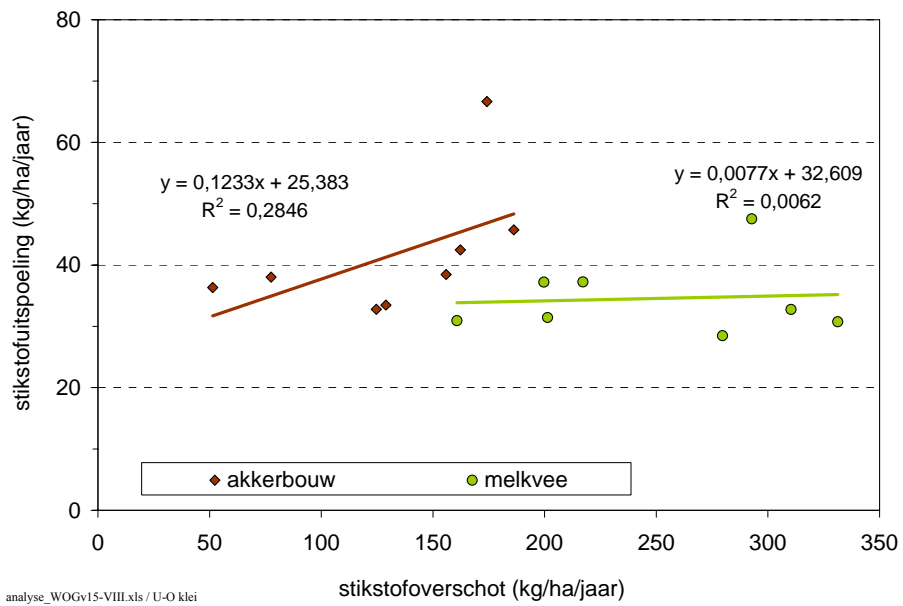
¹⁴ De analyse is gedaan met de bedrijfstypen en niet met gewastypen om niet afhankelijk te zijn van de aannamen die nodig zijn om de uitspoeling en het overschot per bedrijfstype om te rekenen naar die per gewastype.



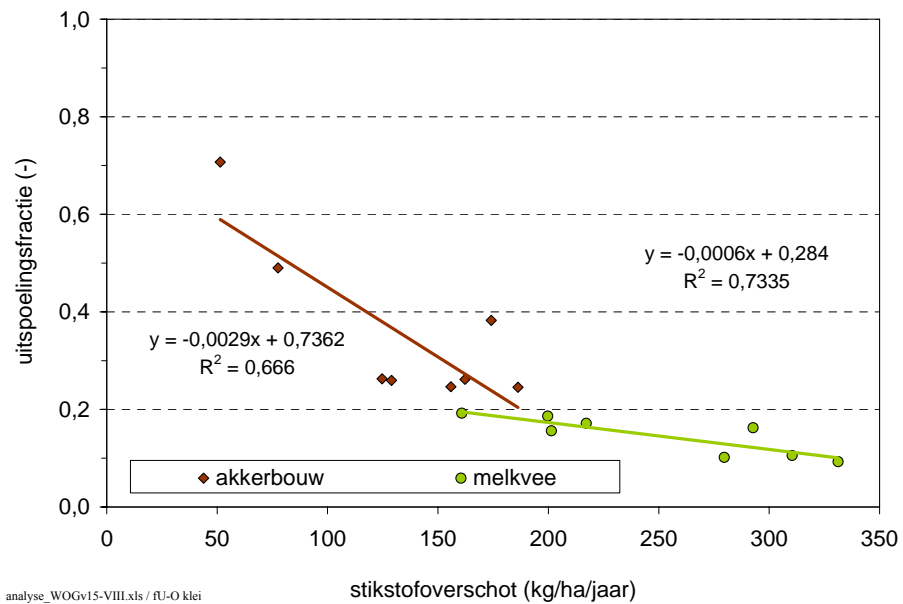
Figuur 3.1 Relatie tussen de berekende stikstofuitspoeling (voor zandgrond met Gt VIII) en het stikstofoverschot voor akkerbouw- en melkveebedrijven in de zandregio.



Figuur 3.2 Relatie tussen de berekende uitspoelingsfractie (voor zandgrond met Gt VIII) en het stikstofoverschot voor akkerbouw- en melkveebedrijven in de zandregio.



Figuur 3.3 Relatie tussen de berekende stikstofuitspoeling en het stikstofoverschot voor akkerbouw- en melkveebedrijven in de kleiregio.



Figuur 3.4 Relatie tussen de berekende uitspoelingsfractie en het stikstofoverschot voor akkerbouw- en melkveebedrijven in de kleiregio.

De relatie tussen stikstofoverschot en stikstofuitspoeling bij melkveebedrijven in de kleiregio ontbreekt in de huidige studie. Dit komt omdat de stikstofuitspoeling in de kleiregio geringe is vergeleken met de invloed van de andere factoren op de gemeten stikstofconcentratie. Deze factoren hebben dus een

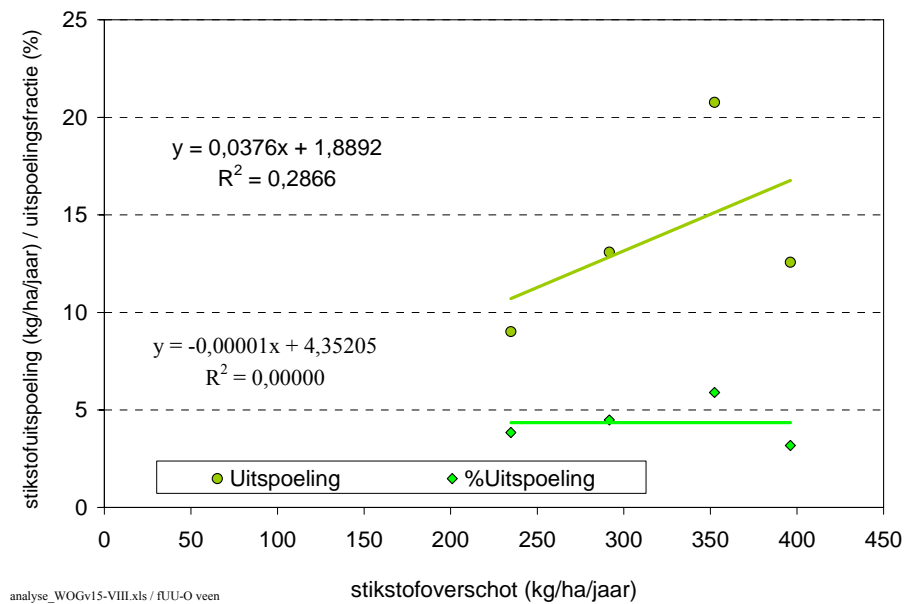
overheersende invloed, zoals ook is geconstateerd door Huinink en De Waard (1997). De gemeten nitraatconcentraties in de kleiregio zijn lager dan in de zandregio, vooral bij de melkveebedrijven. De berekende stikstofuitspoeling in de kleiregio is gemiddeld ongeveer een factor drie (akkerbouw) tot vier (melkveebedrijven) lager dan in de zandregio. Dit betekent dat eigenlijk nauwkeurig gemeten en gerekend zou moeten worden om (de kleine) verschillen zichtbaar te maken. Er zijn meer meetgegevens nodig om de geringe toename van de uitspoeling met de toename van het overschot vast te stellen. Bij het berekenen van de uitspoeling in de kleiregio is in tegenstelling tot de zandregio geen rekening gehouden met de aanwezigheid van verschillende grondsoorten en grondwatertrappen. Omdat niet alle jaren dezelfde bedrijven bemonsterd zijn, kunnen er tussen jaren verschillen zijn in deze factoren. Hier wordt dus nu geen rekening mee gehouden. Ook wordt geen rekening gehouden met de door Meinardi en Van den Eertwegh (1997) geconstateerde invloed van bemesting uit eerdere jaren op de gemeten nitraatconcentratie. Die gegevens zijn vaak voor LMM-bedrijven niet of beperkt beschikbaar. Daarnaast zijn er voor de kleiregio voor minder jaren meetgegevens beschikbaar dan voor de zandregio en zijn er de kleiregio vanaf 2001 duidelijk minder melkveebedrijven per jaar dan in de zandregio.

Het stikstofoverschot per landbouwbedrijf wordt berekend met forfaits voor bijvoorbeeld stikstofdepositie en stikstofmineralisatie en met forfaitaire gehalten voor bijvoorbeeld stikstof van afgevoerde gewassen en af- en aangevoerde dierlijke mest, zie paragraaf 2.5. Op individuele bedrijven zullen de werkelijke waarden van de stikstofdepositie en stikstofmineralisatie en van de gehalten in de af- en aangevoerde producten, afwijken van deze forfaits en forfaitaire gehalten. Het berekende stikstofoverschot op de bodembalans voor een bedrijf zal hierdoor afwijken van het werkelijke stikstofoverschot. Deze fouten middelen zich tegen elkaar uit, als er veel bedrijven per jaar zijn. Naarmate de berekende jaargemiddelde stikstofoverschotten meer afwijken van de werkelijke jaargemiddelde overschotten, dan zal de berekende toename van de stikstofuitspoeling met een toename van het stikstofoverschot kleiner worden. Dit wil zeggen dat de lijn die de relatie weergeeft tussen uitspoeling en overschot, zoals in Figuur 3.1, vlakker gaat lopen. Dat komt omdat bij regressieanalyse wordt verondersteld dat de onafhankelijke variabele (het overschot) veel nauwkeuriger kan worden vastgesteld dan de afhankelijke variabele (de uitspoeling). Dit verklaart mogelijk deels waarom de lijnen voor de akkerbouwbedrijven in de zand- en de kleiregio en voor de melkveebedrijven in de klei- en de veenregio vlakker lopen dan de lijn voor de melkveebedrijven in de zandregio.

De consequentie van de geringe toename van de stikstofuitspoeling met de toename van het stikstofoverschot bij landbouwbedrijven in de kleiregio is een duidelijke toename van de uitspoelingsfractie met een afname van het stikstofoverschot op de bodembalans (zie Figuur 3.4).

De stikstofuitspoeling melkveebedrijven in de veenregio is laag net als bij melkveebedrijven in de kleiregio (10-20 kg/ha/jaar), maar de stikstofoverschotten zijn hoger; 250-400 kg/ha/jaar bij melkveebedrijven in de veenregio en 150-350 kg/ha/jaar bij melkveebedrijven in de kleiregio. De beperkte hoeveelheid gegevens laten een daling van de uitspoeling zijn bij een afname van het overschot. De uitspoelingsfractie heeft geen relatie met het stikstofoverschot.

De literatuur bevat data waaruit blijkt dat bij groter overschot relatief minder uitspoelt (Schröder en Van Keulen, 1997) en data die aangeven dat bij groter overschot relatief meer uitspoelt (Van Beek et al., 2003). Vooralsnog is daarom bij scenarioberekening ter verkenning van mogelijke stikstofgebruiksnormen op basis van LMM (Schröder et al., 2004; Van Dijk en Schröder, 2007) uitgegaan van een constante fractie.



Figuur 3.5 Relatie tussen de berekende uitspoeling (kg/ha/jaar) en uitspoelingsfractie (als percentage) enerzijds en het stikstofoverschot anderzijds voor melkveebedrijven in de veenregio.

Dat de uitspoelingsfractie niet samen verandert met het stikstofoverschot lijkt een redelijke aanname als we kijken naar de gegevens voor melkveebedrijven in de zandregio. De toename van de uitspoelingsfractie met een afname van het stikstofoverschot bij de akkerbouwbedrijven in de zandregio en de landbouwbedrijven in de kleiregio kan meerdere oorzaken hebben. Het kan een indicatie zijn dat er meer denitrificatie optreedt bij een hoger stikstofoverschot. Dit is eerder gevonden door Schröder en Van Keulen (1997). De exacte reden hiervoor is niet aan te geven, maar het zou veroorzaakt kunnen worden doordat denitrificatie toeneemt bij toenemende nitraatconcentratie in de bodem. Dit verklaart niet waarom bij de melkveebedrijven in de zandregio niet een dergelijke toename wordt gevonden.

Een andere mogelijke oorzaak is dat een hoger overschot wordt veroorzaakt door meer mestgebruik en/of meer gewasresten, waardoor een hoger stikstofoverschot tevens een indicator is voor meer aanvoer van organische stof naar de bodem. Dit kan leiden tot meer denitrificatie. Gezien het verloop van de lijn in Figuur 3.2 zou bij de melkveebedrijven in de zandregio een hoger overschot dan juist veroorzaakt moeten zijn door meer kunstmest gebruik. Echter bij de melkveebedrijven in de klei- en veenregio vinden we geen toename van de uitspoelingsfractie met een toename van het stikstofoverschot.

Een derde mogelijkheid is dat deze toename wordt veroorzaakt door een analytisch probleem en er feitelijk geen sprake is van een relatie tussen uitspoelingsfractie en stikstofoverschot. Het vlakker lopen van deze lijn heeft tot gevolg dat de uitspoelingsfractie gaat toenemen bij een lager overschot. In Bijlage 4 wordt dit in meer detail besproken.

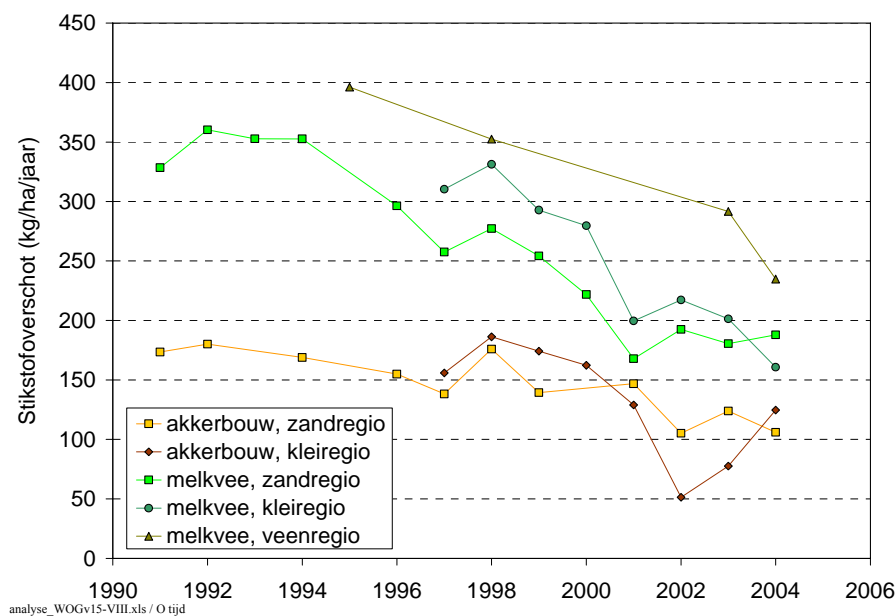
Mogelijke effecten van na-ijling

De stikstofuitspoeling, berekend op basis van de gemeten stikstofconcentratie in de winter (klei en veen) of de zomer (zand), is gekoppeld aan het stikstofoverschot dat is gerealiseerd in het voorafgaande landbouwseizoen. Het is de vraag of de uitspoeling naar het grond- of oppervlaktewater in

werkelijkheid zo snel verloopt. Uit onderzoek is bekend dat ook de effecten van de landbouwpraktijk uit eerdere jaren te meten zijn in het bovenste grondwater (Meinardi en Van den Eertwegh, 1997; Boumans en Verloop, 2007). Als het stikstofoverschot daalt dan kan de gemeten uitspoeling als gevolg van na-ijling hoger zijn dan in een evenwichtssituatie. Er is inderdaad sprake van een dalende trend in het stikstofoverschot, zie Figuur 3.6.

Uit Tabel 3.4 is af te leiden dat het stikstofoverschot de laatste drie jaren (2002-2004) 30-50% lager was dan in de voorafgaande jaren. Als er sprake is van na-ijling, zou een deel van de berekende uitspoeling onterecht toegerekend worden aan de landbouwpraktijk van het vorige jaar. Dit zou leiden tot een te hoog berekende uitspoelingsfractie. De geconstateerde toename van de uitspoelingsfractie (zie voorafgaande paragraaf 3.2) zou kunnen wijzen op een na-ijleffect.

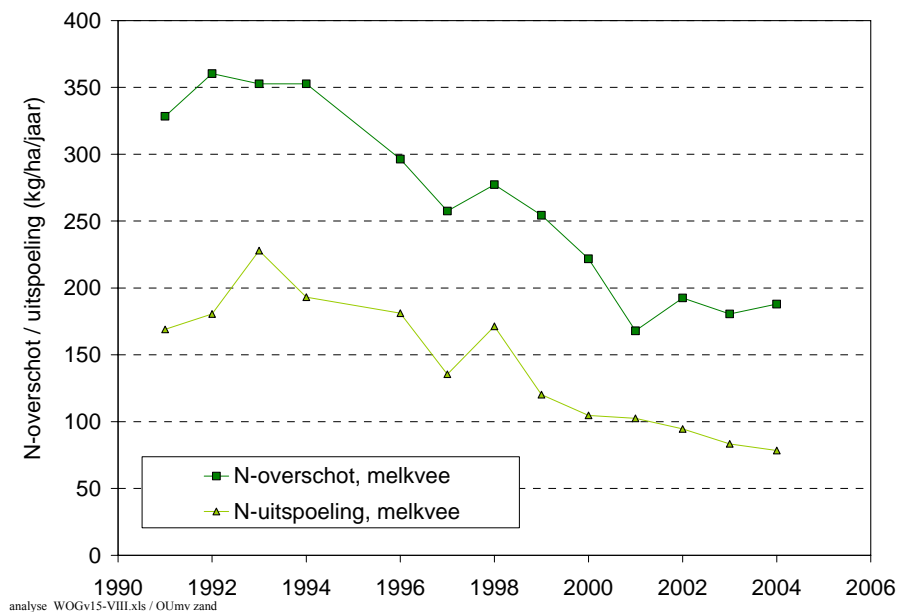
Indien we de ontwikkeling van het stikstofoverschot en de stikstofuitspoeling voor de melkveebedrijven in de zandregio (Figuur 3.7) en voor de akkerbouwbedrijven in deze regio uitzetten (Figuur 3.8), dan is te zien dat de stikstofuitspoeling in grote lijnen de ontwikkeling van het stikstofoverschot lijkt te volgen. De analyse beperkt zich tot de zandregio omdat voor een lange periode meetgegevens beschikbaar zijn vergeleken met de beschikbare reeksen voor de klei- en veenregio.



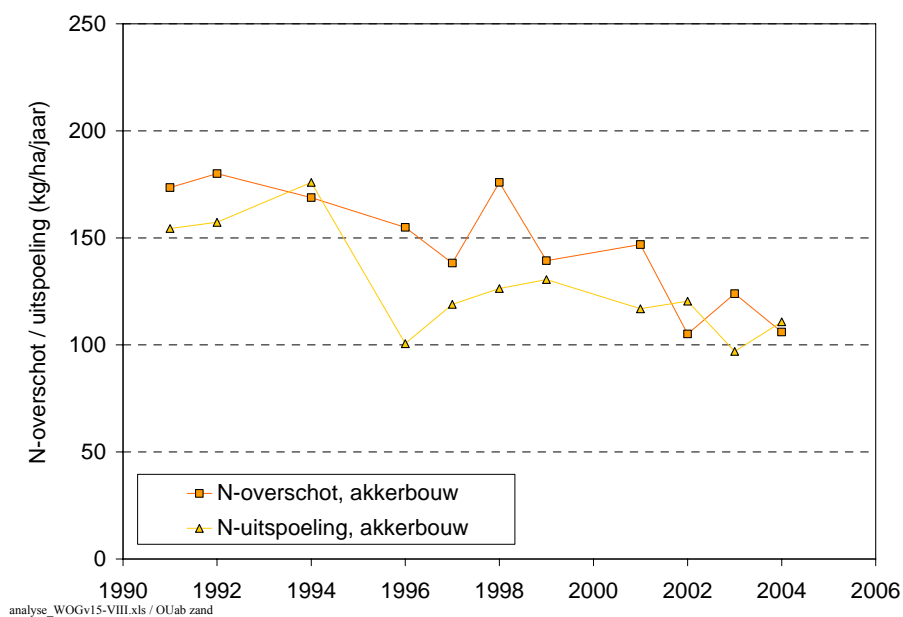
Figuur 3.6 Verloop van het stikstofoverschot (in kg/ha/jaar) op de deelnemende bedrijven in het LMM in de periode 1991-2004 per grondsoortregio en bedrijfstype.

Bij de melkveebedrijven (Figuur 3.7) zou er in de periode 2001-2004 sprake kunnen zijn van na-ijlen, aangezien het stikstofoverschot in die periode gelijk blijft, na een periode van daling, terwijl de berekende uitspoeling nog afneemt. Bij de akkerbouwbedrijven is een dergelijke patroon niet zichtbaar.

Het mogelijke effect van na-ijlen op de uitspoelingsfractie is waarschijnlijk niet groter dan 5-7%, zie Tabel 3.11. Dit betekent dat na-ijling geen volledige verklaring kan zijn voor het verschil dat gevonden wordt bij akkerbouwbedrijven in de uitspoelingsfractie tussen de periode voor 2001 en na 2001.



Figuur 3.7: Verloop van het stikstofoverschot en de stikstofuitspoeling bij zand met Gt VIII (in kg/ha/jaar) op de deelnemende melkveebedrijven in het LMM in de zandregio in de periode 1991-2004.



Figuur 3.8 Verloop van het stikstofoverschot en de stikstofuitspoeling voor zand met Gt VIII (in kg/ha/jaar) op de deelnemende akkerbouwbedrijven in het LMM in de zandregio in de periode 1991-2004.

Tabel 3.11 Vergelijking van berekende uitspoelingsfracties voor bouwland en grasland op zeer droge zandgrond (Gt VIII) als rekening wordt gehouden met na-ijling ¹.

Bedrijfstype	Geen na-ijling ²	Na-ijling		Verschil
		Beperkt (3 jaar)	Veel (4 jaar)	
Akkerbouw	0,87	0,82	0,81	5-7%
Melkvee	0,52	0,50	0,49	5-7%

¹ De na-ijling is berekend met twee modellen. Het eerste gaat uit van drie jaar na-ijling, waarbij voor het eerste jaar 50% van het stikstofoverschot uitspoelt, en van jaar twee 30% en jaar drie 20%. Het tweede model gaat uit van vier jaar na-ijling, waarbij voor het eerste jaar 40% van het stikstofoverschot uitspoelt, het tweede 30%, het derde 20% en het vierde 10%. Gegevens van opeenvolgende jaren zijn niet afkomstig van dezelfde bedrijven.

² Het betreft hier het gemiddelde voor de periode 1996-2004, dit is de periode waarvoor ook gerekend kan worden indien 'veel na-ijling' wordt verondersteld; daarom is het cijfer bij akkerbouw niet gelijk aan 0,89 en voor melkveebedrijven niet gelijk aan 0,53.

Naast de hierboven beschreven na-ijling, zou er in een situatie van afgenomen gebruik van dierlijke mest ook een effect van nawerking van deze dierlijke mest uit eerdere jaren kunnen zijn op het stikstofoverschot in een bepaald jaar. Dit komt doordat in geval van nawerking geen sprake is van het veronderstelde evenwicht tussen aanvoer en afbraak van organische mest. Schröder et al. (2007a) laten zien dat ook dit effect klein is. Voor de periode 1991-2006 wordt in de akkerbouw het stikstofoverschot tussen de 5 kg/ha/jaar onderschat en 10 kg/ha/jaar overschat, afhankelijk van grondsoort, jaar en de aanname van het percentage afbraak van organische stikstof in het jaar van toediening. Voor de melkveehouderij wordt het stikstofoverschot tussen de 7 kg/ha/jaar overschat en 14 kg/ha/jaar onderschat. Schröder et al. (2007a) concluderen dat de effecten van nalevering vanuit voordien hogere mestgiften op zowel de akkerbouw- en tuinbouwbedrijven als op de melkveebedrijven, gemiddeld klein genoeg zijn om genegeerd te worden.

Representativiteit van de LMM-bedrijven

Bij de selectie van landbouwbedrijven is veel aandacht besteed aan de representativiteit van de bedrijven (Fraters en Boumans, 2005). Desalniettemin liggen de meeste akkerbouwbedrijven in de zandregio in het Noordelijk Zandgebied en de Veenkoloniën. Dit heeft twee oorzaken:

1. Bij de start van het LMM in 1992 is om onderzoeksredenen bewust gekozen om de groep van deelnemende akkerbouwbedrijven te beperken tot het Noordelijk Zandgebied en de Veenkoloniën (Fraters et al., 1997).
2. Vanaf de start van de nieuwe fase in 1997 was er geen beperking meer voor de akkerbouwbedrijven met betrekking tot hun ligging. Dat toch de meeste bedrijven in het noorden gelegen zijn, hangt samen met het feit dat dit bedrijfstype vooral daar voorkomt. In Zuid-Nederland komen meer vollegrondsgroentenbedrijven voor, die niet tot de akkerbouw worden gerekend volgens de LEI-definitie.

In principe is er geen effect op de uitkomst te verwachten, omdat er wordt gecorrigeerd voor afwijkende grondsoorten (dalgrond), en eventueel afwijkende verhouding in de grondwatertrap.

In de kleiregio is het rivierkleigebied ondervertegenwoordig geweest in de periode 1997-2001. De reden is dat bedrijven in deze regio vaker dan in de andere kleigebieden alleen via sloten zijn gedraineerd en niet via buizendrainage. In deze beginperiode van het meetnet in de kleiregio zijn alleen bedrijven met buizendrainage bemonsterd, en dan alleen als de drains boven het slootwater niveau afwaterden. Vanaf landbouwpraktijkjaar 2002 (waterbemonstering in de winter 2002-2003) is op bedrijven zonder of met onvoldoende drains het bovenste grondwater bemonsterd via tijdelijke boorgaten. Vanaf dat jaar zijn ook de drains bemonsterd die onderwater afwaterden op de sloten.

Verder geldt dat akkerbouwbedrijven in het rivierkleigebied en melkveebedrijven in het zuidwestelijk zeekleigebied zowel in het LMM als in de praktijk weinig voorkomen. Dit pleit ervoor om in de toekomst de mogelijkheid van een correctie te onderzoeken voor de aanwezigheid van afwijkende grondsoorten (veengrond met minder uitspoeling en zandgrond met meer uitspoeling) en eventueel afwijkende verhouding in de arealen per grondwatertrap.

Onafhankelijk toets van resultaten

Een gedegen toets van de resultaten van deze studie op basis van resultaten uit andere studies viel buiten het kader van de opdracht. Wel is een zeer globale toets uitgevoerd op basis van gegevens gerapporteerd door anderen. Zo vonden De Ruijter et al. (2006) op akkerbouw- en de vollegrondsgroentenbedrijven die deelnemen aan Telen met Toekomst, een uitspoeling waaruit zich een uitspoelingsfractie van 0,79 op droge zandgrond laat afleiden. Ook uit de gecombineerde data aangaande stikstofoverschotten, stikstofconcentraties en neerslagoverschotten in veldproeven met voornamelijk snijmaïs (Corré, 1994; Schröder, 1995; Schröder en Ten Holte, 1993; Schröder et al., 1992, Van Dijk et al., 1995), kan een uitspoelingsfractie op droog zand van circa 1,20 worden afgeleid. Ook andere studies wijzen dus uit dat het stikstofoverschot van bouwland op droge zandgrond min of meer volledig kan uitspoelen naar het grondwater, zie Tabel 3.12.

In sommige jaren worden uitspoelingsfracties groter dan 1,00 berekend. Uitspoelingsfracties groter dan 1,00 wijzen op een stikstofuitspoeling die groter is dan er volgens de berekeningen aan uitspoelbare stikstof beschikbaar is. Dit kan verschillende oorzaken hebben. In de eerste plaats kan het neerslagoverschot, ook na omrekening naar een jaarspecifiek neerslagoverschot, feitelijk kleiner zijn dan waarvan wordt uitgegaan. Dit heeft tot gevolg dat op basis van de gemeten stikstofconcentratie een te grote stikstofuitspoeling is berekend. In de tweede plaats kunnen aanvoerposten op de balans al dan niet systematisch onderschat zijn en afvoerposten al dan niet systematisch overschat zijn. Beide hebben tot gevolg dat het feitelijke stikstofoverschot groter is dan berekend en dat de berekende uitspoelingsfractie daardoor enigszins is overschat. Fouten in de ene richting, bijvoorbeeld een onderschatting van de feitelijk opgetreden mineralisatie, worden binnen een jaar niet altijd volledig gecompenseerd door fouten in de andere richting, bijvoorbeeld een onderschatting van de feitelijk opgetreden vastlegging in nieuwe oogst- of mestresten. Een dergelijk evenwicht wordt vanzelfsprekend waarschijnlijker naarmate meerdere jaren in een gemiddelde worden betrokken.

Tabel 3.12 Berekende uitspoelingsfracties voor bouwland op zandgrond per drainageklasse

Bron: mondelinge mededeling Schröder, 2007.

Drainageklasse	LMM ¹	TmT ²	Proeven ³
Slecht (Gt I-IV)	0,33	0,63	-
Matig (Gt V-VI)	0,61	0,59	-
Goed (Gt VII – VIII)	0,87	0,79	1,20

¹ Berekend met Gt-correctiefactoren van Boumans et al. (1989), zie Tabel 1.1, en areaalweging op basis van gegevens Van Drecht en Scheper (1998).

² De Ruijter et al., 2006 (na vergelijkbare omrekening naar nitraat-N vrachten)

³ Corré, 1994; Schröder, 1995; Schröder en Ten Holte, 1993; Schröder et al., 1992; Van Dijk et al., 1995.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

De volgende conclusies kunnen getrokken worden op basis van de uitgevoerde studie:

- De mate van uitspoeling van het stikstofoverschot op de bodembalans naar grond- en oppervlaktewater (de uitspoelingsfractie) neemt toe in de volgorde veengrond, kleigrond, zandgrond.
- De uitspoelingsfractie is een factor 2 (zandgrond) tot 3 (kleigrond) hoger bij bouwland dan bij grasland.
- De uitspoelingsfracties berekend met de nieuwe methodiek zijn (iets) hoger dan berekend met de methodiek gebruikt in 2005, met uitzondering van de uitspoelingsfractie voor bouwland op zandgrond. De uitspoelingsfractie voor bouwland op zandgrond is met de nieuwe methodiek lager.
- De extra nettomineralisatie voor moerige gronden (hoger stikstofoverschot) en de correctiefactor voor de aanwezigheid van moerige gronden op landbouwbedrijven in de zandregio (meer denitrificatie) zijn parameters die niet alleen de uitspoelingsfractie op zandgrond duidelijk beïnvloeden, maar zijn mogelijk ook van invloed op de mede op basis hiervan te berekenen stikstofgebruiksnormen.
- De keuze van het te gebruiken neerslagoverschot en, voor zandgrond, de Gt-correctiefactoren in de berekening, bepaalt de grootte van de uitspoelingsfractie, maar het effect van de keuze op de te berekenen stikstofgebruiksnorm is beperkt.
- De aanname over de grootte van de netto-stikstofmineralisatie bij moerige gronden en de invloed van de aanwezigheid van andere grondsoorten in de zandregio beïnvloeden de grootte van de uitspoelingsfractie van het stikstofoverschot voor bouwland op zand meer dan die voor grasland op zand.
- De uitspoelingsfractie van het stikstofoverschot lijkt niet of nauwelijks afhankelijk te zijn van het bestaande niveau van het stikstofoverschot.
- Er is voor melkveebedrijven in de kleiregio geen duidelijke relatie aangetoond tussen de met de huidige methodiek berekende stikstofuitspoeling en het berekende stikstofoverschot.
- Het gebruik van forfaitaire waarden in combinatie met het rekenen met gemiddelden gebaseerd op een beperkt aantal bedrijven bij het berekenen van het stikstofoverschot en het niet corrigeren voor factoren als grondsoort en grondwatertrap bij de berekening van de stikstofuitspoeling, kunnen leiden tot foute conclusies ten aanzien van de relatie tussen stikstofuitspoeling en stikstofoverschot en de relatie tussen de uitspoelingsfractie van het stikstofoverschot en het stikstofoverschot.
- Doordat de stikstofoverschotten zijn afgenomen in de meetperiode, wordt maximaal een 4-7% hogere uitspoelingsfractie berekend dan bij gelijkblijvende stikstofoverschotten.

4.2 Aanbevelingen

Er is geen uitspoelingsfractie voor moerige gronden in de zandregio berekend. Hoe regelgeving voor de landbouw op deze gronden zal worden ingevuld is niet duidelijk. Daarom moet worden nagegaan of ook voor deze gronden een uitspoelingsfractie moet worden berekend. Hierbij dient aandacht te zijn voor de gevolgen van het opnemen van een post nettomineralisatie op de bodembalans en de wijze van de grondsoortcorrectie bij de berekening van de uitspoelingsfractie.

De netto-stikstofmineralisatie voor grasland op laagveengrond is berekend op basis van een veronderstelde relatie met de ontwateringstoestand. De nettomineralisatie voor moerige gronden (hoogveen- en dalgrond) in de zandregio is voor grasland en bouwland hetzelfde en onafhankelijk van de gemiddelde grondwaterstand. Het verdient aanbeveling om na te gaan of verbetering van de schatting van de netto-stikstofmineralisatie voor veen- en dalgronden mogelijk is.

De berekening van de stikstofuitspoeling bij klei- en veengrond is eenvoudiger dan die bij zandgrond. Bij de berekening van de stikstofuitspoeling bij bouwland en grasland op zandgrond zijn de gegevens gecorrigeerd voor de aanwezigheid van andere grondsoorten dan zand op de LMM-bedrijven in de zandregio. Ook zijn de gegevens gecorrigeerd voor de aanwezigheid van andere grondwatertrappen dan Gt VIII. Voor de berekening van de uitspoeling bij landbouw op klei- en veengrond is dit niet gebeurd. Het feit dat de gevonden relaties tussen overschot en uitspoeling minder goed zijn bij klei en veen dan bij zand wordt mogelijk hierdoor veroorzaakt. Het verdient daarom aanbeveling te onderzoeken of verbeteringen van de toegepaste rekenmethoden mogelijk en zinvol zijn.

Voor zandgronden is een uitspoelingsfractie berekend met de gemeten nitraatconcentratie in het grondwater. Vanuit gedraineerde zandgronden spoelt ook stikstof uit naar het oppervlaktewater. Het verdient aanbeveling om de kritische uitspoelingsfractie te bepalen. Dit is eerder gedaan in de N-deskstudie die in midden van de jaren negentig van de vorige eeuw is uitgevoerd (Van Eck, 1995).

Bij de berekening van de uitspoelingsfractie voor grasland op zand- en kleigronden wordt aangenomen dat de stikstofuitspoeling en het stikstofoverschot voor het bouwland op melkveebedrijven gelijk is aan die voor bouwland op de akkerbouwbedrijven. Het bouwland op melkveebedrijven betreft echter meestal maïsland. Het verdient daarom aanbeveling na te gaan of verbetering van de berekeningsmethode mogelijk is.

Referenties

- Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, T. Kroon (2007) Actualisatie Hydrologie voor Stone 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. Wageningen, Alterra, Reparatie Hydrologie voor STONE 2.3 (In voorbereiding).
- Beek, C.L. van, Brouwer, L. en Oenema, O. (2003) The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 67, 233-244.
- Beek, van C.L., Hummelink, E.W.J., Velthof, G.L., Oenema, O. (2004) Denitrification rates in relation to groundwater level in a peat soil under grassland. *Biology and Fertility of Soils* 39, 329-336.
- Beek, C.L. van, Drogers, P., Hardeveld, H.A. van, Eertwegh, G.A.P.H. van den, Velthof, G.L., Oenema, O. (2007) Leaching of solutes from an intensively managed peat soil to surface waters. *Water Air Soil Pollution* 182:291-301.
- Beukeboom, J.A. (1996) Forfaitaire gehalten voor de mineralenboekhouding. Ede, Informatie- en KennisCentrum Landbouw.
- Boumans, L.J.M. Meinardi C.R., Krajenbrink, G.J.W. (1989) Nitraatgehalte en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 728472013.
- Boumans, L.J.M., Fraters, B. and Van Drecht, G. (2001) Nitrate in the upper groundwater of 'De Marke' and other farms. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 49, (2-3):163-177.
- Boumans, L.J.M., Fraters, B. and Van Drecht, G. (2005) Nitrate leaching in agriculture to upper groundwater in the Sandy regions of the Netherlands during the 1992-1995 period. *Environmental Monitoring and Assessment* 102:225-241.
- Boumans, L.J.M. en Verloop, K. (2007) Nitraatlekken op De Marke. In: Verloop et al. (editors) Mineralen goed geregeld. Verslag Themadag Melkveehouderij 2006. Wageningen, Plant Research International, PRI-rapport nr. 153.
- Bresser, A.H.M., Egmond P.M. van, Fraters B., Hoogervorst N.J.P., Liere L. van, Mulchlegel J.H.C., Willems W.J., Boers P.C.M. (1999) Milieugevolgen van het aanvullend stikstofbeleid. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 718201001.
- Corré, W.J. (1994) Nitraatuitspoeling bij herfsttoediening van dierlijke mest. Haren, DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, AB-DLO Rapport 2.
- Dijk, W. van, Schröder, J.J., Holte, L. ten en Groot, W.J.M. de (1995) Effecten van wintergewassen op verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Lelystad, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groententeelt in de Vollegrond, PAGV Verslag 201.

- Dijk, W. van (2003) Adviesbasis voor de Bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen, Lelystad, WUR Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, PPO Verslag 307.
- Dijk, W. van, J.G. Conijn, J.F.M. Huijsmans, J.C. van Middelkoop en K.B. Zwart (2004) Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt organische mest: studie ten behoeve van onderbouwing gebruiksnormen. Lelystad, WUR Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, PPO-rapport 337.
- Dijk, W. van, Schoot, J.R. van der, Dam, A.M. van, Kater, L.J.M., Ruijter, F.J. de, Reuler, H. van, Pronk, A.A., Aendekerk, Th.G.L., Maas, M.P. van der (2005) Onderbouwing N-gebruiksnormen akker- en tuinbouw. Wageningen, WUR Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, PPO Rapport 347.
- Dijk, W. van en Schröder, J.J. (2007) Adviezen voor stikstofgebruiksnormen voor akker- en tuinbouwgewassen op zand- en lössgrond bij verschillende uitgangspunten. Wageningen, WUR Praktijkonderzoek Plant en Omgeving. PPO Rapport (in voorbereiding).
- Draper, N.R. and Smith, H. (1981) Applied regression analysis. Second Edition. New York, John Wiley and Sons, isbn 0-471-02995-5.
- Drecht, G. van en Scheper, E. (1998) Actualisering van model NLOAD voor de nitraatuitspoeling van landbouwgronden; beschrijving van model en GIS-omgeving. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 711501002.
- Eck, G. van (1995) Stikstofverliezen en stikstofoverschotten in de Nederlandse landbouw. Projectverliesnormen. Deelrapport 3. Den Haag, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit.
- EU (1991) Council Directive of 12 December 1991 concerning the protection of water against pollution caused by nitrates from agricultural sources (1991/676/EC). Official Journal of the European Communities, no. L 375: 1-8.
- EU (2005) Beschikking van de Commissie van 8 december 2005 tot verlening van een door Nederland gevraagde derogatie op grond van Richtlijn 91/676/EEG van de Raad inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen. Publicatieblad van de Europese Unie, L 324: 89-93.
- Fraters B., Vissenberg H.A., Boumans L.J.M., Haan T. de, Hoop D.W. de (1997) Resultaten Meetprogramma Kwaliteit Bovenste Grondwater Landbouwbedrijven in het zandgebied (MKBGL-zand) 1992 – 1995. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 714801014.
- Fraters B, Hotsma P.H., Langenberg V.T., Leeuwen T.C. van, Mol A.P.A., Olsthoorn C.S.M., Schotten C.G.J., Willems W.J. (2004) Agricultural practice and water quality in the Netherlands in the 1992-2002 period. Background information for the third EU Nitrate Directive Member States report. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 500003002.
- Fraters, B., Boumans, L.J.M., Leeuwen, T.C. van, Hoop, W.D. de (2005) Results of 10 years of monitoring nitrogen in the sandy regions in the Netherlands. Water, Science and Technology, 51 (3-4): 239-247.

Fraters, B. en Boumans, L.J.M. (2005) De opzet van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid voor 2004 en daarna - Uitbreiding van LMM voor onderbouwing van Nederlands beleid en door Europese monitorverplichtingen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 680100001.

Fraters, B., Leeuwen T.C. van, Reijs J., Boumans L.J.M., Aarts H.F.M., Daatselaar G.H.G., Doornewaard G.J., Hoop D.W., Schroder J.J., Velthof G.L., Zwart M.H. (2007) Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie. Beschrijving van de meetnetopzet voor de periode 2006-2009 en de inhoud van de rapportages vanaf 2008. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 680717001.

Goossens, F.R. en Meeuwissen, P.C. (1990) Advies van de Commissie Stikstof. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 9. Ede, IKC Veehouderij / IKC Akker- en Tuinbouw.

Granli, T. and Bøckman, O.C. (1994) Nitrous oxide from agriculture. Norwegian Journal of Agricultural Sciences Supplement 12.

Hack-ten Broeke, M.J.D., Burgers, S.L.G.E., Smit, A., Berge, H.F.M. ten, Gruijter, J.J. de, Hoving, I.E. Knotters, M., Radersma, S. en Velthof, G.L. (2004) Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat; Gegevens en regressieanalyse op basis van drie meetseizoenen (2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003) Wageningen, Alterra-rapport 1053, Reeks Sturen op Nitraat 12.p

Hooijboer, A., Boumans, L.J.M., Fraters, B. (2007) Waterkwaliteit op landbouwbedrijven, Evaluatie Meststoffenwet 2007. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM rapportnummer 680130002.

Huinink, J. en Waard, T. de (1997) Drainwater-monitoringproject Hoekse Waarde. Ede, Informatie en Kenniscentrum voor de Landbouw, Rapport IKC-L/HW_97.

Kekem, A.J. (Ed.) (2004) Veengronden en stikstofleverend vermogen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 965.

Kekem, A.J. van, Hoogland, T., Horst, J.B.F. van der Horst (2005). Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart. Werkwijze en resultaten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1080.

LNV (2004) MINAS-tabellenbrochure. Den Haag, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Locher, W.P. en De Bakker, H. (1993) Bodemkunde van Nederland. Deel 1: Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch, the Netherlands.

Massop, H.Th.L., Bakel, P.J.T. van, Kroon, T., Kroes, J.G, Tiktak, A., Werkman, W. (2005) Op zoek naar de 'ware' neerslag en verdamping. Toetsing van de het STONE 2.1 instrumentarium berekende verdamping aan de literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het neerslagoverschot op de regionale uitspoeling van nutriënten. Wageningen, Alterra, rapport 1158, Reeks Milieu en Landelijk gebied 28.

Meinardi C.R., Eertwegh G.A.P.H. van den (1997) Onderzoek aan drainwater in de kleigebieden van Nederland; Deel II: Interpretatie van de gegevens. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 714801013.

Meinardi C.R. (2004) Stromen van water en stoffen door de bodem en naar de sloten in de Vlietpolder. Deelrapport Veenweideproject (Vlietpolder) fase I. Leiden, Hoogheemraadschap Rijnland.

OECD (1989) Compendium of environmental exposure assessment methods for chemicals. OECD Environ Monogr 14:181-188.

Oenema, J., Assinck, F.B.T., Verloop, K., Velthof, G.L. en Aarts, H.F.M. (2007) Gebruiksnormen van meststoffen in de praktijk, getoetst in 2004 en 2005. Koeien en Kansen Rapport 38. Wageningen, Plant Research International, PRI Rapport nr. 134, 85 p.

Oenema, O., G.L. Velthof, N. Verdoes, P.W.G. Groot Koerkamp, G.J. Monteny, A. Bannink, H.G. van der Meer en K.W. van der Hoek (2000) Fofaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen; gewijzigde druk. Wageningen, WUR Alterra, Rapport 107.

Poppe, K. J. (2004) Het Bedrijven-Informatienet van A tot Z. Den Haag, Landbouw Economisch Instituut, WUR/LEI Rapport 1.03.06.

Ricker, W.E. (1973) Linear regressions in fishery research. J. Fish. Res. Board Can., 30:409-434.

Rozemeijer J.C., Boumans L.J.M., Fraters B. (2006) Drainwaterkwaliteit in de kleigebieden in de periode 1996-2001. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 680100004.

Ruijter, F.J. de, Boumans, L.J.M., Smit, A.L. and Berg, M. van den (2007) Nitrate in upper groundwater on farms under tillage as affected by fertilizer use, soil type and groundwater table. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 77:155-167.

Ruijter, F.J. de, Boumans, L.J.M. en Asperen, P. van (2006) Grondwaterkwaliteit op open teelt bedrijven op zandgrond. Wageningen, Telen met Toekomst, PPO-PRI-DLV-RIVM, Rapport OV0601.

Schröder, J.J., Holte, L. ten, Dijk, W. van, Groot, W.J.M. de, Boer, W.A. de, Jansen, E.J. (1992) Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Lelystad, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groententeelt in de Vollegrond, PAGV Verslag 148.

Schröder, J.J. en Holte, L. ten (1993) De invloed van nitrificatieremmers, toedieningstijdstip en dosering van organische en minerale stikstof op de opbrengst van snijmaïs en de verliezen naar het milieu. Wageningen, DLO - Centrum voor Agro-Biologisch Onderzoek, CABO-DLO-verslag 179, CABO-DLO.

Schröder, J.J. (1995) De invloed van grote giften runderdrijfmest op de groei, opbrengst en kwaliteit van snijmaïs en op de bodemvruchtbaarheid en waterverontreiniging; Maarheeze (zandgrond) 1974-1982. Lelystad, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groententeelt in de Vollegrond, PAGV-verslag 31.

Schröder, J.J. and Keulen, H. van (1997) Modelling the residual N effect of slurry applied to maize land on dairy farms in the Netherlands. Neth. J. Agr. Sci. 45, 477-494.

Schröder, J.J., Steenhuizen, J.W., Jansen, A.G., Fraters, B., en Siepel, A. (2003) Opbrengst, mineralenverlies, en bodemvruchtbaarheid van een biologisch akkerbouwbedrijf in relatie tot bemestingsniveaus. Resultaten van het ecologisch proefbedrijf Dr. H.J. Lovinkhoeve 1996-2002. Wageningen, WUR Plant Research International, PRI rapport 69.

Schröder, J.J., Aarts, H.F.M., Bode, M.J.C. de, Dijk, W. van, Middelkoop, J.C. van, Haan, M.H.A. de, Schils, R.L.M., Velthof, G.L. en Willems, W.J. (2004) Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Wageningen, WUR Plant Research International, PRI Rapport 79.

Schröder, J.J., Aarts, H.F.M., Middelkoop, J.C. van, Haan, M.H.A. de, Schils, R.L.M., Velthof, G.L., Fraters, B. en Willems, W.J. (2005) Limits to the use of manure and mineral fertilizer in grass and silage maize production in the Netherlands, with special reference to the EU Nitrates Directive. WUR Plant Research International, PRI Report 93.

Schröder, J.J., Velthof, G.L., Schoot, J.R. van der en Dijk, W. van (2007a) Effect van nalevering op het stikstofoverschot van akker- en tuinbouwbedrijven en van melkveebedrijven. Nota 492, Plant Research International, Wageningen (in druk).

Schröder, J.J., Aarts, H.F.M., Middelkoop, J.C. van, Schils, R.L.M., Velthof, G.L., Fraters, B. en Willems, W.J. (2007b) Permissible manure and mineral fertilizer use in dairy farming systems on sandy soils in the Netherlands to comply with the Nitrates Directive target. *European Journal of Agronomy*, 27: 102-114.

Snedecor, G.W. and Cochran, W.G. (1989) *Statistical Methods*, 8th Edition. Ames: Iowa State University Press.

Steenvoorden, J.A.H.M. (1988). Vermindering van stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen, ICW Nota 1849.

Velthof, G.L. (2003) Relaties tussen mineralisatie, denitrificatie en indicatoren voor bodemkwaliteit in landbouwgronden, Wageningen, Alterra rapport 769.

Velthof, G.L. en Fraters B. (2007) Nitraatuitspoeling in duinzand en lössgronden. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, WOt-rapport 54.

Vrolijk et al. (in voorbereiding) Kwaliteitsaspecten van het Bedrijven-Informatienet. Den Haag, Landbouw Economisch Instituut, WUR/LEI rapport in prep.

Watson, C.J., Jordan, C., Lennox, S.D., Smith, R.V., Steen, R.W.J. (2000) Inorganic nitrogen in drainage water from grazed grassland in Northern Ireland. *Journal of Environmental Quality* (29):225-232.

Westhoek, H. (1995). Quick-scan milieu-effecten : verkenning van de milieu-effecten van verschillende stikstof- en fosfaatverliezen. Informatie en Kennis Centrum voor de Akker- en Tuinbouw, Ede, IKC - Informatie.

Willems W.J., Vellinga T.V., Oenema O., Schröder J.J., Meer H.G. van der, Fraters B., Aarts H.F.M.
(2000) Onderbouwing van het Nederlandse derogatieverzoek in het kader van de Europese
nitraatrichtlijn. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 718201002.

Bijlage 1 Afleiden van correctiefactoren voor grondsoort en grondwatertrap

De REML-analyse is uitgevoerd met GenStat versie 9.1. Er is gebruikgemaakt van 639 bedrijfsbemonsteringen uitgevoerd in de periode 1991/'92 tot en met 2004/'05 in de zandregio. Het betreft reguliere LMM-bedrijven van alle landbouwbedrijfstypen.

Het model bestaat uit vier parameters (fixed effects), de fractie natte gronden (Gt I, II, II*, III, III*, IV; fNat), de fractie droge gronden (Gt VII en VIII; fDroog) de fractie dal- en veengronden (fMoerig en het actuele relatieve neerslagoverschot (Prn[actueel])). Het bedrijf is meegenomen als zogenaamd 'random effect', zodat rekening wordt gehouden met het feit dat bedrijven meerdere keren bemonsterd kunnen zijn. De fractie 'matig droge gronden' (Gt V, V* en VI) wordt impliciet in het model meegenomen.

GENSTAT uitvoer

```
Response variate:      no3
Fixed model:          Constant + fNat+ fDroog + fMoerig + Prn[actueel]
Random model:         bedrijf
Number of units:      639
```

Residual variance model

Term	Factor	Model(order)	Parameter	Estimate	s.e.
Residual		Identity	Sigma2	1536	116

Wald tests for fixed effects

Sequentially adding terms to fixed model

Fixed term	Wald statistic	d.f.	Wald/d.f.	chi pr
fNat	75,25	1	75,25	<0,001
fDroog	7,77 1	7,77	0,005	
fMoerig	16,25 1	16,25	<0,001	
Prn[actueel]	447,09 1	447,09	<0,001	

Dropping individual terms from full fixed model

Fixed term	Wald statistic	d.f.	Wald/d.f.	chi pr
Prn[actueel]	447,09	1	447,09	<0.001
fMoerig	11,99	1	11,99	<0.001
fDroog	4,76	1	4,76	0,029
fNat	34,49	1	34,49	<0.001

Message: chi-square distribution for Wald tests is an asymptotic approximation (i.e. for large samples) and underestimates the probabilities in other cases.

Parameter	Regression coefficient	Standard error
Table of effects for Constant	93.55	3.285
Table of effects for fNat	-70.79	12.055
Table of effects for fDroog	39.52	18.118
Table of effects for fMoerig	-36.08	10.421
Table of effects for Prn[actueel]	91.21	4.314

$C_{\text{[moerig]}} = 36$ met een 95%-betrouwbaarheidsinterval van ongeveer 16 tot 56

Kwantificering van de invloed van de grondwatertrappen

De nitraatconcentratie (mg/l) kan berekend worden met de vergelijking

$$\text{NO}_3 = 93,55 - 70,99 * \text{fNat} + 39,52 * \text{fDroog} - 36,08 * \text{fMoerig} + 91,21 * \text{Prn[actueel]}$$

De verhouding tussen de drie drainageklassen kan worden berekend door voor de vergelijking de volgende waarden in te vullen:

Drainageklassen	fNat	fDroog	fMoerig	Prn[actueel]	NO ₃ (mg/l)
Nat (Slecht)	1	0	0	1	40
Matig droog (Matig)	0	0	0	1	109
Droog (Goed)	0	1	0	1	149

$$\text{NO}_3 [\text{Nat}] = 93,55 - 70,99 * 1 + 39,52 * 0 - 36,08 * 0 + 91,21 * 1 = 40 \text{ mg/l}$$

$$\text{NO}_3 [\text{Matig}] = 93,55 - 70,99 * 0 + 39,52 * 0 - 36,08 * 0 + 91,21 * 1 = 109 \text{ mg/l}$$

$$\text{NO}_3 [\text{Droog}] = 93,55 - 70,99 * 0 + 39,52 * 1 - 36,08 * 0 + 91,21 * 1 = 149 \text{ mg/l}$$

Voor akkerbouw is de areaalgewogen Gt-correctiefactoren van Boumans et al. (1989) 0,88 en voor grasland 0,87. De Gt-correctiefactoren voor de andere drainageklassen dan droog worden berekend via de verhouding van de berekende nitraatconcentratie ten opzichte van die bij Droog en te vermenigvuldigen met de areaalgewogen Gt-correctiefactor van Boumans et al. bij Droog.

$$\text{Correctiefactor LMM akkerbouw Droog} = \text{areaalgewogen Gt-correctiefactor} = 0,879$$

$$\text{Correctiefactor LMM akkerbouw Matig droog} = 0,879 * 109/149 = 0,64$$

$$\text{Correctiefactor LMM akkerbouw Nat} = 0,879 * 40/149 = 0,23$$

Bijlage 2 Berekening van het jaarspecifieke neerslagoverschot

Voor het berekenen van de stikstofuitspoeling in een specifiek jaar is de gemeten gemiddelde nitraatstikstofconcentratie in dat jaar nodig en het jaarspecifieke neerslagoverschot. Echter alleen een (Gt-specifiek) meerjarig gemiddeld neerslagoverschot is beschikbaar per grondsoort per gewasgroep per grondwatertrap, zie Tabel 2.2. In deze bijlage wordt uitgelegd hoe op basis van de gegevens in Tabel 2.2 het benodigde jaarspecifieke neerslagoverschot is berekenen. In Bijlage 5 is aan de hand van een voorbeeld de berekening van de uitspoelingsfractie geïllustreerd. In Bijlage 5 is ook getoond hoe het jaarspecifieke neerslagoverschot wordt berekend. Deze Bijlage 2 geeft de theoretische onderbouwing van de berekeningen.

De berekening van het jaarspecifieke neerslagoverschot voor een groep van bedrijven in een bepaalde grondsoortregio in een bepaald jaar bestaat uit twee stappen.

- o Eerst wordt voor de betreffende groep van bedrijven een groepsspecifiek meerjarig gemiddeld neerslagoverschot berekend voor het jaar waarin de groep bemonsterd is. De grootte van het groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot hangt af van de gemiddelde fracties voor de gewassen (bouwland/maïsland en grasland), de grondsoorten (zand, moerig zand, klei, veen) en grondwatertrappen. Omdat deze fracties ook voor bijvoorbeeld de akkerbouwbedrijven in de zandregio tussen jaren kunnen verschillen, zijn de groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschotten tussen de jaren verschillend.
- o De tweede stap betreft het berekenen van het jaarspecifieke overschot door het groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot te vermenigvuldigen met een correctiefactor gebaseerd op het zogenoemde relatieve neerslagoverschot.

Deze twee stappen worden hieronder achtereenvolgens in detail besproken.

Uitgangspunt is dat per bedrijfstype en grondsoortregio de som van alle groepsspecifieke meerjarige gemiddelde neerslagoverschotten in een meetperiode gelijk is aan de som van alle jaarspecifieke neerslagoverschotten in deze meetperiode.

Het groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot

Het groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot is berekend met behulp van de gegevens in Tabel 2.2 over het Gt-specifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot, dit is het meerjarige gemiddelde neerslagoverschot per grondsoort, gewas en grondwatertrap. Voor elk van de betreffende jaargroepen (combinaties jaar-bedrijfstype-grondsoortregio) is de fractieverdeling van de gewasgroepen, grondsoorten en grondwatertrappen bekend. Op basis van de verdelingen kan voor deze combinaties het groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot $P_n[bt, regio]$ worden berekend.

$$P_n[bt, regio] = (fG[a] * P_n[bt, b[a], gras] + .. + fG[x] * P_n[bt, G[x], gras]) * fGras + (fG[a] * P_n[bt, b[a], bouwland] + .. + fG[x] * P_n[bt, G[x], bouwland]) * fBouwland \quad [B2.1]$$

Hierbij is:

$P_n[bt, regio]$ het groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot voor een bepaald bedrijfstype in een bepaalde grondsoortregio in een bepaald jaar;

$fG[a]$	fractie van grondsoort [a] voor de betreffende combinatie van jaar-bedrijfstype-grondsoortregio;
$P_n[bt,b[a],gras]$	het gewas- en grondsoortspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot voor gras op grondsoort [a] bij de gegeven fractieverdeling van grondwatertrappen in de combinatie; zie vergelijking [B2.2];
$P_n[bt,b[a],bouwland]$	het gewas- en grondsoort specifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot voor bouwland op grondsoort [a] bij de gegeven fractieverdeling van grondwatertrappen in de combinatie; zie vergelijking [B2.2];
$fGras$	de fractie van het areaal in de combinatie onder grasland;
$fBouwland$	de fractie van het areaal in de combinatie onder bouwland.

Bij deze berekening zijn de volgende vereenvoudigingen en aannamen gehanteerd:

1. In de zandregio is alleen onderscheid gemaakt tussen moerige gronden (veen- en dalgrond) en overige gronden. Het neerslagoverschot voor veengrond uit Tabel 2.2 is gebruikt voor de moerige gronden, het neerslagoverschot voor zandgrond is gebruikt voor de overige gronden.
2. In de kleiregio en de veenregio is alleen onderscheid gemaakt tussen zandgrond en overige gronden. Het neerslagoverschot voor zandgrond uit Tabel 2.2 is gebruikt voor de zandgronden, het neerslagoverschot voor kleigrond is gebruikt voor de overige gronden in de kleiregio en het neerslagoverschot voor veengronden in de veenregio.
3. Voor akkerbouwbedrijven is het percentage grasland op nul gezet.
4. Er is geen onderscheid gemaakt in de verdeling van de grondsoorten voor grasland en bouwland.
5. Voor bouwland op melkveebedrijven is het neerslagoverschot voor maïs gebruikt, op akkerbouwbedrijven het neerslagoverschot voor bouwland.

Het gewas- en grondsoortspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot per bedrijfstype (bt) per grondsoort (b) per gewas (g) bij de gegeven fractieverdeling van grondwatertrappen ($P_n[bt,b,g]$) is berekend als de som van de producten van de fractie van de grondwatertrap (fGt) en het Gt-specifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot voor dat gewas op die grondsoort ($P_n[b,g,gt]$).

$$P_n[bt,b[a],g[z]] = fGt[I] * P_n[b[a],g[z],gt[I]] + .. + fGt[VIII] * P_n[b[a],g[z],gt[VIII]] \quad [B2.2]$$

Hierbij is:

$P_n[bt,b[a],g[z]]$ het gewas- en grondsoortspecifieke meerjarige nettoneerslagoverschot gemiddeld over alle Gt's voor grondsoort [a] en gewas [z];

$fGt[I]$ fractie van grondwatertrap Gt I voor de combinatie van jaar-bedrijfstype-grondsoortregio;

$P_n[b[a],g[z],gt[I]]$ het Gt-specifieke meerjarige nettoneerslagoverschot voor Gt I voor grondsoort [a] en gewas [z], zie Tabel 2.2, de variatie is in onderstaande tabellen gegeven

De aanname is dat de verdeling van de Gt's onafhankelijk is van gewas en grondsoort.

Het jaarspecifiek neerslagoverschot

Het jaarspecifieke neerslagoverschot per bedrijfstype (akkerbouw en melkveehouderij) per grondsoortregio (zandregio, kleiregio en veenregio) is berekend door het groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot te vermenigvuldigen met het quotiënt van het periode gemiddelde relatieve neerslagoverschot en het jaarspecifieke relatieve neerslagoverschot. Om te zorgen dat het gemiddelde neerslagoverschot over de meetjaren hetzelfde is voor 'het groepsspecifieke meerjarig

gemiddelde neerslagoverschot' en het 'jaarspecifieke neerslagoverschot' is een correctiefactor nodig die iteratief is bepaald¹⁵.

$$P_{n,j}[bt, regio, j] = P_n[bt, regio] * \frac{P_{n,r}[bt, regio]}{P_{n,r}[bt, regio, j]} * C_i \quad [B2.3]$$

Hierbij is:

- $P_{n,j}[bt, regio, j]$ het jaarspecifiek neerslagoverschot in m³ per hectare jaar per bedrijfstype (akkerbouw en melkveehouderij) per grondsoortregio (zand, klei en veen);
- $P_n[bt, regio]$ het groepsspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot in m³ per hectare voor een bepaald bedrijfstype in een bepaalde grondsoortregio in een bepaald jaar; zie vergelijking [B2.1];
- $P_{n,r}[bt, regio]$ het gemiddelde relatieve neerslagoverschot voor alle jaren in de gehele meetperiode;
- $P_{n,r}[bt, regio, j]$ het jaarspecifieke relatieve neerslagoverschot, gemiddelde voor alle bedrijven in dat jaar behorende bij het betreffende bedrijfstype in de betreffende regio;
- C_i neerslagcorrectiefactor.

Zowel het meerjarig gemiddelde neerslagoverschot als het jaarspecifieke relatieve neerslagoverschot zijn per combinatie van jaar-bedrijfstype-hoofdgrondsoortregio berekend. In de subparagraaf hieronder zal in meer detail worden ingegaan om de berekening van het meerjarig gemiddelde overschot. Voor de berekening van het relatieve neerslagoverschot wordt verwezen naar paragraaf 2.3 en de daar genoemde referenties.

¹⁵ Dat neerslagcorrectiefactor C_i nodig is, komt doordat het gemiddelde van de quotiënten per jaar niet gelijk is aan het quotiënt van de gemiddelden.

Variatie in meerjarig gemiddeld neerslagoverschot per grondsoort, gewas en grondwatertrap

Tabel B2.1 Meerjarig gemiddeld neerslagoverschot (P_n mm per jaar) per grondsoort, gewas en grondwatertrap.
Bron: STONE, versie 2.3, 10-percentiel waarden voor 1971-2000 (Van Bakel et al., 2007)

grondsoort	gewas	Grondwatertrap (Gt)										
		I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VIII
zand	bouwland			285	269	254	278	261	252	259	272	263
	maïspan		286	340	337	317	304	331	312	297	295	283
	grasland	349	258	215	228	223	221	234	228	226	245	249
klei	bouwland	447		309	269	298	287	348	252	265	261	260
	maïspan		424	359		373	286		288	295	283	295
	grasland		251	251	248	254	252	236	235	253	243	232
veen	bouwland	499	363	327	306	327	318	293	256	307	347	
	maïspan	338	337		329	345	369		298	290	340	353
	grasland	285	264	242	247	194	221	283	233	260	268	285

Tabel B2.2 Meerjarig gemiddeld neerslagoverschot (P_n mm per jaar) per grondsoort, gewas en grondwatertrap.
Bron: STONE, versie 2.3, 90-percentiel waarden voor 1971-2000 (Van Bakel et al., 2007)

grondsoort	gewas	Grondwatertrap (Gt)										
		I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VIII
zand	bouwland			416	345	423	403	335	384	403	420	446
	maïspan		434	443	422	414	405	381	409	387	392	414
	grasland	413	368	321	346	329	319	331	341	346	362	406
klei	bouwland	490		391	421	411	421	415	429	408	414	399
	maïspan		481	404		414	435		424	425	414	427
	grasland		378	341	375	361	372	373	376	377	380	375
veen	bouwland	563	480	373	408	377	370	393	372	383	431	
	maïspan	448	509		427	443	435		379	380	388	353
	grasland	426	373	319	359	333	316	349	341	328	316	288

Bijlage 3 Uitspoelingsfracties per gewas en grondsoort per jaar

In onderstaande Tabel B3.1 zijn de uitspoelingsfracties gegeven per jaar voor bouwland en grasland op de drie hoofdgrondsoorten zand, klei en veen. Voor zandgrond is de uitspoelingsfractie gegeven voor de grondwatertrap Gt VIII. De uitspoelingsfractie voor zandgronden met andere Gt's is gegeven in Tabel 3.2, maar alleen voor het periodegemiddelde. Voor klei- en veengrond hebben de uitspoelingsfracties betrekking op de 'gemiddelde' gronden en grondwatertrappen zoals deze in de klei- en veenregio voorkomen.

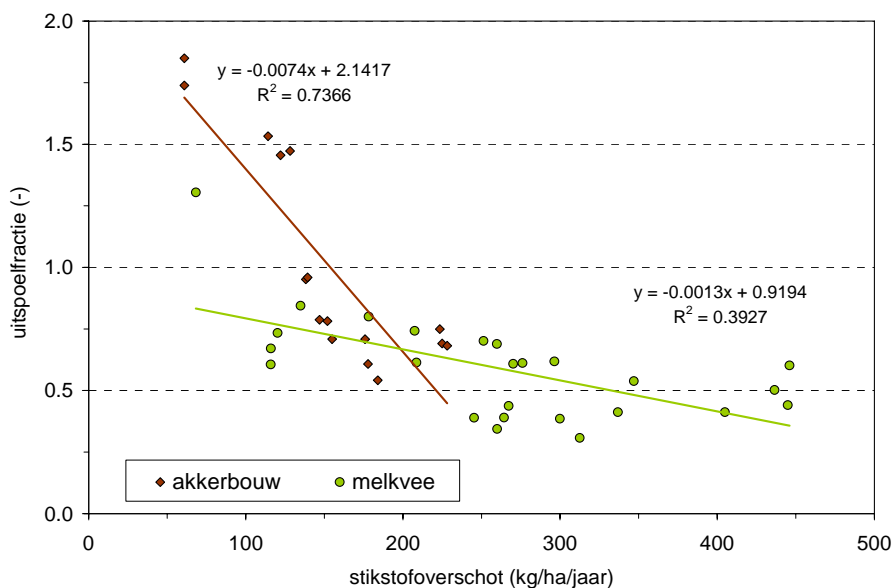
Tabel B3.1 Fractie van het stikstofoverschot op de bodembalans dat uitspoelt naar grond- of oppervlaktewater (uitspoelingsfractie) per gewas en grondsoort per jaar.

Jaar	Bouwland		Grasland		Veen
	Zand (Gt VIII)	Klei	Zand (Gt VIII)	Klei	
1991	0,89		0,46		
1992	0,87		0,45		
1993			0,62		
1994	1,04		0,50		
1995					0,03
1996	0,65		0,58		
1997	0,86	0,25	0,47	0,09	
1998	0,72	0,25	0,59	0,08	0,06
1999	0,94	0,38	0,40	0,15	
2000		0,26	0,38	0,08	
2001	0,80	0,26	0,49	0,16	
2002	1,15	0,71	0,40	0,13	
2003	0,78	0,49	0,37	0,11	0,04
2004	1,04	0,26	0,46	0,15	0,04

Bijlage 4 Relatie uitspoelingsfractie en overschot

De relatie tussen de grootte van de uitspoelingsfractie en de hoogte van het stikstofoverschot is bestudeerd door, daar waar mogelijk, per jaar en per combinatie van bedrijfstype en grondsoortregio twee groepen onderscheiden op basis van de hoogte van het stikstofoverschot, zie paragraaf 2.2. Deze analyse is aanvullend op de analyse gerapporteerd in paragraaf 3.3. Bij die analyse zijn de jaargemiddelde uitspoelingsfractie en het jaargemiddelde stikstofoverschot voor de hele combinatie gebruikt. De bespreking van de analyse in deze bijlage beperkt zich tot die voor landbouw op zand aangezien daar de meeste waarnemingen voor beschikbaar zijn.

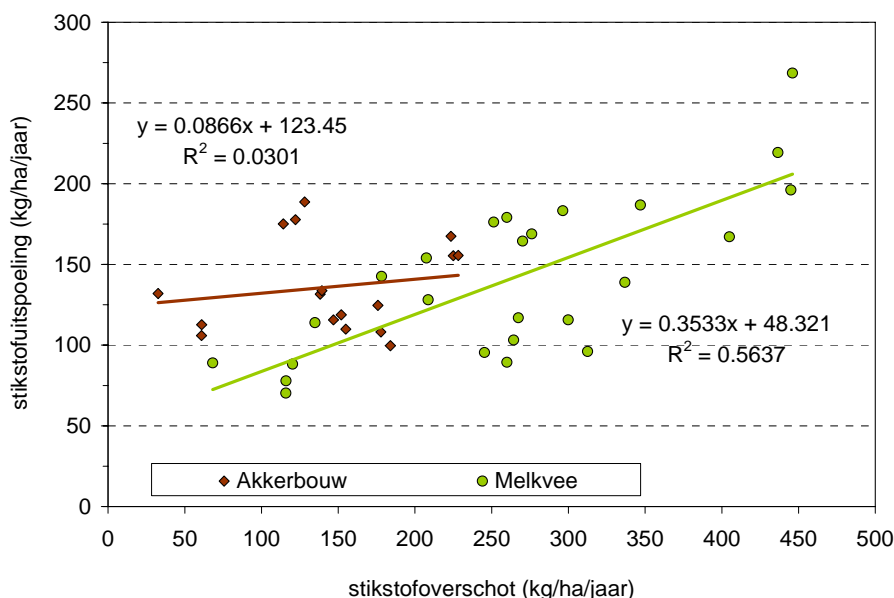
De uitspoelingsfractie voor zandgrond met Gt VIII neemt toe bij een afnemend stikstofoverschot voor zowel de melkveebedrijven als de akkerbouwbedrijven in de zandregio, zie Figuur B4.1. Er is nu een overlap te zien in de waarnemingen voor de melkvee- en de akkerbouwbedrijven, in tegenstelling tot Figuur 3.2.



Figuur B4.1 Relatie tussen de berekende uitspoelingsfractie (voor zandgrond met Gt VIII) en het stikstofoverschot voor akkerbouw- en melkveebedrijven op basis van twee groepen per jaar. Een waarde weggelaten; uitspoelingsfractie > 4 bij N-overschot van 33 kg/ha/jaar.

De uitspoelingsfractie neemt sterker toe bij een afname van het stikstofoverschot bij de analyse met gesplitste jaargroepen (Figuur B4.1) dan bij de analyse met ongesplitste jaargroepen (Figuur 3.2). Dit wordt veroorzaakt doordat de relatie tussen stikstofuitspoeling en stikstofoverschot bij gebruik van gesplitste jaargroepen zwakker is (verloop is vlakker) dan bij gebruik van ongesplitste jaargroepen, vergelijk Figuur B4.2 en en Figuur B.4.3 (doorgetrokken lijnen). Voor akkerbouw is het verschil in de regressiecoëfficiënt 0,09 versus 0,61 en voor melkvee 0,35 versus 0,63, zie Tabel B4.1. Een mogelijke verklaring voor dit verschijnsel is dat het onderscheid tussen bedrijven met een laag en hoog stikstofoverschot, binnen een jaar, niet goed te doen is. Bedrijven met en (fout) hoog overschot hebben

een lage stikstofuitspoeling en bedrijven met een (fout) laag overschot hebben een hoge stikstofuitspoeling. Het gevolg is dat de relatie tussen stikstofoverschot en stikstofuitspoeling in Figuur B4.2 (gesplitste jaargroepen) minder duidelijk is dan in Figuur B4.3 (ongesplitste jaargroepen). De geconstateerde afname van het jaarlijkse gemiddelde stikstofoverschot van alle bedrijven, in de afgelopen jaren, komt waarschijnlijk beter overeen met de werkelijke afname. In statistische termen is de mogelijke oorzaak van de zwakkere helling van de lijn (kleinere regressiecoëfficiënt) de fout in de berekening van het stikstofoverschot (de x-variabele), welke groter is voor de gesplitste groepen dan voor de ongesplitste groepen. Bij de ongesplitste groepen is er het dubbele aantal individuele bedrijfswaarnemingen. Bij middeling worden niet-systematische fouten tegen elkaar weggemiddeld. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik van forfaitaire (gemiddelde) waarden voor bijvoorbeeld de nettomineralisatie en gehalten in mest en afgevoerde producten voor de berekening van het stikstofoverschot van een individueel bedrijf. De grootte van de fout in de x-variabele beïnvloedt de helling¹⁶ (Snedecor and Cochran, 1989, blz. 173-174). Hoe groter de fout hoe zwakker de helling. Draper en Smith (1981, blz.122-125) doen de suggestie om in het geval van fouten in de x-variabele de gegevens te groeperen.



Figuur B4.2 Relatie tussen de stikstofuitspoeling (voor zandgrond met Gt VIII) en het stikstofoverschot voor akkerbouw- en melkveebedrijven op basis van twee groepen per jaar.

In Tabel B4.1 zijn de berekende regressiecoëfficiënten weergegeven en is te zien dat deze voor de relatie stikstofuitspoeling – stikstofoverschot kleiner zijn bij het gebruik van gesplitste jaargroepen dan bij ongesplitste jaargroepen.

Deze zogenoemde ‘regressie naar het gemiddelde’ als gevolg van een fout in de x-variabele betekent dat voor de analyses van de LMM-gegevens beter gebruik kan worden gemaakt van gemiddelde

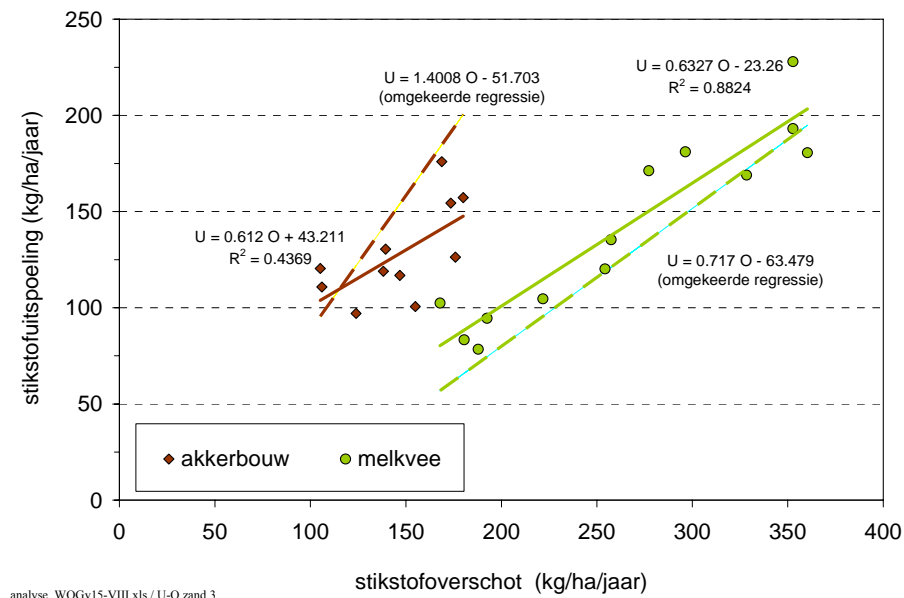
¹⁶ Als de x-variabele een fout bevat dan geldt voor de regressiecoëfficiënt dat $RC^* = k * RC$. RC^* is de waargenomen regressiecoëfficiënt, RC is de werkelijke waarde en k de factor die de relatie tussen beide weergeeft. De factor wordt berekend met $k = \sigma_x / (\sigma_x + \sigma_u)$. Waarbij σ_x de variantie is in x en σ_u de variantie in van de fout van x ; er geldt $x^* = x + u$. Indien x geen fout bevat dan is $\sigma_u = 0$, $k = 1$ en $RC^* = RC$. In alle andere gevallen is $\sigma_u > 0$, $k < 1$ en geldt dat $|RC^*| < |RC|$.

waarden voor grote groepen dan van individuele waarnemingen. Dat de regressiecoëfficiënten –in absolute zin- voor de relatie uitspoelingsfractie – overschot vervolgens groter zijn bij gesplitste jaargroepen wordt veroorzaakt door het feit dat de uitspoelingsfractie een functie is van de uitspoeling en het overschot.

Tabel B4.1 Effecten van verschil in gebruik van ongesplitste of gesplitste jaargroepen bij de analyse op de grootte van de regressiecoëfficiënten.

Bedrijfstype	Relatie uitspoeling - overschot		Relatie uitspoelingsfractie - overschot	
	ongesplitst	gesplitst	ongesplitst	gesplitst
Akkerbouw	0,61	0,09	- 0,0026	- 0,0074
Melkvee	0,63	0,35	0,0004	- 0,0013

Dit fenomeen speelt waarschijnlijk ook een rol bij de akkerbouwbedrijven (in de zandregio) en alle bedrijfstypen in de kleiregio. Voor deze groepen neemt de uitspoelingsfractie toe bij een afname van het stikstofoverschot. Deze groepen bevatten op jaarniveau vaak minder dan de helft van het aantal bedrijven dan de melkveehouderij in de zandregio. Een aanwijzing dat dit het geval is zien we als we de regressielijn uitzetten die de relatie weergeeft tussen overschot en uitspoeling bepaald door ‘omgekeerde regressie’ ($O = c*U+d$ in plaats van $U = a*O+b$), zie Figuur B4.3 (zie voor details Ricker, 1973). Voor de melkveebedrijven in de zandregio zijn de verschillen tussen de twee relaties klein vergeleken met die voor de akkerbouw in de zandregio. De gemiddelde relatie voor de akkerbouwbedrijven levert nagenoeg een 1:1-lijn op de bijna door de oorsprong gaat (GM-regressie, Ricker, 1973). Voor melkveebedrijven zou een rechtlijnig verband betekenen dat bij een stikstofoverschot van circa 50 kg/ha geen uitspoeling meer plaatsvindt. Dit is niet waarschijnlijk, en lijkt eerder een aanwijzing dat de relatie in het lagere traject niet rechtlijnig zal zijn.



Figuur B4.3: Relatie tussen de stikstofuitspoeling (voor zandgrond met Gt VIII) en het stikstofoverschot (doorgetrokken lijn) en tussen stikstofoverschot en stikstofuitspoeling (omgekeerde regressie, gestippelde lijn) voor akkerbouw- en melkveebedrijven op basis van twee groepen per jaar.

Bijlage 5 Voorbeeldberekening uitspoelingsfractie

In deze bijlage wordt aan de hand van een voorbeeld de berekening van de uitspoelingsfracties voor bouwland en grasland op zand getoond voor het landbouwpraktijkjaar 2003. De achtergronden van de berekeningen staan in paragraaf 1.3 en de gebruikte vergelijkingen in paragraaf 2.4 en 2.6. Let op, de hier gegeven getallen zijn afgerond. De gegeven uitkomsten van de berekeningen kunnen iets afwijken van de uitkomsten die worden berekend met de gegeven getallen, omdat de echte berekeningen zijn uitgevoerd met niet-afgeronde getallen.

Berekening van de uitspoelingsfractie voor bouwland op zandgrond in 2003

Het gemiddelde stikstofoverschot en de nitraatconcentratie alsook enkele andere algemene karakteristieken voor de groep van akkerbouwbedrijven in de zandregio voor 2003 staan gegeven in Tabel B5.1. De grondwatertrapverdeling is gegeven in Tabel B5.2.

Tabel B5.1 Gemiddelde karakteristieken voor akkerbouw- en melkveebedrijven in zandregio in 2003.

Parameter	Symbool	Akkerbouw	Melkvee
Stikstofoverschot (kg/ha/jaar)	$O[2003]$	124	181
Nitraatconcentratie (mg/l)	-	77	63
Nitraatstikstofconcentratie (kg/m ³)	NO_3-N	0,0173	0,0143
Fractie moerige gronden (-)	f_{Moerig}	0,41	0,20
Fractie grasland (-)	f_{Gras}	0,02	0,76
Correctie moerige gronden (kg/m ³)	$C[moerig]$	0,0081	0,0081
Relatief neerslagoverschot (-)	$P_{n,r}$	1,27	1,31
Periode gemiddelde $P_{n,r}$ (-)	$P_{n,r}[gem]$	1,14	1,13
Neerslagcorrectiefactor (-)	C_i	0,90	0,88

Tabel B5.2 Gemiddelde fractie per grondwatertrap (Gt) voor akkerbouw- en melkveebedrijven in zandregio in 2003.

Bedrijfstype	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VIII
Akkerbouw	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,09	0,20	0,12	0,33	0,06	0,03
Melkvee	0,01	0,12	0,02	0,18	0,11	0,04	0,13	0,08	0,20	0,09	0,02

Voor de berekening van de basisuitspoeling (ongecorrigeerde uitspoeling in kg/ha/jaar) wordt vergelijking [8] gebruikt:

$$U[bt,zandregio,j] = NO_3-N[bt,zandregio,j] * P_{n,i}[bt,zandregio,j]$$

Om de stikstofuitspoeling (U) te kunnen uitrekenen moet eerst het jaarspecifieke neerslagoverschot ($P_{n,j}$) worden berekend. Alle overige parameters kunnen uit Tabel B5.1 worden gehaald.

Eerst moet dan het meerjarig gemiddeld neerslagoverschot voor bouwland per grondsoort worden berekend met vergelijking B2.2 (zie Bijlage 2).

$$P_n[bt,b[a],g[z]] = fGt[I] * P_n[b[a],g[z],gt[I]] + \dots + fGt[VIII] * P_n[b[a],g[z],gt[VIII]] \quad [B.2.3]$$

Hiervoor worden de meerjarige neerslagoverschotgegevens voor bouwland op zand per Gt uit Tabel 2.2 vermenigvuldigd met de bijbehorende Gt-fracties uit Tabel B5.2. Het aantal onderscheiden grondsoorten is beperkt tot twee: moerige gronden (veen- en dalgronden), die als dalgronden worden behandeld, en overige gronden, die als zandgronden worden behandeld. Voor beide is de Gt-verdeling gebruikt zoals bepaald voor de akkerbouwbedrijven als geheel. Er is dus impliciet aangenomen dat er geen verschil is in de Gt-verdeling tussen zand- en dalgrond. Het grasland op landbouwbedrijven wordt gezien als bouwland, en daarom wordt geen meerjarig gemiddeld neerslagoverschot voor grasland berekend.

$$P_n[akkerbouw,zand,bouwland,2003] = 0,00*286 + 0,00*286 + 0,00*375 + 0,08*295 + 0,08*323 + 0,09*347 + 0,20*289 + 0,12*315 + 0,33*324 + 0,06*345 + 0,03*343 = 317 \text{ mm/jaar}$$

$$P_n[akkerbouw,dalgrond,bouwland,2003] = 0,00*536 + 0,00*414 + 0,00*337 + 0,08*352 + 0,08*363 + 0,09*353 + 0,20*354 + 0,12*321 + 0,33*348 + 0,06*388 + 0,03*388 = 352 \text{ mm/jaar}$$

Daarna kan een bodemgebruik- en grondsoortgewogen gemiddeld meerjarig gemiddelde neerslagoverschot voor akkerbouw in de zandregio worden berekend met vergelijking B2.1 (Bijlage 2):

$$P_n[bt,regio] = (fG[a]*P_n[bt,b[a],gras] + \dots + fG[x]*P_n[bt,G[x],gras])*fGras + (fG[a]*P_n[bt,b[a],bouwland] + \dots + fG[x]*P_n[bt,G[x],bouwland])*fBouwland \quad [B2.1]$$

De fractie grasland ($fGras$) is 0,0 en de fractie bouwland ($fBouwland$) 1,0. Er zijn fracties voor twee grondsoorten ($fG[zand]$ en $fG[moerig]$), waarbij de fractie zand wordt berekend als het verschil tussen het totaal en de fractie moerig. Het meerjarig gemiddeld neerslagoverschot voor bouwland op moerige gronden is gelijk gesteld aan dat voor dalgronden.

$$P_n[akkerbouw, zandregio,2003] = (1,00 - 0,41) * 317 + 0,41 * 352 = 332 \text{ mm/jaar}$$

Tot slot wordt het jaarspecifieke neerslagoverschot berekend met vergelijking [B2.3]:

$$P_{n,j}[bt,regio,j] = P_n[bt,regio] * \frac{P_{n,r}[bt,regio]}{P_{n,r}[bt,regio,j]} * C_i \quad [B2.3]$$

$$P_{n,j}[akkerbouw, zandregio,2003] = 332 * \frac{1,14}{1,27} * 0,90 = 268 \text{ mm/jaar} = 2680 \text{ m}^3/\text{ha/jaar}$$

Het jaar 2003 was dus op basis van het relatieve neerslagoverschot droger dan gemiddeld. De gemiddelde stikstofuitspoeling voor de akkerbouwbedrijven in de zandregio in 2003 is nu te berekenen met vergelijking [8]:

$$U[akkerbouw,zandregio,2003] = 0,0173 * 2680 = 46,5 \text{ kg/ha/jaar}$$

Vervolgens kunnen we deze uitspoeling corrigeren voor het feit dat gemiddeld 41% van het areaal van de akkerbouwbedrijven in 2003 uit moerige gronden bestaat en een aanzienlijk deel (97%) een nattere Gt heeft dan Gt VIII. Hierdoor zal er meer denitrificatie zijn, en zou de uitspoeling hoger zijn geweest als alle grond op deze bedrijven zandgrond met Gt VIII was geweest.

Met vergelijking [7] wordt vervolgens de uitspoeling berekend voor een zandgrond met Gt VIII op akkerbouwbedrijven in de zandregio:

$$U[bt,zand,zd,j] = \frac{U[bt,zand,j]}{C[bt,j]} + f_{Moerig}[bt,j] * C[moerig] * P_{n,j}[bt,zandregio,j] \quad [7]$$

De correctiefactor voor Gt ($C[gt]$) is berekend door de Gt-fracties uit Tabel B5.2 te vermeningvuldigen met de bijbehorende Gt-correctiefactoren uit Tabel 1.1. Hierbij is voor Gt I dezelfde Gt-correctiefactor gebruikt als voor Gt II. $C[gt]$ is de som van al deze producten:

$$C[gt] = 0,00*0,05 + \dots + 0,33*0,65 + 0,06*0,83 + 0,03*1,00 = 0,53$$

$$U[akkerbouw,zand,zd,2003] = \frac{46,5}{0,53} + \{ 0,41 * 0,0081 * 2680 \} = 97 \text{ kg/ha/jaar}$$

De uitspoelingsfractie voor zandgrond met Gt VIII op akkerbouwbedrijven kan nu worden berekend met vergelijking [2b]. De aanname hierbij is dat de hoogte van het stikstofoverschot onafhankelijk is van de grondwatertrap.

$$fU[bouwland,zand,gt,j] = \frac{U[akkerbouw,zand,gt,j]}{O[akkerbouw,zandregio,j]} \quad [2b]$$

$$fU[bouwlands,zand,gtVIII,2003] = \frac{97}{124} = 0,78$$

Berekening van de uitspoelingsfractie voor grasland op zandgrond in 2003

Het gemiddelde stikstofoverschot en de nitraatconcentratie alsook enkele andere algemene karakteristieken voor de groep van melkveebedrijven in de zandregio voor 2003 staan gegeven in Tabel B5.1. De grondwatertrapverdeling is gegeven in Tabel B5.2.

Om de stikstofuitspoeling voor de melkveebedrijven in 2003 te kunnen uitrekenen moeten we eerst het jaarspecifieke neerslagoverschot ($P_{n,j}$) berekenen. Alle overige parameters kunnen we uit Tabel B5.1 halen.

Eerst wordt het gewas- en grondsoortspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot voor bouwland en grasland per grondsoort op de melkveebedrijven in 2003 berekend met vergelijking B2.2 (zie Bijlage 2). Hiervoor worden de Gt-specifieke meerjarig neerslagoverschotgegevens voor

respectievelijk maïsland (is het bouwland op melkveebedrijven) en grasland op zand per Gt uit Tabel 2.2 vermenigvuldigd met de Gt-fracties uit Tabel B5.2. Voor bouwland en grasland worden de Gt-fracties gebruikt zoals die zijn bepaald voor de melkveebedrijven als geheel. De impliciete aanname is dus dat er geen verschil is in de Gt-verdeling tussen bouwland en grasland op de melkveebedrijven. Het aantal onderscheiden grondsoorten is beperkt tot twee, net als bij de akkerbouwbedrijven: moerige gronden (veen- en dalgronden), die als dalgronden worden behandeld, en overige gronden, die als zandgronden worden behandeld. Ook hier is aangenomen dat er geen verschil is in de Gt-verdeling tussen zand- en dalgrond.

$$P_n[\text{melkvee,zand,maïsland,2003}] = 0,01*286 + 0,12*286 + 0,02*374 + 0,18*352 + 0,11*350 + 0,04*358 + 0,13*374 + 0,08*364 + 0,20*332 + 0,09*332 + 0,02*353 = 343 \text{ mm/jaar}$$

$$P_n[\text{melkvee,dalgrond,maïsland,2003}] = 0,01*367 + 0,12*425 + 0,02*391 + 0,18*382 + 0,11*389 + 0,04*338 + 0,13*360 + 0,08*374 + 0,20*353 + 0,09*376 + 0,02*376 = 375 \text{ mm/jaar}$$

$$P_n[\text{melkvee,zand,grasland,2003}] = 0,01*372 + 0,12*323 + 0,02*257 + 0,18*287 + 0,11*279 + 0,04*274 + 0,13*277 + 0,08*276 + 0,20*280 + 0,09*298 + 0,02*323 = 288 \text{ mm/jaar}$$

$$P_n[\text{melkvee,dalgrond,grasland,2003}] = 0,00*350 + 0,00*318 + 0,00*281 + 0,08*302 + 0,08*276 + 0,09*287 + 0,20*307 + 0,12*282 + 0,33*288 + 0,06*350 + 0,03*318 = 292 \text{ mm/jaar}$$

Daarna kan het groepspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschot voor melkveebedrijven in de zandregio worden berekend met vergelijking B2.1 (Bijlage 2). Hierbij worden de gewas- en grondsoortspecifieke meerjarig gemiddelde neerslagoverschotten gemiddeld via weging. De verhouding tussen de grondsoorten is in de berekening identiek voor het grasland en het bouwland op de melkveebedrijven.

$$P_n[\text{melkvee, zandregio,2003}] = \{ (1,00 - 0,20) * 288 + 0,20 * 292 \} * 0,76 + \{ (1,00 - 0,20) * 343 + 0,20 * 375 \} * (1,00 - 0,76) = 303 \text{ mm/jaar}$$

Tot slot wordt het jaarspecifieke neerslagoverschot berekend met vergelijking [B2.3].

$$P_{n,j}[\text{melkvee, zandregio,2003}] = 303 * \frac{1,13}{1,31} * 0,88 = 231 \text{ mm/jaar} = 2310 \text{ m}^3/\text{ha/jaar}$$

Het jaar 2003 was dus op basis van het relatieve neerslagoverschot droger dan gemiddeld. De gemiddelde stikstofuitspoeling voor de melkveebedrijven in de zandregio in 2003 is nu te berekenen met vergelijking [8]:

$$U[\text{melkvee,zandregio,2003}] = 0,0143 * 2310 = 33 \text{ kg/ha/jaar}$$

Vervolgens kunnen we deze uitspoeling corrigeren voor het feit dat gemiddelde 20% van het areaal om de melkveebedrijvne in 2003 uit moerige gronden bestaat en een aanzienlijk deel (98%) een nattere Gt heeft dan Gt VIII. Hierdoor zal er meer denitrificatie zijn, en zou de uitspoeling hoger zijn geweest als alle grond op de bedrijven zandgrond met Gt VIII was geweest.

Met vergelijking [7] wordt vervolgens de uitspoeling berekend voor een zandgrond met Gt VIII op akkerbouwbedrijven in de zandregio.

$$U[\text{melkvee,zand,zd},2003] = \frac{33}{0,41} + \{ 0,20 * 0,0081 * 2310 \} = 83 \text{ kg/ha/jaar}$$

De correctiefactor voor Gt ($C[gt]$) is berekend door de Gt-fracties uit Tabel B5.2 te vermenigvuldigen met de bijbehorende Gt-correctiefactoren uit Tabel 1.1. Hierbij is voor Gt I dezelfde Gt-correctiefactor gebruikt als voor Gt II. $C[gt]$ is de som van al deze producten:

$$C[gt] = 0,01*0,05 + \dots + 0,20*0,65 + 0,09*0,83 + 0,02*1,00 = 0,41$$

De uitspoelingsfractie voor grasland op zandgrond met Gt VIII op melkveebedrijven kan nu worden berekend met vergelijking [3b]:

$$fU[\text{gras,zand,gt,j}] = \frac{U[\text{melkvee,zand,gt,j}] - (fBouwland[j] * fU[\text{bouwland,zand,gt}] * O[\text{akkerbouw,zandregio}])}{O[\text{melkvee,zandregio,j}] - (fBouwland [j] * O[\text{akkerbouw,zandregio}])} \quad [3b]$$

De fractie bouwland is berekend als 1,00 minus de fractie grasland. De uitspoelingsfractie voor bouwland op zand met Gt VIII en het gemiddelde stikstofoverschot voor de akkerbouwbedrijven in de zandregio worden als schatting gebruikt voor het stikstofoverschot voor het bouwlanddeel op de melkveebedrijven. Aangezien niet voor alle jaren gegevens voor akkerbouwbedrijven aanwezig zijn, zijn vier perioden onderscheiden, zie Tabel 2.3. Voor 2003 betekent dit dat $fU[\text{bouwland,zand,gt}]$ is 0,99 en $O[\text{akkerbouw,zandregio}]$ is 112 kg/ha/jaar.

$$fU[\text{gras,zand,gtVIII},2003] = \frac{83 - \{ (1,00 - 0,76) * 0,99 * 112 \}}{181 - \{ (1,00 - 0,76) * 112 \}} = 0,37$$

Bijlage 6 Effecten van verschil in berekeningsmethoden op het bodemoverschot

De in deze bijlage gepresenteerde stikstofoverschotten op de bodembalans zijn exclusief de post nettomineralisatie voor moerige gronden in de zandregio, maar inclusief de post nettomineralisatie voor grasland op veen (zie Tabel 2.4, voetnoot k). De berekening van de in de tabellen weergegeven effecten van de gewijzigde rekenmethode voor het bodemoverschot, is gebaseerd op de BIN-boekjaren 1991/1992 tot en met 1999/2000. Bij het berekenen van de effecten is een beperkt aantal waarnemingen uitgesloten. Het betreft waarnemingen welke wel in 2005 maar niet in 2007 zijn meegenomen alsook de waarnemingen van bedrijven die vanwege een verschil in aggregatiemethode, in 2005 binnen een ander cluster werden ingedeeld dan in 2007. De aggregatie naar grondsoort is in 2007 gebaseerd op de grondsoortregio waarin de bedrijven zijn gelegen, terwijl de aggregatie in 2005 gebaseerd was op het dominante bodemtype op bedrijfsniveau. Bedrijven met een van de grondsoortregio afwijkende dominante grondsoort op bedrijfsniveau, zijn dus buiten beschouwing gelaten.

Voor de melkveebedrijven in de zandregio zijn met de nieuwe rekenmethode, gemiddeld genomen, ruim 10 procent lagere bodemoverschotten berekend (zie Tabel B5.1). Dit wordt veroorzaakt door hogere correctiefactoren voor de ammoniakemissies (NH₃) vanuit stal en opslag en bij uitrijden. Ook bij de akkerbouw in de zandgebieden vallen de bodemoverschotten gemiddeld genomen lager uit dan in 2005. Hiervoor spelen zowel een lagere aanvoer via atmosferische stikstofdepositie (zie Bijlage 7) en luchtbinding alsook een hogere afvoer via ammoniakemissie een rol.

Tabel B5.1 Effecten van verschil in berekeningsmethoden op het gemiddelde bodemoverschot¹ in de zandregio voor melkvee- en akkerbouwbedrijven in de periode 1991-1999.

Zand	Melkvee (N=282 waarnemingen)			Akkerbouw (N=90 waarnemingen)		
	Oud (2005)	Nieuw (2007)	Vershil (nieuw-oud)	Oud (2005)	Nieuw (2007)	Vershil (nieuw-oud)
post (kg N per ha)						
Overschot bedrijf (aanvoer-afvoer)	370	370		129	129	
+ depositie	+45	+47	+2	+45	+36	-9
+ nettomineralisatie veengrond	+0	+0	+0	+0	+0	+0
+ luchtbinding	+6	+8	+1	+8	+0	-7
- emissie stal en opslag	-30	-58	-28	-1	-3	-2
- emissie bij uitrijden	-12	-32	-19	-7	-10	-3
- emissie beweiding	-12	-10	+3	0	0	0
Bodemoverschot	366	324	-42	174	152	-22

¹ Soms komt het bodemoverschot niet overeen met het verschil tussen het overschot op bedrijfsniveau en de som per verschilpost als gevolg van afronden.

In de kleiregio is eveneens sprake van lagere overschotten, zie Tabel B.5.2. De verschillen zijn wel, zowel in absolute als relatieve zin, iets geringer dan in de zandregio. Bij de akkerbouwbedrijven betreft het hoofdzakelijk een verlaging van de depositie omdat deze bedrijven voornamelijk voorkomen in de provincies waar de depositie relatief laag is (zie Bijlage 7). Bij de melkveehouderijbedrijven staan

tegenover een lagere aanvoer via depositie en een hogere afvoer via gasvormige NH₃-verliezen, ook een hogere N-aanvoer via luchtbinding en nettomineralisatie op de aanwezige veengronden.

Tabel B5.2 Effecten van verschil in berekeningsmethoden op het gemiddelde bodemoverschot in de kleiregio voor melkvee- en akkerbouwbedrijven in de periode 1996-1999.

Klei	Melkvee (N=63 waarnemingen)			Akkerbouw (N=66 waarnemingen)		
	Oud (2005)	Nieuw (2007)	Vershil (nieuw-oud)	Oud (2005)	Nieuw (2007)	Vershil (nieuw-oud)
post (kg N per ha)						
Overschot bedrijf (aanvoer-afvoer)	318	318		150	150	
+ depositie	+45	+33	-12	+45	+30	-15
+ nettomineralisatie veengrond	+0	+8	+8	+0	+0	0
+ luchtbinding	+0	+9	+9	+0	+2	+1
- emissie stal en opslag	-20	-35	-15	-1	-2	-1
- emissie bij uitrijden	-8	-13	-5	-5	-7	-2
- emissie beweiding	-11	-8	3	0	0	0
Bodemoverschot	325	312	-13	189	173	-16

¹ Soms komt het bodemoverschot niet overeen met het verschil tussen het overschot op bedrijfsniveau en de som per verschilpost als gevolg van afronden.

Voor de melkveebedrijven in de veengebieden valt het bodemoverschot per saldo zo'n 10 procent hoger uit, zie Tabel B5.3. Dit wordt vooral veroorzaakt door een fors hogere aanvoer via netto-stikstofmineralisatie bij grasland op veen. Deze hogere aanvoer via nettomineralisatie wordt deels gecompenseerd door een hogere afvoer via ammoniakemissie uit stal en opslag.

Tabel B5.3 Effecten van verschil in berekeningsmethoden op het gemiddelde bodemoverschot in de veenregio voor melkveebedrijven in de periode 1995-1999.

Veen	Melkvee (N=26 waarnemingen)		
	Oud (2005)	Nieuw (2007)	Vershil (nieuw-oud)
post (kg N per ha)			
Overschot bedrijf (aanvoer-afvoer)	285	285	
+ depositie		+45	+36
+ nettomineralisatie veengrond		+35	+90
+ luchtbinding		+5	+10
- emissie stal en opslag		-17	-30
- emissie bij uitrijden		-8	-12
- emissie beweiding		-11	-9
Bodemoverschot	345	379	35

¹ Soms komt het bodemoverschot niet overeen met het verschil tussen het overschot op bedrijfsniveau en de som per verschilpost als gevolg van afronden.

Bijlage 7 Atmosferische stikstofdepositie

In onderstaande tabel zijn de stikstofdepositiescijfers gegeven (in kilogram per hectare per jaar) per provincie per jaar zoals deze gebruikt zijn voor de berekening van het stikstofoverschot op de bedrijven.

Bron: Milieu en Natuurcompendium 2005 (MNP/CBS/WUR), bewerking stikstofdepositiegegevens 1990-2002 door MNP.

	N-depositie, kg N /ha.jr																
	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990
Groninger	24	24	24	24	24	26	27	30	29	28	27	30	34	34	34	35	35
Friesland	23	23	23	23	23	25	26	29	28	27	26	29	33	33	33	34	34
Drenthe	27	27	27	27	27	29	30	33	33	32	30	34	38	38	39	39	40
Overijssel	34	34	34	34	34	36	38	42	41	40	37	42	47	48	48	49	49
Gelderland	36	36	36	36	36	38	40	44	43	42	39	45	50	50	51	52	52
Utrecht	35	35	35	35	35	38	39	43	42	41	39	44	49	49	50	51	51
Noord-Ho	24	24	24	24	24	25	27	29	29	28	26	30	33	33	34	35	35
Zuid-Holl	29	29	29	29	29	31	32	36	35	34	32	36	41	41	41	42	42
Zeeland	24	24	24	24	24	26	27	30	29	28	27	30	34	34	34	35	35
Noord-Bre	40	40	40	40	40	43	45	49	48	47	44	50	56	56	57	58	58
Limburg	36	36	36	36	36	38	40	44	43	42	39	45	50	50	51	52	52
Flevoland	24	24	24	24	24	26	27	30	29	28	27	30	34	34	34	35	35
Nederland	31	31	31	31	31	33	34	38	37	36	34	39	43	43	44	45	45