

32/uu6(578)2^e ex

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Kosten en baten van regionaal aanvullend stikstofbeleid

Methodiek ter indicatie van kosten van vermindering van nitraatuitspoeling in de droge zandgronden in Nederland

D.M. Jansen
S.T. Buijze (CLM)
H.L. Boogaard
D. Boland (CLM)
N. Middelkoop (CLM)

Rapport 578

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997



26 JAN. 1998

Wn g u d 9 2 5 /

REFERAAT

Jansen, D.M., S.T. Buijze, H.L. Boogaard, D. Boland & N. Middelkoop, 1997 *Kosten en baten van regionaal aanvullend stikstofbeleid; methodiek ter indicatie van kosten van vermindering van nitraatuitspoeling in de droge zandgronden in Nederland*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 578. 118 blz.; 5 fig.; 33 tab.; 30 ref.

Een methodologie is ontwikkeld voor *ex-ante* analyses van kosten van aanvullend stikstofbeleid. Aan de hand van een toepassing op een bestaand waterwingebied in Oost-Gelderland worden de vier onderdelen beschreven: gebiedskarakterisering, alternatieven voor landgebruik, optimalisatie-model en scenario's. De kosten van verandering in agrarisch landgebruik om tegemoet te komen aan eisen ten aanzien van de regionale nitraatconcentratie in het bovenste grondwater blijken sterk gerelateerd aan de mate waarin de hoge nitraatuitspoeling uit de landbouw gecompenseerd mag worden door niet-landbouwkundige gronden. De aannames in de methodiek worden bediscussieerd en aangegeven is welke aanpassingen mogelijk zijn om nauwkeuriger en meer gebieds-specifieke resultaten te verkrijgen.

Trefwoorden: bedrijfstypen, grondwater, lineaire programmering, melkvee, mest, optimalisering

ISSN 0927-4499

© 1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl
Centrum voor Milieu en Landbouw (CLM)
Postbus 10015, 3505 AA Utrecht
Tel.: (030) 2441301; fax: (030) 2441318; e-mail: clm@clm.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum en CLM.

DLO-Staring Centrum en CLM aanvaarden geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Begrippenlijst	9
Samenvatting	11
Executive Summary	18
1 Inleiding	25
1.1 Achtergrond	25
1.2 Opdrachtgevers en doelstelling	28
1.3 Methodiek en taakverdeling	29
1.4 Opmerkingen vooraf	29
2 Schematisatie onderzoeksgebied	31
2.1 Inleiding	31
2.2 Grondwatertrappen	31
2.3 Bodemeenheden	33
2.4 Landgebruik	33
2.4.1 Agrarisch landgebruik	34
2.4.2 Niet-agrarisch landgebruik	35
2.4.3 Onderscheid naar natte en droge bedrijfstypen	36
2.5 Overlay	36
3 Varianten van management	37
3.1 Inleiding	37
3.2 Gangbare melkveehouderij	38
3.2.1 N-overschot en potentiële N-uitspoeling	38
3.2.2 Kosten van maatregelen	41
3.3 Biologische melkveehouderij	44
3.3.1 N-overschot en potentiële N-uitspoeling	44
3.3.2 Kosten van maatregelen	44
3.4 Aangepast landgebruik	46
3.4.1 Nitraatconcentratie	46
3.4.2 Kosten van aangepast landgebruik	47
3.5 Neerslagoverschot	48
4 Het Lineaire Programmeringsmodel	51
4.1 Introductie	51
4.2 Opzet van het gebruikte LP-model	53
4.2.1 Inleiding	53
4.2.1.1 Landgebruik	53
4.2.1.2 Invloeden van buiten het directe landgebruik	56
4.2.1.3 Bodem en grondwater	57
4.2.1.4 Locatie binnen het gebied	57

4.2.2 Doelfunctie	58
4.2.3 Randvoorwaarden	58
4.2.3.1 Regionaal niveau	58
4.2.3.2 Subregionaal niveau	60
4.2.3.3 Bedrijfstype niveau	61
4.2.4 Bijdrage van alternatieve activiteiten aan doelfunctie en randvoorwaarden	63
5 Scenario's en resultaten daarvan	67
5.1 Inleiding	67
5.2 Scenario's	70
5.3 Resultaten van scenario's	73
5.3.1 Algemeen	73
5.3.2 Scenario's huidig en basis	76
5.3.3 Scenario's 50+vrij	78
5.3.4 Scenario's 37,5+vrij	79
5.3.5 Scenario's 25+50	80
5.3.6 Scenario's vrij+50	80
5.3.7 Scenario's 50+vrij(H)	81
5.3.8 Scenario's 25+vrij(H)	82
5.4 Vergelijking van gemeten en berekende nitraatconcentraties	82
6 Discussie	85
6.1 Gebruik methodiek	85
6.1.1 Vertaling van gebruikswensen naar functionaliteiten	85
6.1.2 Kostenschatting	88
6.1.3 Belangenafweging	89
6.1.4 Extrapolatie naar andere gebieden	90
6.2 Gebiedskenmerken	90
6.3. Varianten	91
6.3.1 Algemeen	91
6.3.2 Gebiedstaak en Grondwaternorm	92
6.3.3 Biologische melkveehouderij	93
6.3.4 Natuur en aangepast grondgebruik	93
6.4 LP-model	93
7 Conclusies en aanbevelingen	96
7.1 Conclusies	96
7.2 Aanbevelingen	97
Literatuur	99
<i>Aanhangsels</i>	
1 Vertaalsleutel van GLG-verlaging naar GHG-verlaging	102
2 Beschrijving bodemfysische eenheden	103
3 GIS-bestanden	105
4 EXCEL versie van het LP-model: NITRAAT.XLS	107
5 Aanroepen optimalisatie procedure OPLOSSER [SOLVER]	115

Woord vooraf

De wettelijke maatregelen van het huidige mestbeleid (LNV & VROM, 1995; Wet, 1997) leiden op droge zandgrond niet tot het bereiken van de grondwaterkwaliteitsnorm betreffende nitraat. Aanvullend beleid is nodig om die norm wel te halen. De provincie Gelderland, met de Vereniging van exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN), de Waterleidingmaatschappij Oostelijk Gelderland (WOG) en het Inter-Provinciaal Overleg (IPO), wil een inschatting maken van benodigde maatregelen en ermee gepaard gaande kosten. In april 1997 is DLO-Staring Centrum (SC-DLO) en Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM) opgedragen een rekenprocedure te ontwikkelen om dit mogelijk te maken, en deze procedure toe te passen op een bestaand gebied in de droge zandgronden.

Methodiek en resultaten zijn eind juni 1997 voorgelegd aan de opdrachtgevers. In oktober 1997 is dit rapport afgerond, waarin de volgende stappen worden beschreven:

- de gebiedsbeschrijving, door SC-DLO
- de beschrijving van alternatieven voor landgebruik, door CLM
- het formuleren van een optimalisatiemodel, door SC-DLO
- het formuleren en doorrekenen van scenario's, door SC-DLO
- het analyseren van resultaten en gevolgde procedure, door SC-DLO en CLM

Gezien aannames in de methodiek, zijn resultaten indicatief voor de werkelijkheid. Ze zijn op dit moment echter de beste inschatting van de werkelijke kosten. Resultaten blijken sterk af te hangen van de randvoorwaarden waarbinnen een oplossing gevonden moet worden. De methodiek en de uitkomsten kunnen bijdragen aan het beargumenteren van de politieke keuze betreffende de invulling van die randvoorwaarden. Hiertoe is o.a. een presentatie verzorgd aan de consultatiegroep van het project 'aanvullend stikstofbeleid droge zandgronden' van VROM en LNV (olv Titia van Leeuwen), waarin o.a. Hank Denters (Prov. Gelderland), Leo Joosten (VEWIN), Theo Reuling (WOG), Wilma Stortelder (Provincie Brabant en Adviesgroep mest en ammoniak van IPO), Ko Molenaar (VROM), Henk Westhoek (IKC-Landbouw), Jan de Wit (Waterpakt), Theo Vogelzang (Gelderse Milieufederatie), Dolf Logeman (Stichting Natuur en Milieu). Samen met Marianne van Veen en Paul van der Voet (beiden Prov. Gelderland), hebben zij als klankbord gefungeerd voor het projectteam. Op interactieve wijze is overeenstemming bereikt over de te volgen stappen. De rekenprocedure kan daardoor dienen als beleidsondersteunend instrument voor de provincie Gelderland en is ook bruikbaar voor beleidsafwegingen van provincies, waterleidingbedrijven en rijksoverheid, met betrekking tot aanvullend stikstofbeleid voor de droge zandgronden.

We willen Hank Denters bedanken voor het bijeenbrengen van 'gebruikers' en 'ontwikkelaars', hetgeen door ons als zeer verhelderend en stimulerend is ervaren. We bedanken Paul van der Voet voor het aanleveren van landgebruiksgegevens van Gelderland en de Nederlandse termen van de EXCEL OPLOSSER procedure, en Folkert de Vries (SC-DLO) voor zijn bijdrage aan de schematisatie van de bodemkaart.

Het projectteam
Don Jansen
Sarie Buijze
Hendrik Boogaard

Begrippenlijst

In dit rapport wordt een aantal begrippen veelvuldig gebruikt. Hieronder volgt een lijst met een omschrijving van deze begrippen. Termen die elders in de lijst beschreven worden zijn *cursief* aangegeven.

<i>Begrip</i>	<i>Omschrijving</i>
Aanvullend beleid	Zie <i>Beleid, aanvullend</i> .
Bedrijf	Alle grond behorende tot één organisatorische eenheid: landbouwbedrijf, natuurbeheer-landgoed, e.d.
Bedrijfstype	Alle grond behorende tot <i>bedrijven</i> die op grond van hun kenmerken bij eenzelfde groep zijn ingedeeld: landbouwbedrijven op grond van productie-doel (melk, akkerbouw, e.d.), intensiteit (hoge, lage, gemiddelde productie per ha) en eventueel beschikbaarheid van bepaalde productiemiddelen (bijv. areaal met $Gt \geq VII$); andere bedrijven op basis van het type vegetatie c.q. bodembedekking (naald-, loofbos, open natuur, bebouwing/infrastructuur, water).
Beleid, aanvullend	Het te voeren beleid in aanvulling op het huidige beleid zoals verwoord in de Integrale Notitie mest- en ammoniakbeleid (LNV & VROM, 1995) en de Wet van 2 mei, houdende wijziging van de meststoffenwet (Wet, 1997). Met name gericht op de stikstofproblematiek in de droge zand- en lössgronden waarvoor gesignaleerd is dat met het huidige beleid de EU-Nitraatrichtlijn voor <i>grondwater</i> niet gehaald wordt.
Bodemeenheid	Specifieke classificatie van bodems, in dit rapport met name gericht op de bodemfysische eigenschappen.
Functieverandering	Omzetten van het management/beheer van grond met een bepaalde functie (landbouw, natuur, e.d.) in een management/beheer met een andere functie.
Gebied	Zie <i>regio</i>
Gebiedsindeling	De wijze waarop een <i>gebied</i> wordt afgebakend; deze is van invloed op de <i>taakstelling</i> op bedrijfsniveau: zo kan al dan niet worden toegestaan dat een lagere <i>nitraatuitspoeling</i> vanuit niet-agrarische bronnen (b.v. natuur) ter compensatie wordt gebruikt van de hogere <i>uitspoeling</i> uit landbouwkundige bronnen.
Grondwater	Indien niet nader gespecificeerd: het bovenste, freatische grondwater
Grondwatertrap (Gt)	Specifieke classificatie van de gemiddelde stand van de bovenste grens van het <i>grondwater</i> en de jaarlijkse fluctuaties rondom dit gemiddelde.
Gt	Zie <i>grondwatertrap</i> .
Kosten, eenmalige	In <i>varianten</i> en <i>LP-model</i> : eenmalig optredende kosten die verband houden met de omzetting van een bepaald vorm van management/beheer van een bedrijf(stype) naar een andere vorm; hieronder vallen investeringen, versnelde afschrijvingen, e.d. In dit onderzoek wordt de uitgangssituatie voor de berekening van de kosten gevormd door een inschatting van de situatie indien alle <i>bedrijfstypen</i> voldoen aan de wettelijke normen voor het <i>stikstofoverschot</i> voor het jaar 2008.
Kosten, variabele	In <i>varianten</i> en <i>LP-model</i> : jaarlijks terugkerende kosten die verband houden met de omzetting van een bepaald vorm van management/beheer van een bedrijf(stype) naar een andere vorm; hieronder vallen verminderde opbrengsten, extra arbeid, e.d. In dit onderzoek wordt de uitgangssituatie voor de berekening van de kosten gevormd door een inschatting van de situatie indien alle <i>bedrijfstypen</i> voldoen aan de wettelijke normen voor het <i>stikstofoverschot</i> voor het jaar 2008.
Kosten, totale jaarlijkse	In <i>LP-model</i> : voor het aangegeven <i>niveau</i> van aggregatie de totale kosten die jaarlijks gemoeid zijn met het omzetten van het management/beheer naar een andere vorm; in de gepresenteerde resultaten zijn per <i>bedrijfstype</i> de totale jaarlijkse kosten gedefinieerd als de <i>variabele kosten</i> plus 10% van de <i>eenmalige kosten</i> .
Landgebruik(svorm)	Bepaalde combinatie van verschijning (gewas, vegetatie) en beheer (input- en outputniveau); in dit onderzoek gebruikt als synoniem voor de aandui-

	ding <i>bedrijfstype</i> omdat aangenomen is dat per <i>bedrijfstype</i> gewassen c.q. vegetaties over alle plots geroteerd worden. Daardoor is, met name voor landbouwkundig gebruikte plots, alleen aan te geven met welke kans bepaalde gewassen/vegetaties vóórkomen.
Lineair programmeringsmodel	Model voor optimalisaties op basis van de techniek van lineaire programmering, waarin o.a. een lineaire relatie aangenomen wordt tussen de hoeveelheid van een bepaalde activiteit (hier: het aantal ha van een bepaalde <i>variant</i> voor een bepaald <i>bedrijfstype</i>) en de bijdrage daarvan aan de doelfunctie (hier: de <i>totale jaarlijkse kosten</i> voor de <i>regio</i>) en de randvoorwaarden (hier: o.a. de <i>nitraatconcentratie</i> op regionaal <i>niveau</i>).
LP-model	Zie <i>Lineair Programmerings Model</i> .
Neerslagoverschot	Het totale jaarlijkse verschil tussen de hoeveelheid water die via neerslag op het land komt en de verdamping ervan door bodem en gewas, beide uitgedrukt in eenheden per ha ($\text{mm}\cdot\text{jr}^{-1}$ of $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$).
Nitraatconcentratie	De hoeveelheid nitraat in het bovenste <i>grondwater</i> , uitgedrukt in $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3
Nitraatnorm	Gewenste of maximaal toegestane <i>nitraatconcentratie</i> ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3) in het <i>grondwater</i> ; eventueel gespecificeerd per aggregatie- <i>niveau</i> .
Nitraatuitspoeling, potentiëel	De hoeveelheid nitraat die in de bovengrond als gevolg van het <i>stikstofoverschot</i> beschikbaar komt om met het <i>neerslagoverschot</i> uit de bovengrond weg te stromen naar het <i>grondwater</i> . Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele denitrificatie in de bovengrond.
Nitraatuitspoeling, reëel	De hoeveelheid nitraat die wegstroomt naar het <i>grondwater</i> . Wordt berekend via het corrigeren van de <i>potentiële nitraatuitspoeling</i> voor denitrificatie in de bovengrond.
Niveau	Niveau van aggregatie (voor totalen of gemiddelden) binnen het landbouwkundig systeem (<i>plot, bedrijf, bedrijfstype, subregio, regio</i>).
N-depositie	Zie <i>stikstofdepositie</i> .
N-overschot	Zie <i>stikstofoverschot</i> .
N-verliesnorm	Zie <i>stikstofverliesnorm</i> .
Plot	Unieke combinatie van <i>bodemeenheid, grondwatertrap</i> en <i>bedrijfstype</i> .
Regio	Alle grond binnen een gespecificeerde grens. Deze onderverdeling kan administratief (zoals een bepaalde gemeente) of functioneel zijn (bijv. een grondwaterbeschermingsgebied).
Schematisatie	Zie <i>schematiseren</i> .
Schematiseren	Het verdelen van een gebied in homogeen beschouwde eenheden met een unieke combinatie van kenmerken.
Stikstofdepositie	De stikstof die vanuit de lucht en via de neerslag op de bodem en gewas c.q. vegetatie neerslaat.
Stikstofoverschot	Voor het aangegeven <i>niveau</i> (<i>plot, bedrijf, regio</i>) het jaarlijkse verschil tussen de aanvoer van stikstof via bemesting, al dan niet plus <i>N-depositie</i> en de afvoer ervan via oogstproducten en bovengrondse vervluchtiging (o.a. NH_3).
Stikstofverliesnorm	Het maximaal toegestane <i>stikstofoverschot</i> op <i>bedrijfsniveau</i> .
Subgebied	Zie <i>subregio</i> .
Subregio	Alle grond binnen een bepaalde onderverdeling van de <i>regio</i> . Deze onderverdeling kan administratief (zoals alle bedrijven in een bepaalde wijk van een gemeente) of functioneel zijn (bijv. de 10 jaars-zone van een grondwaterbeschermingsgebied).
Taakstelling	Aan <i>bedrijven</i> of <i>bedrijfstypen</i> opgelegde taak tot het bereiken van op <i>bedrijfsniveau</i> te controleren doelstellingen; bijv. een maximaal toegestaan <i>stikstofoverschot</i> (zoals berekend via MINAS).
Variant	Specifieke vorm van management/beheer voor een specifiek <i>bedrijfstype</i> . Per variant worden <i>stikstofoverschotten</i> per gewas/vegetatie en <i>variabele en eenmalige kosten</i> gegeven.
Verschralen	Met name voor landbouwgronden het omzetten van management/beheer met een positief <i>stikstofoverschot</i> naar management/beheer met een negatief of neutraal <i>stikstofoverschot</i> .

Samenvatting

Hoofdstuk 1: Inleiding

Achtergrond

Het voorgenomen beleid op basis van de Integrale Notitie mest- en ammoniakbeleid zal naar verwachting tekort schieten ten aanzien van de nitraatuitspoeling in de stikstof-gevoelige zand- en lössgronden. De regering heeft toegezegd om in deze gebieden aanvullend beleid te voeren teneinde ook daar op zo kort mogelijke termijn te voldoen aan de EU-Nitraatrichtlijn. Provincies en waterleidingbedrijven willen het voortouw nemen bij de uitwerking van aanvullend beleid in de eigen regio en streven er naar om in overleg met regionale partijen tot maatwerk te komen.

Bij het formuleren van gebiedsgericht beleid zijn een aantal keuzes te maken. Ten aanzien van de nitraatproblematiek betreft dit o.a. de normstelling (welk nitraatgehalte is wenselijk en op wat voor niveau: perceel, bedrijf, gebied), en de gebieds-indeling (hoe wordt een gebied afgebakend, mag een lagere nitraatuitspoeling vanuit bijvoorbeeld natuur gebruikt worden ter compensatie van hogere uitspoeling uit landbouw). De kosten van gebiedsgericht beleid zijn gedeeltelijk afhankelijk van de invulling van deze keuzes. Alvorens keuzes te maken is het nodig om een inzicht te krijgen in deze relatie.

Opdracht

Om een *ex-ante* analyse te kunnen maken van kosten en baten van aanvullend beleid voor de nitraatproblematiek op droge zandgronden, heeft de provincie Gelderland samen met de Vereniging van exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN), de Waterleidingmaatschappij Oostelijk Gelderland (WOG) en het Interprovinciaal Overleg (IPO) opdracht gegeven aan DLO-Staring Centrum en het Centrum voor Landbouw en Milieu om

- a. een methodiek te ontwerpen waarmee een dergelijke kosten-baten analyse gedaan kan worden
- b. een analyse te doen voor een specifiek gebied van de kosten en baten van een aantal scenario's voor veranderingen in landgebruik.

In overleg met de opdrachtgevers en andere belanghebbende zijn de wensen van mogelijke gebruikers van de methodiek vertaald in de volgende voorwaarden aan de functionaliteit ervan:

1. het moet mogelijk zijn om een indicatie te geven van de **minimale kosten** van aanpassingen van landgebruik die nodig zijn voor het terugdringen van de nitraatconcentratie tot een bepaalde norm;
2. de waarde van die **norm** moet vrij te kiezen zijn en het moet mogelijk zijn om verschillende normen te kiezen voor verschillende deelgebieden in een regio;
3. het doorrekenen van **verschillende beginsituaties** moet in principe mogelijk zijn;
4. de effecten van **regiospecifieke factoren** op de nitraatuitspoeling moeten aan te passen zijn;
5. de bijdrage van **niet-agrarisch landgebruik** aan de regionale nitraatuitspoeling moet gevarieerd kunnen worden;

6. de **rekenprocedure** moet toegankelijk zijn voor en gebruikt kunnen worden door de opdrachtgevers.

Ontwerp van methodiek

De ontwikkelde methodiek omvat vier stappen die bij gebruik of aanpassing van de methodiek in meer of mindere mate (opnieuw) doorlopen moeten worden:

1. beschrijving van de regio: bodemeenheden, grondwatertrappen (Gt's), bedrijfstypen;
2. beschrijven van alternatieven voor landgebruik (varianten): kosten en nitraatuitspoeling;
3. formulering van LP-model;
4. formuleren en doorrekenen scenario's.

Opmerkingen vooraf

De methodiek omvat een rekenprocedure met een versimpelde versie van de werkelijkheid, waarbij in een aantal gevallen aannames zijn gedaan. Deze zijn gebaseerd op inschattingen van de werkelijkheid die momenteel door experts als het best mogelijke worden beschouwd. De uitkomsten van de berekeningen zijn daarmee indicatief, maar geven wel de voor dit moment best onderbouwde schattingen van kosten en nitraatconcentratie. De uitkomsten geven aan wat de consequenties zijn van een bepaalde norm en gebiedsindeling. Het is een politieke keuze welke combinatie van norm en gebiedsindeling het meest gewenst of acceptabel is.

Bij het uitwerken van de varianten is sterke nadruk gelegd op de melkveesector. De berekende uitkomsten zijn daarmee met name indicatief voor gebieden met relatief veel melkvee. De methodiek is echter ook toepasbaar te maken voor typische akkerbouw- en tuinbouwgebieden.

Hoofdstuk 2: Schematisatie onderzoeksgebied

De mate van nitraatuitspoeling naar het grondwater wordt bepaald door fysische factoren (waterhuishouding, bodem) en management op het landbouwbedrijf (bemesting, gewas, etc.). Omdat de ruimtelijke verdeling van deze kenmerken verschillend is en de gegevens in verschillende (digitale) bestanden voorkomen, is het nodig om voor elk gebied een schematisatieslag te maken om de ruimtelijke verdeling van unieke combinaties van kenmerken vast te leggen. In de gevolgde methodiek leidt deze schematisatie tot een verdeling van de regio in homogene eenheden (plots) die gekenmerkt worden door een unieke combinatie van bodemeenheid, Gt en huidig landgebruik. De beschrijving van het agrarisch landgebruik is op basis van landbouwbedrijfstypen, gerangschikt naar productiegroep (melkveebedrijven en niet-melkveebedrijven) en intensiteit van productie (extensief, intensief en gemiddeld). Het overige landgebruik omvat natuur (naaldbos, loofbos en overige natuur), bebouwing (incl. wegen) en water. De gevolgde procedures zijn beschreven aan de hand van een voorbeeld, een grondwaterbeschermingsgebied van 1100 ha ('de Abdij'), een gebied op droge zandgrond met relatief veel melkveehouderij.

Hoofdstuk 3: Varianten

Het beheer van veel van de huidige landgebruiksvormen kan veranderd worden om een lagere nitraatuitspoeling te bewerkstelligen. Dit geldt met name voor de landbouwbedrijven, maar ook voor bepaalde vormen van natuur. Aan die veranderingen zijn kosten verbonden, welke ten dele afhankelijk zijn van de uitgangssituatie. Gezien het feit dat de studie zich richt op aanvullend beleid, is het uitgangspunt niet de huidige situatie, maar die wanneer alle landbouwbedrijven voldoen aan de wettelijke normen ten aanzien van stikstofverliezen voor het jaar 2008.

Mogelijkheden ter vermindering van nitraatuitspoeling zijn beschreven als varianten van bedrijfsvoering. Dit is met name gedaan voor melkveebedrijven (drie bedrijfstypen) en in mindere mate voor andere vormen van landbouw en voor natuur. Per variant is een inschatting gemaakt van het stikstofoverschot, de potentiële stikstofuitspoeling en de bijbehorende kosten. Deze kosten betreffen alleen de additionele kosten ten opzichte van het landelijke beleid (landelijke verliesnormen in 2008) en zijn onderverdeeld in eenmalige kosten (investeringen, omschakelingskosten e.d.) en variabele kosten (jaarlijkse kosten i.v.m. opbrengstreducties, extra of duurdere maatregelen, arbeid e.d.).

Voor de melkveebedrijven zijn de volgende varianten doorgerekend:

- *'huidig'*: huidige situatie bij efficiënte bedrijfsvoering, gericht op zelfvoorziening ruwvoer;
- *'wettelijke verliesnorm 2008'*: management leidend tot het halen van de N-verliesnorm in het jaar 2008 volgens het huidige landelijk beleid;
- *'gebiedstaak'*: management leidend tot een gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie van $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NO}_3$ in het ondiepe grondwater, uitgaande van Gt VII en middeling van nitraatuitspoeling uit landbouwgronden en natuur in het gebied;
- *'grondwaternorm'*: management leidend tot een concentratie van $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NO}_3$ in het ondiepe grondwater per individueel melkveebedrijf, uitgaande van Gt VII;
- *'biologisch melkveebedrijf'*: omschakeling naar biologische bedrijfsvoering;
- *'functieverandering naar bos'*: kosten en effecten op nitraatuitspoeling van omzetting van landbouwgrond naar loofbos;
- *'functieverandering naar heide/schraalgrasland'*: kosten en effecten op nitraatuitspoeling van omzetting van landbouwgrond naar heide of schraalgrasland.

Voor de niet-melkveebedrijven zijn ook varianten met functieverandering naar bos en heide beschreven en een variant met omzetting van landgebruik in *'extensieve graanteelt'*. Voor naald- en loofbos is een variant *'omzetting naar heide/schraalgrasland'* beschreven. Voor naaldbos is nog een variant *'omzetting naar loofbos'* opgenomen.

Per landgebruiksvorm (gewas, vegetatie) is tenslotte een schatting gemaakt van het neerslagoverschot, i.e. het verschil tussen neerslag en verdamping, waarmee de verdunning van het uitspoelende nitraat geschat kan worden.

Hoofdstuk 4: LP-model

Met behulp van het ontwikkelde Lineaire Programmeringsmodel (LP-model) is het mogelijk om te berekenen wat de optimale combinatie van varianten is in het gebied. Bij een optimale combinatie zijn de te maken kosten minimaal, terwijl voldaan wordt aan (vrij te kiezen) randvoorwaarden t.a.v. de gemiddelde nitraatconcentratie in het gebied, in subgebieden en/of onder bedrijfstypen.

Van het gebied is per bedrijfstype bekend welk deel van het areaal een bepaalde combinatie van bodemeenheid en Gt heeft. Voor elk agrarisch bedrijfstype (en voor bepaalde andere vormen van landgebruik) is aangegeven welke mogelijkheden (varianten) er zijn om het management aan te passen, met de daarbijbehorende kosten en potentiële stikstofuitspoeling. Voor elk niveau van potentiële stikstofuitspoeling is op grond van de factoren van de 'Commissie Stikstof' per Gt te schatten hoeveel stikstof door denitrificatie uit de bodem verdwijnt en hoeveel nitraat in het grondwater zal komen (de 'reële nitraatuitspoeling'). Tezamen met het neerslagoverschot kan per gewas-Gt-bedrijfstype-variant-combinatie de verwachte nitraatconcentratie geschat worden. Het areaal per Gt-bedrijfstype-combinatie is bekend en per bedrijfstype is de percentuele verdeling van het areaal over de gewassen gegeven. Aannemende dat de gewassen homogeen verdeeld zijn over het areaal, kan per bedrijfstype een gemiddeld verwachte nitraatconcentratie berekend worden. Ook kunnen de uitkomsten opgeschaald worden, zodat afhankelijk van de variantkeuze per bedrijfstype verwachtingen voor nitraatconcentraties te berekenen zijn per bedrijfstype, subregio en regio.

Op basis van de totale arealen per variant-bedrijfstype-combinatie kunnen de totale jaarlijkse kosten per bedrijfstype berekend worden en over de bedrijfstypen gesommeerd worden tot de totale regionale kosten. De jaarlijkse kosten worden per variant-bedrijfstype-combinatie uitgerekend als de variabele kosten plus een percentage van de eenmalige kosten. Dit percentage is vrij te kiezen en in de gepresenteerde berekeningen is het gezet op 10%.

In het LP-model is het mogelijk om het aandeel van de verschillende vormen van niet-agrarisch landgebruik (natuur, bebouwing, water) te variëren. Daarmee is het mogelijk om bijvoorbeeld compensatie van hoge nitraatuitspoeling uit de landbouwgronden door lage uitspoeling uit de natuur wel of niet toe te laten, en om een indicatie te geven van de kosten voor gebieden met een andere verhouding van landbouw/overig landgebruik.

Hoofdstuk 5: Scenario's en resultaten

Met het LP-model zijn 8 hoofdsenario's doorgerekend en per hoofdsenario 4 subscenario's. De hoofdsenario's variëren in de normen die gesteld worden aan de nitraatconcentraties op gebieds- en bedrijfstypeniveau, en de subscenario's verschillen in de verhouding landbouw/overig landgebruik.

De belangrijkste hoofdsenario's betreffen

- Een 'landbouw'-scenario, waarin de gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie maximaal gelijk mag worden aan 50 mg-l^{-1} , de maximale waarde die toegestaan wordt bij de minimum eis in de EU-richtlijn. Er wordt een gebiedsspecifieke oplossing

gezocht, waarbij de landbouwbedrijven in het LP-model zo veel mogelijk worden vrijgelaten in hun variantenkeuze.

- Een ‘waterwin’-scenario, dat sterk lijkt op het ‘landbouw’-scenario, maar waarin een veiligheidsmarge is ingebouwd in de vorm van een strakkere norm voor de gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie, die maximaal 37,5 mg·l⁻¹ mag bedragen.
- Een ‘generiek’-scenario, waarin alle bedrijfstypen een gemiddelde nitraatconcentratie van 50 mg·l⁻¹ moeten bereiken. Op regionaal niveau wordt dan een lagere concentratie bereikt vanwege de lagere uitspoeling vanuit gronden met een niet-landbouwkundig landgebruik.

De berekende kosten voor het proefgebied ‘Abdij’ variëren van ongeveer f 7 tot f 670 per ha per jaar. De kosten voor alle droge zandgronden in de Provincie Gelderland worden op basis van extrapolatie geschat op f 1,8 tot f 101,3 miljoen per jaar. Deze kosten blijken sterk afhankelijk van politieke keuzes ten aanzien van normstelling en gebiedsindeling. Pas als de politiek verantwoordelijke organen dergelijke keuzes hebben gedaan is een eenduidige schatting van de kosten te geven.

Een vergelijking tussen de scenario's laat zien dat met vrijwel gelijke kosten, een normstelling op gebiedsniveau met vrijlating van de bedrijfstypen (‘waterwin’-scenario) tot een lagere gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie kan leiden dan een generieke normstelling (‘generiek’-scenario).

In veel gevallen blijkt voor de huidige extensieve melkveebedrijven omzetting naar biologische bedrijfsvoering het meest kosten-effectief te zijn. Voor andere bedrijfstypen is de meest kosten-effectieve verandering in management meer afhankelijk van het scenario. Varianten waarin grond aangekocht wordt zijn blijkbaar niet efficiënt in hun kosten-batenverhouding: ze worden in geen van de scenario's gekozen.

Hoofdstuk 6: Discussie

Om te komen tot een werkbare methodiek is er een aantal aannames gedaan ten aanzien van de mate waarin de werkelijkheid versimpeld kan worden. Deze aannames worden beschreven waarbij wordt ingegaan op de achtergrond, de verwachte effecten, en, in een aantal gevallen, hoe de methodiek veranderd moet worden indien een andere aanname meer ter zake lijkt. Besproken worden aspecten van de methodiek, de benodigde gebiedskenmerken, de varianten en het LP-model.

Hoofdstuk 7: Conclusies en aanbevelingen

Terwijl de conclusies ingaan op de methodiek zoals in dit rapport beschreven, geven de aanbevelingen aan hoe kan worden gekomen tot een nuttige verdieping van de verkregen inzichten, die van belang kan zijn bij een eventuele uitvoering van aanvullend stikstofbeleid.

Conclusies ten aanzien van methodiek in huidige status

- Het ontwikkelde LP-model voldoet aan het hoofddoel van dit onderzoek: het kan worden gebruikt om voor een gebied, binnen beleidsmatige randvoorwaarden, de meest kosten-effectieve combinatie van maatregelen te bepalen.

- In berekeningen met het LP-model kan rekening worden gehouden met regio-specifieke factoren.
- Tevens kan rekening worden gehouden met de volgende beleidsmatige keuzes en randvoorwaarden:
 1. Het al dan niet variëren van normen voor de nitraatconcentratie per (deel van het) gebied;
 2. Het al dan niet variëren van normen voor de nitraatconcentratie per bedrijfstype;
 3. Het afzetten van de kosten van veranderingen ten opzichte van een bepaalde referentiesituatie;
 4. Het specificeren van het gebied: grootte en aandeel van niet-landbouwkundig gebruikte gronden.
- Het ontwikkelde LP-model is toegankelijk en bruikbaar voor de opdrachtgevers.
- Als beslissingsondersteunend instrument biedt het model de mogelijkheid om meer integrale afwegingen te maken en te komen tot maatwerk voor een specifiek gebied.
- De door het model gekozen meest kosten-effectieve combinatie van maatregelen verschilt per scenario en per bedrijfstype.
- Het LP-model berekent vaak grote effecten van nitraatuitspoeling onder natuur op de regionale nitraatconcentratie en daarmee op de kosten die landbouwbedrijven moeten maken om de regionale nitraatconcentratie tot een vastgestelde norm te laten dalen.
- Wanneer de vereiste informatie is gegeven kan het LP-model ook voor andere situaties worden gebruikt, bijvoorbeeld voor gebieden met andere landbouwsectoren, andere intensiteit van landgebruik of met minder kwetsbare, nattere gronden.
- De methodiek is bruikbaar om van een aantal mogelijke beleidsdoelstellingen op het gebied van de nitraatconcentratie in het grondwater de effecten op kosten en nitraatconcentraties te kwantificeren. De kwaliteit en hardheid van de uitkomsten zijn echter gerelateerd aan de kwaliteit en hardheid van de gebruikte gegevens. De in dit rapport gepresenteerde uitkomsten zijn op grond van de aannames en het beperkte aantal varianten daarom indicatief voor de te maken kosten en resulterende nitraatconcentraties, maar geven nog geen harde feiten weer.

Aanbevelingen voor verder verdieping van de methodiek

1. De gebruikte varianten bevatten inschattingen van kosten en effecten van maatregelen, welke deels nog onvoldoende met onderzoek onderbouwd zijn. In veel gevallen geven de gepresenteerde kosten een onderschatting van de werkelijk te maken kosten. Anderzijds zijn er nog andere maatregelen denkbaar die in deze studie niet meegenomen zijn. *Nader onderzoek is nodig naar de kosten-effecten relaties, met name naar de reële mogelijkheden voor landbouwbedrijven voor verdere verlaging van het N-overschot en de sociaal-economische consequenties daarvan.*
2. De in de varianten beschreven nitraatuitspoeling onder natuur is gebaseerd op landelijke gegevens wegens gebrek aan gebiedsspecifieke informatie. *De huidige nitraatconcentratie onder verschillende typen natuur dient nader onderzocht te worden voor een realistischer inschatting van de gebiedstaak voor de landbouw.*
3. De scenario's zijn doorgerekend met een beperkt aantal varianten. De uitkomsten bieden daardoor een eveneens beperkt beeld van de mogelijke en meest aantrekkelijke combinaties van maatregelen. *De scenario's zouden doorgerekend*

moeten worden met meer, goed onderbouwde en op de gebiedssituatie afgestemde varianten. Met name op het gebied van alternatieve teelten en omschakeling naar biologische melkveehouderij dienen meer varianten beschreven te worden. In een interactief proces met betrokkenen dienen voor elk specifiek gebied adequate, op het gebied en de bedrijven toegesneden varianten uitgewerkt te worden.

4. In de huidige opzet is gewerkt met 'bedrijfstypen', waarbij geen rekening is gehouden met de specifieke situatie (zoals omvang) van individuele bedrijven binnen dat bedrijfstype. *Om het mogelijk te maken nauwkeuriger en meer gebiedspecifieke resultaten te berekenen, dient het LP-model aangepast te worden zodat het mogelijk is om op het niveau van individuele bedrijven maatregelen te kiezen.*
5. De beschreven methodiek gaat niet in op draagvlak onder de betrokkenen in een gebied, noch op de interactie van de nitraatproblematiek met andere problemen. Wel kan de methodiek eventueel aangepast worden om andere problemen mee te nemen (zoals fosfaat, pesticidenuitspoeling, vervuiling oppervlaktewater). *In een open en zorgvuldig proces dient samen met alle betrokkenen in een gebied gezocht te worden naar passende en integrale oplossingen en dient de methodiek uitgebreid te worden om ook andere relevante problemen mee te kunnen nemen*

Executive Summary

Chapter 1: Introduction

Background

The Dutch policy described in the 'Integrale Notitie mest- en ammoniakbeleid' (Integral Note on policies regarding manure and ammonia) appears to be ineffective regarding nitrate leaching in sandy and loess soils. The government has agreed to pursue supplementary policies for those soils to meet the EU directives on nitrate. The provincial administrations consider that in this they should play an important role. Granted that the national government provides sufficient instruments and means, they want to take the lead in the specification of those policies for their own regions, customizing them in coordination with local partners. The provinces take the stand that supplementary nitrogen-policies for a large part have to consist of remuneration of achievements to stimulate lower losses of nitrogen to the environment, and of structural measures. The substantial amounts of money involved are not covered by budgets of existing regulations.

Several options present themselves when region-specific policies are formulated. Regarding nitrate problems, these refer among others to the maximally acceptable limit of nitrate and the scale at which this limitation is applied (field, farm, region), as well as to the definition of the region: what are its borders, is it allowed that lower nitrate losses from nature compensate the higher losses from agriculture? The level of the costs of the supplementary policies depends partly on how these options are filled. It would be wise to gain insight in the relation between options and costs before actually making choices.

Terms of reference

The Province of Gelderland, with VEWIN (Dutch association of water harvesting companies), IPO (the Inter-Provincial consultancy group) and WOG (the water harvesting company for East Gelderland) commissioned DLO-Staring Center (SC-DLO) and Center for Agriculture and Environment (CLM) to develop a methodology suited for an *ex-ante* analyse of the costs of supplementary, region-specific nitrogen policies, and to apply it to a specific region.

The methodology was developed interactively with the principals. Involved were also the consultation partners of the project 'Supplementary nitrogen policies for dry sandy soils' of the ministries of Public Health, Planning and Environment and of Agriculture, Nature Management and Fisheries. Especially the calculation-model and scenario's were discussed in different stages of development. This led to an adequate description of requirements of the principals and their translation into options of the methodology:

1. it should be possible to indicate the **minimal costs** related to changes in land use leading to reduction of the nitrate concentration to a pre-defined level;
2. **quantification** of that **level** should be free to the user, as would be the choice to impose different levels for different sub-sections of the region;
3. calculation of the effect of **different starting conditions** should to be possible;

4. it should be possible to adapt **region-specific factors** used to calculate nitrate leaching;
5. it should be possible to vary the contribution of **non-agricultural land use** to the regional nitrate leaching;
6. the **calculation procedure** should be accessible to and applicable by the principals.

Development of methodology

The methodology consists of four steps, which need to be re-taken when using or adapting the methodology:

1. description of the region: soil units, groundwater-classes, land-use types;
2. description of alternative options for land use (variants): costs and nitrate leaching
3. formulation of LP-model
4. defining scenario's and calculation of results

Remarks

The methodology comprises a calculation model which is a simplified version of reality. Underlying assumptions are based upon the presently best known interpretations of reality. As such, the calculated costs and nitrate concentration are indicative, but give the best estimates presently available.

Results indicate consequences of certain nitrate limits and a chosen definition of region. It is, however, a political decision to indicate the most desirable or best acceptable combination of limit and region.

Variants are described mainly for dairy-farms. The results therefore, are indicative especially for regions with relatively many dairy-farms. The methodology however, can be adapted to accommodate regions with mainly arable farming or horticulture.

Chapter 2: Description of the region

The rate of nitrate leaching is determined by physical factors related to characteristics of hydrology and soil, and to farm-management, such as vegetation and fertilization level. The spatial distribution of these factors varies. It is required to determine for each specific region the spatial distribution of each unique combination of the factors. Here, this procedure is called schematisation. It leads to a partitioning of the region in homogeneous units (plots), characterized by a unique combination of soil unit, groundwater-class, and actual land use. The description of the latter is on basis of farm-types, differentiated according to production-group (dairy and others) and intensity of production (extensive, average, intensive). The remaining land use includes nature (pine-forest, deciduous forest and other nature), build-up areas (buildings and roads), and water. The procedures followed are described in a case-study for a groundwater protection area of 1100 ha ('de Abdij') on high sandy soils, predominantly used for dairy farming.

Chapter 3: Variants

The management of many types of land use can be changed in order to reduce nitrate leaching. This holds in particular for farms, but also for some types of nature. Related costs depend from the starting position. The work presented here, focuses at the possibilities of supplementary policies. The starting point therefore, does not consist of the actual situation. Instead, the situation is taken in which all farms actually do comply with the legal requirements for the year 2008 regarding nitrogen losses.

For each of the farm-types a number of managerial variants is described, each a specific combination of measures aimed at reducing the losses of nitrogen and leaching of nitrate. On the basis of these measures, for each variant an estimate is made of the nitrogen-surplus at farm level and of the potential nitrate leaching for each crop. In addition costs are estimated, divided in 'one-off' costs (investments, change-over expenses) and variable costs (yearly costs for extra labor, yield reductions etc.). They reflect only the costs of measures that are supplementary to those that need to be taken for farms to comply with the regulations for 2008.

While describing variants, emphasis was put on possibilities for change at dairy-farms, occupying the largest part of agriculturally used land in the case-study area. To provide a rough indication for options for change in other farm-types and nature, a few variants were described for these as well.

For the dairy-farms, the following variants were described:

- *'huidig'* ('*actual*'): the actual situation assuming efficient management, aimed at an autonomous supply of roughage;
- *'wettelijke verliesnorm 2008'* ('*legal surplus regulations 2008*'): to comply with the nitrogen surplus for the year 2008 according to actual regulations;
- *'gebiedstaak'* ('*regional task*'): leading to a regional nitrate concentration in the upper groundwater of $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NO}_3$, assuming an average groundwater-class of VII and allowing averaging with the lower nitrate leaching from nature;
- *'grondwaternorm'* ('*groundwater-directive*'): to achieve at each dairy-farm a nitrate concentration of $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ in the upper groundwater at groundwater class VII;
- *'biologisch melkveebedrijf'* ('*biological dairy-farm*'): changing management into that of actual biological-dynamic dairy-farms;
- *'functieverandering naar bos'* ('*change of function into forest*'): costs and effects on nitrate leaching of changing agricultural lands into deciduous forest;
- *'functieverandering naar heide/schraalgrasland'* ('*change of function into heather or 'poor' meadows*'): costs and effects on nitrate leaching of changing agricultural lands into heather or extensively managed 'poor' meadows.

Variants for non-dairy farms include those with a change of function into forest and heather, and in addition a change of land use into *'extensieve graanteelt'* ('*extensively managed grains*'). A variant *'omzetting naar heide/schraalgrasland'* ('*change into heather/poor meadows*') is described for both deciduous and pine forests. For the latter also a variant *'omzetting in loofbos'* ('*change into deciduous forest*') is included.

Finally, for each land use form (crop, vegetation) an estimate is given of the precipitation-surplus, which is the difference between the amounts of rain and evapotranspiration. It is used to estimate the concentration of the nitrate that is leaching.

Chapter 4: LP-model

A linear programming (LP) model is developed, which enables optimization of the allotment of variants over the farm-types. The optimal allotment is found when total regional costs are minimal while results comply with constraints regarding the average nitrate concentration for region, subregions and/or farm types. The user can select the value of these constraints at each level of aggregation.

For each farm-type (incl. nature), the spatial distribution of soil-unit and groundwater-class (Gt) is known, while variants indicate the possibilities for achieving a lower potential loss of nitrogen, and the costs involved. The effect of Gt on the amount of nitrogen removed from the soil through denitrification is calculated using factors by the Dutch 'Committee on Nitrogen', a group of scientists with authority in this field. This leads to an estimate of the amount of nitrate leaching into the groundwater (the 'real' nitrate leaching). In combination with the precipitation-surplus, the expected nitrate concentration can be assessed for each crop-Gt-farm-type combination. The spatial distribution of the Gt over the farm-types is known, as is the relative allocation of land to the various crops per farm-type. Assuming that crops are distributed homogeneously over the farm-area, for each farm-type the expected average nitrate concentration is calculated. Results are aggregated to expected nitrate-concentrations per farm-type, subregion and the whole region.

Total yearly costs per farm-type can be calculated on basis of the total area per variant-farm-type combination. These can be summed up over the farm-types to provide the total yearly regional costs. Yearly costs per each variant-farm-type combination are calculated as the variable costs plus a percentage of the one-off costs. The user can choose this percentage freely. In the presented results it was set at 10%.

In the LP-model, it is possible to vary the relative importance of the various types of non-agricultural land use (nature, build-up, water). Thus, the user is flexible in the way compensation is allowed of high nitrate leaching from agricultural lands by lower leaching from nature. Also, it enables indication of costs for areas with different land use patterns than in the area of study.

Chapter 5: Scenario's and results

The LP-model is applied to 8 main-scenario's and 4 subscenario's per main-scenario. The main-scenario's vary in the constraints for the nitrate concentrations at the regional and farm-type level, while the subscenario's differ in the acreage of non-agricultural lands relative to that of the farms. The most significant main-scenario's are:

- an 'agricultural' scenario, where the maximum regional nitrate concentration is set at $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (the maximum load on the basis of the minimum requirement of

the EU-directive). The LP-model finds a region-specific solution by leaving farms free in the selection of variants.

- a ‘waterwin’ scenario, resembling strongly the ‘agricultural’ scenario, except for the regional nitrate concentration which is allowed to reach only 37.5 mg·l⁻¹.
- a ‘generic’ scenario, in which all farm-types need to achieve a nitrate concentration of maximally 50 mg·l⁻¹. This results in a regional nitrate concentration below this maximum due to the lower nitrate leaching of non-agricultural lands.

Calculated costs for the case ‘Abdij’ vary between Dfl 7 and 670 per ha per year. Extrapolation yields estimates for the costs for all sandy soils in Gelderland from Dfl 1.8 to 101.3 million per year. These costs depend strongly on the political choices regarding nitrate directives and definition of the region. Only when the designated democratic institutions have made these choices, a clear-cut estimate of the costs can be given.

Comparing the scenario’s shows that a regional goal for the nitrate concentration, while leaving farms free in their choice of variant (viz. the ‘waterwin’ scenario) results in similar costs but a lower average regional nitrate concentration than a ‘generic’ goal for the nitrate concentration at all farm types (viz. the ‘generic’ scenario).

In many cases, the LP-model selects biological dairy-farming for farms with presently a relatively low external input level (the extensive dairy-farms). For the other dairy-farm types the choice of variants varies more per scenario. For variants in which land is bought, the relation between costs and results is apparently not efficient enough: these variants are never selected.

Chapter 6: Discussion

Several assumptions regarding possible simplification of reality were needed to come to a working methodology. These assumptions are described, regarding back-ground and expected effects. In various cases required changes in methodology are indicated when another assumption seems more appropriate: Topics discussed comprise:

— Methodology

1. translation of wishes of users into options:
 - i. flexibility of constraints on allowed average nitrate concentration per aggregation level (region, farm-type, etc.)
 - ii. flexibility in averaging high nitrate concentrations in some parts of the region with lower concentrations in other parts
 - iii. flexibility in description/composition of the region
 - iv. possibility to evaluate specific policies
2. estimation of costs
3. weighing of interests
4. extrapolation to other areas

— Characterization of the region

1. area and location of farm-types

2. effect of soil-unit and groundwater-class on denitrification in the top-soil
 3. precipitation-surplus
 4. N-deposition
- Variants
1. general assumptions considering variants
 2. specific assumptions per variant
 - a. 'regional task' and 'groundwater-directive'
 - b. 'biological dairy-farm'
 - c. variants with nature or extensive managed grain
- LP-model
1. land use and effect on N deposition
 2. nitrate concentration in the upper groundwater as indicator for quality of deep groundwater
 3. lack of effect of area per farm-type on prices of products
 4. allotment of variants to fractions of the area per farm-type

Chapter 7: Conclusions and recommendations

Where conclusions relate to the methodology as described in this report, recommendations refer to adaptations for a deepening of the insights gained. This can be of importance when supplementary policies are actually being pursued.

Conclusions regarding presented methodology

- The LP-model fulfills the main goal of this research: it can be used to indicate the most cost-efficient combination of measures in a region, taking into account several policy-induced constraints.
- The LP-model takes into account several region-specific factors.
- The following choices and constraints can be considered:
 1. differentiation in directives on nitrate concentration between parts of the region;
 2. differentiation in directives on nitrate concentration between farm-types;
 3. calculation of costs related to changes from a defined starting situation;
 4. specification of the region: relative importance of not-agriculturally used lands.
- The LP-model is available to the principals and can be used by them.
- The LP-model is a tool for decision support and enables more integral as well as region-specific evaluations
- The most cost-effective combination of measures as selected by the LP-model differs per scenario and per farm-type.
- The LP-model often indicates large effects of nitrate leaching under nature on the regional nitrate concentration and therefore on the costs farms have to make for reducing the regional nitrate concentration to the required level.
- Provided that the required data are given, the LP-model can be used for situations other than presented, e.g. for regions with other types of agricultural land use, with a different intensity of land use, or with relatively less soils that are prone to leaching.

- The methodology can be used to quantify consequences on costs and nitrate concentrations of a number of policy goals. The quality and reliability of the results however are related to the quality and reliability of the input data. Due to the assumptions and the limited number of variants, the results presented in this report are merely indications of costs and resulting nitrate concentrations, but do not represent hard facts.

Recommendations for adaptations to the methodology

1. The variants used are partially based on estimates of costs and effects of measures, which are only partly funded on results of research. Often, costs are underestimated. On the other hand however, some measures might be feasible that are not included in this study. *Specific research is required into cost-effect relations, especially relating to real possibilities for farms to further lower their nitrogen surplus and the socio-economic consequences thereof.*
2. Because of lack of region-specific information, estimates of nitrate leaching under nature land use is based on average data over the whole of the Netherlands. *More research is needed into the actual nitrate concentration under various types of nature, in order to more realistically estimate the regional task for agriculture.*
3. The scenario's are evaluated with a limited number of variants. The results therefore, show a limited picture of the feasible and interesting combinations of measures. *The scenario's need to be evaluated with more variants, that are better funded and more region-specific. Increasing the number of variants is especially required in the areas of alternative crops and changes into biological dynamic dairy farming. In an interactive process with stakeholders in the region, adequate, region and farm specific variants need to be described.*
4. The present methodology is based on 'farm-types', negating effects of the specific situation of individual farms within each type. *To facilitate more accurate and more region-specific evaluations, the possibility of handling individual farms need to be included in the LP-model.*
5. The described methodology does not deal with the formation of a basis among stakeholders in a region, nor with interactions of the nitrate problem with other problem areas. The methodology however can be adapted to include several other of these problem areas (e.g. phosphate, pesticides, pollution of surface water). *The search for suitable and integral solutions for problems in agricultural areas should take place in an open and judicious process together with stakeholders in the region. The methodology need to be adapted to facilitate evaluation of other relevant problems.*

1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de achtergronden van het onderzoek (§ 1.1), de opdracht en opdrachtgevers (§ 1.2), de gevolgde methodiek (§ 1.3). De mogelijkheden en begrenzingen van de methodiek en de daaruitvoortvloeiende uitkomsten worden kort behandeld (§ 1.4).

1.1 Achtergrond

Één van de doelstellingen van het mest- en ammoniakbeleid in Nederland is het terugdringen van de vervuiling van het grondwater met nitraat. Een belangrijk deel van dit beleid is door de Nederlandse overheid vastgesteld in de Integrale Notitie mest- en ammoniakbeleid (LNV & VROM, 1995) en de Wet van 2 mei 1997, houdende wijziging van de meststoffenwet (Wet, 1997). In het beleid spelen normen voor kwaliteit van het grondwater een belangrijke rol, zoals de norm van $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3 . Er zijn wettelijke maatregelen afgekondigd opdat landbouwbedrijven in 2008 voldoen aan deze normen. Bij de behandeling van de Integrale Notitie mest- en ammoniakbeleid in de Tweede kamer in december 1995, is de aandacht gevestigd op het tekortschieten van het beleid voor de stikstofgevoelige zand- en lössgronden (motie Vos¹). Met de in die notitie voorgestelde maatregelen zal de norm van $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ voor nitraat in het grondwater op veel agrarisch gebruikte gronden in de komende eeuw blijvend worden overschreden. Ook de Rijksoverheid onderkent dit²: op 308 000 ha cultuurgrond, met name in Gelderland, Overijssel, Noord-Brabant en Limburg zal de doelstelling van de EU Nitraatrichtlijn (met een maximale toegestane waarde van $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ als minimum eis) niet worden gehaald. Het gaat daarbij om 15% van alle cultuurgrond in Nederland.

In antwoord op de motie Vos heeft de regering toegezegd, in nauwe samenwerking met de provincies, zonodig met aanvullende financiering van het Rijk, in deze gebieden aanvullend beleid te voeren teneinde ook daar op zo kort mogelijke termijn aan de EU-Nitraatrichtlijn te voldoen.

In de Kadernotitie van het InterProvinciaal Overleg (IPO) met betrekking tot de uitwerking van de Integrale Notitie (april 1996) hebben de provincies aangegeven dat zij de ontwikkeling van een aanvullend stikstofbeleid voor de droge zandgronden in hoge mate een verantwoordelijkheid voor de provinciale overheden achten. Volgens diezelfde notitie zullen de provincies zelf het voortouw nemen bij de uitwerking in de eigen regio en er bovendien naar streven om in overleg met regionale partijen tot maatwerk te komen, mede omdat de regionale verschillen in aard en omvang van de

¹ Motie van het lid M.B. Vos (GroenLinks). Voorgesteld in het notaoverleg van 11 december 1995: 'De Kamer, gehoord de beraadslaging, overwegende dat met de in de Integrale mestnotitie voorgestelde maatregelen op agrarisch gebruikte droge zandgronden de norm van 50 mg/l voor nitraat in het onttrokken grondwater in de komende eeuw blijvend zal worden overschreden, verzoekt de regering, in nauwe samenwerking met de provincies, met aanvullende financiering door het Rijk in de gebieden met voor stikstof gevoelige zandgronden aanvullend beleid te voeren dat ertoe leidt dat ook daar op zo kort mogelijke termijn aan de EU Nitraatrichtlijn wordt voldaan, en gaat over tot de orde van de dag'

² Actieprogramma bescherming water tegen nitraatverontreiniging (ter bereiking van de doelstellingen, genoemd in art. 1 van richtlijn 91/676 EEG inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen (Staatscourant 21 van 30-01-1996, tijdelijk teruggetrokken door de minister van LNV (Hndelingen TK 96-97, 24 445 nr. 36)

problematiek groot zijn. De provincies hebben echter ook gesteld dat zij pas verantwoordelijkheid voor de nitraatproblematiek nemen, indien het rijk voldoende instrumentarium en middelen beschikbaar stelt. De provincies gaan er van uit dat het opleggen van regionaal gedifferentieerde, scherpere normen ten aanzien van stikstofverliezen niet efficiënt zal zijn aangezien de kosten van het verder beperken onacceptabele heffingen met zich mee zullen brengen (meer dan f 5 per kg N per ha). Aanvullend stikstofbeleid zal voor een belangrijk deel bestaan uit resultaatbeloningen ter stimulering van lagere stikstofverliezen en uit structuurmaatregelen. Daarmee zijn substantiële bedragen gemoeid, die op de vereiste schaal niet kunnen worden gedekt uit bestaande regelingen.

De hoogte van de kosten zal gedeeltelijk afhangen van de doelstelling. Indien alle landbouwgrond op perceelsniveau aan de nitraatnorm dient te voldoen, zullen de kosten zeer waarschijnlijk (veel) hoger uitvallen dan wanneer de norm geldig is voor het gemiddelde grondwater op bedrijfsniveau of zelfs gebiedsniveau (waarbij voor 'gebied' gedacht kan worden aan een functionele eenheid zoals een intrekgebied van een waterwinning). Het is een politieke keuze om het niveau vast te stellen waarop de nitraatnorm wordt gebruikt.

Normstelling op gebiedsniveau

Argumenten die ervoor pleiten om de norm op gebiedsniveau te stellen zijn het grotere aantal mogelijke maatregelen en de vermoedelijk lagere kosten om tot het gewenste resultaat te komen. Milieutechnisch is deze keuze te verantwoorden indien de nitraatnorm wordt gezien als een indicator van de kwaliteit van het grondwater. Dan is niet zozeer een (mogelijke) overschrijding van de norm op perceels- of bedrijfsniveau van belang, maar veeleer een (mogelijke) overschrijding op gebiedsniveau. De grotere bijdrage van bepaald landgebruik aan de vervuiling van het grondwater zou gecompenseerd kunnen worden door een mindere bijdrage van ander landgebruik. Landbouwbedrijven zouden, binnen de door de wet bepaalde marges, toch hoog productieve bedrijfsvoeringen kunnen hebben die leiden tot een grondwaterbelasting boven de normstelling op perceels- of bedrijfsniveau, zolang dit op gebiedsniveau gecompenseerd wordt door een voldoende groot areaal aan landgebruiksvormen die het grondwater (veel) minder dan de normstelling vervuilen. Deze laagvervuilende landgebruiksvormen kunnen bestaan uit natuurgebieden (bossen, heide, schraalgraslanden), maar ook uit landbouwgronden waarop minder intensief gebruik gemaakt wordt van meststoffen.

Aan bedrijven zou een taakstelling gegeven kunnen worden waaraan zij moeten voldoen om gezien de in hun omgeving voorkomende situatie op gebiedsniveau bij te dragen aan het bereiken van de nitraatnorm. Buijze en Biewinga gebruiken in hun rapport 'Boeren op goed grondwater' (1995) een dergelijke taakstelling als belangrijk onderdeel van de methodiek waarmee op bedrijfsniveau aangegeven kan worden hoeveel meststoffen gebruikt mogen worden om de regionale grondwaterkwaliteit binnen de gestelde norm te houden of te krijgen. De motivatie voor een taakstelling op bedrijfsniveau is gedeeltelijk pragmatisch: de normstelling is gegeven voor grondwater en is als zodanig op landbouwbedrijven een niet direct hanteerbare en bedrijfstechnisch veranderbare grootheid. De taakstelling kan een grens zetten aan het stikstofoverschot op bedrijfsniveau, zodat, gezien het areaal en het landgebruik van het bedrijf, de gemiddelde concentratie van nitraat op het bedrijf niet boven een bepaalde waarde uit zal komen. Een voordeel van een dergelijke bedrijfstaakstelling

is dat de bedrijfsvoerder mogelijkheden heeft, bijv. via de mineralenboekhouding, om zelf inzicht te krijgen in de mate waarin het bedrijf voldoet aan de taakstelling. Ook kunnen verwachte effecten van te nemen of genomen maatregelen geschat worden.

Normstelling op bedrijfs- of perceelsniveau

Er zijn natuurlijk ook argumenten te geven waarom de normstelling op bedrijfs- of zelfs perceelsniveau gehanteerd zou moeten worden:

- Aangezien de specifieke omstandigheden van gebied tot gebied verschillen, zullen taakstellingen op bedrijfsniveau niet algemeen geldig zijn, maar afhangen van die specifieke regionale omstandigheden (bijvoorbeeld van het areaal bos in het gebied). Dit zou met zich meebrengen dat boeren die momenteel bedrijfstechnisch in dezelfde situatie zitten, toch heel andere maatregelen zouden moeten nemen. Dit kan een probleem zijn indien maatregelen dwingend opgelegd worden, maar veel minder indien het aanvullende beleid zich richt op het stimuleren van vrijwillig te nemen maatregelen. Ook zou de gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie berekend kunnen worden voor alleen de gronden die door landbouwbedrijven gebruikt worden, of zouden kosten die gemaakt worden voor het realiseren en onderhouden van natuurterreinen (gedeeltelijk) afgetrokken worden van eventuele betalingen aan landbouwbedrijven.
- De nitraatnorm is niet alleen een indicator van de kwaliteit van grondwater dat gewonnen zal worden voor drinkwater, maar ook van de kwaliteit van het milieu van de grond waaruit dat grondwater komt, bijvoorbeeld als indicator voor de mogelijkheid tot het ontwikkelen of in stand houden van gewenste natuurdoeltypen. Indien alle grond geacht wordt te voldoen aan deze normstelling moet de normstelling op perceelsniveau gerealiseerd worden. Een belangrijke vraag in dit verband is of voor het ontwikkelen of instandhouden van bepaalde natuurdoeltypen ook functionele gebiedseenheden zijn te bepalen.

Tussennormen

Als minder beperkend alternatief kan ook gedacht worden aan 'tussennormen': naast de gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie, die aan de drinkwaternorm moet voldoen, wordt ook een bedrijfsnorm gekozen. De gemiddelde nitraatconcentratie per bedrijf of bedrijfstype moet voldoen aan deze bedrijfsnorm, die hoger ligt dan drinkwaternorm, maar duidelijk lager dan de huidige (gemiddelde) nitraatconcentratie. Om controle en/of resultaatbeloning mogelijk te maken wordt de gewenste nitraatconcentratie vertaald in een bedrijfstaakstelling voor het stikstofoverschot. Een probleem is natuurlijk wel dat de keuze van de bedrijfsnorm subjectief is en (dus) aanvechtbaar.

Keuzes

Hoewel het voorgaande geen uitputtende lijst is, moge duidelijk zijn dat er diverse mogelijkheden zijn om de niet eenduidige nitraatnorm voor drinkwaterkwaliteit te effectueren. Alvorens een aanvullend beleid te voeren zal een beslissing genomen moeten worden welke van die mogelijkheden gekozen wordt. Het is mogelijk of wenselijk dat een fasering aangebracht wordt bij het nemen van aanvullende beleidsmaatregelen (Stichting Natuur en Milieu et al., 1996), waarbij het uiteindelijke doel (bijvoorbeeld het halen van de 50 mg·l⁻¹ norm) stapsgewijs benaderd wordt. De gekozen vorm van effectuering van de drinkwater-kwaliteitsnorm kan eventueel verschillen per fase.

1.2 Opdrachtgevers en doelstelling

Alvorens beslissingen te kunnen nemen over de vorm van effectuering van de norm en de fasering, zal voor de verschillende mogelijkheden een schatting van kosten en baten gemaakt dienen te worden. De provincie Gelderland, als mogelijke deeluitvoerder van het aanvullende beleid met betrekking tot de nitraatproblematiek op de droge zandgronden, wil daarvoor een rekenprocedure ontwikkelen. Samen met de Vereniging van exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN), de Waterleidingmaatschappij Oostelijk Gelderland (WOG) en het Interprovinciaal Overleg (IPO) heeft zij opdracht gegeven aan DLO-Staring Centrum (SC-DLO) en het Centrum voor Milieu en Landbouw (CLM) om

- een prototype van zo'n rekenprocedure te maken en
- voor een reëel gebied een aantal scenario's door te rekenen.

Hoewel de grote lijnen van de rekenprocedure al tijdens de projectopdracht beschreven waren, is een groot deel van de detaillering ervan tot stand gekomen in onderling overleg tussen enerzijds opdrachtgevers, en anderzijds de uitvoerders. In dit overleg kwam naar voren dat de te ontwikkelen rekenprocedure zou moeten voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Met de rekenprocedure moet het mogelijk zijn om de **minimale kosten** te bepalen die gemaakt moeten worden om een gewenste nitraatconcentratie in het grondwater te kunnen bereiken. Vanuit rekenkundig oogpunt is daarom gekozen voor een rekenprocedure in de vorm van een Lineair Programmerings (LP) model. Met een LP-model is het mogelijk om de waarde van een doel (in dit geval de gemaakte kosten in de gehele regio) te minimaliseren door een optimale combinatie van alternatieven voor het gebruik van productiemiddelen (in dit geval landgebruiksvormen) te kiezen zodanig dat bepaalde randvoorwaarden niet worden overschreden (in dit geval de limieten die gesteld worden aan de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater).
- Het moet mogelijk zijn om de waardes voor de **normen** ten aanzien van het grondwater te veranderen en te laten verschillen voor diverse deelgebieden in een regio. Zo zou berekend moeten kunnen worden wat de kosten zijn van landgebruiksveranderingen nodig om de gemiddelde nitraatconcentratie van een bepaald afgebakend gebied, inclusief de daarin voorkomende natuur, op de streefwaarde van $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ te krijgen, terwijl voor landbouwbedrijven een limiet van $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ of hoger geldt.
- De structuur van de rekenprocedure moet het mogelijk maken om de kosten van veranderingen in het landgebruik te berekenen ten opzichte van **verschillende beginsituaties**. In eerste instantie dienen de kosten berekend te worden van inspanningen die verder gaan dan die vastgelegd zijn of volgen uit de Integrale Notitie mest- en ammoniakbeleid (LNV & VROM, 1995) en de Wet van 2 mei 1997, houdende wijziging van de meststoffenwet (Wet, 1997) en waaraan landbouwbedrijven in het jaar 2008 moeten voldoen. Het moet echter ook mogelijk zijn om eventueel de kosten te bepalen van het (versneld) invoeren van maatregelen om eerder dan 2008 de voor dat jaar gewenste situatie te bereiken.
- Bij de berekening van de nitraatuitspoeling moet het in de rekenprocedure mogelijk zijn om **regiospecifieke factoren** die bijdragen aan de nitraatconcentratie (o.a. denitrificatie in relatie tot grondwaterstand en bodemeenheid; grondwateraanvulling c.q. neerslagoverschot) aan te passen aan de specifieke situatie waarin de procedure gebruikt wordt. Hoewel in eerste

instantie gerekend zal worden voor een specifiek gebied, moet de structuur van de rekenprocedure zodanig zijn dat de geografische verdeling van deze factoren relatief gemakkelijk aangepast kan worden. De rekenprocedure wordt daardoor toepasbaar voor andere gebieden.

- In de rekenprocedure moet het mogelijk zijn om de bijdrage van **niet-agrarisch landgebruik** aan de regionale nitraatuitspoeling te kunnen variëren door de verhouding van het areaal landbouwgrond ten opzichte van de andere vormen van landgebruik te veranderen. Zo moet het mogelijk zijn om gebieden te definiëren waarin zich alleen agrarische gebruikte grond bevindt, maar ook om de landgebruiksverdeling te nemen van hetzij een doelgebied (zoals een specifiek waterwingebied), hetzij andere regio's met droge zandgronden (bijvoorbeeld de Achterhoek of alle droge zandgronden in Gelderland). Deze laatste optie maakt het mogelijk om indicaties te verkrijgen voor andere gebieden dan het specifieke gebied waarvoor gerekend is.
- De **rekenprocedure** moet toegankelijk zijn voor en gebruikt kunnen worden door de opdrachtgevers. Dit houdt o.a. in dat de software waarin de rekenprocedure geschreven wordt beschikbaar moet zijn bij de opdrachtgevers.

1.3 Methodiek en taakverdeling

Bij het maken van de rekenprocedure en het berekenen van scenario's, zijn vier stappen onderscheiden:

- beschrijving van de regio: bodemeenheden, grondwatertrappen (Gt's), bedrijfstypen. In hoofdstuk 2 is verslag gedaan van de handelingen die nodig zijn om tot de voor de rekenprocedure benodigde gegevens te komen. Dit onderdeel van het project is uitgevoerd door Hendrik Boogaard (SC-DLO), die dankbaar gebruik heeft gemaakt van gegevens die aangeleverd zijn door Theo Reuling (WOG).
- beschrijven van alternatieven voor landgebruik: kosten en nitraatuitspoeling. Sarie Buijze, D. Boland en N. Middelkoop (CLM) hebben op basis van met name literatuuronderzoek en modelberekeningen schattingen gemaakt voor diverse bedrijfstypen. In hoofdstuk 3 worden werkwijze en resultaten beschreven.
- formulering van LP-model. Hoofdstuk 4 beschrijft de formules waaruit het LP-model bestaat. Don Jansen was verantwoordelijk voor dit deel van het werk.
- formuleren en doorrekenen scenario's: de invoergegevens en randvoorwaardes waarmee het LP-model is doorgerekend, en de uitkomsten die ermee verkregen zijn worden beschreven in Hoofdstuk 5. Uitvoerder van dit onderdeel was Don Jansen, met ondersteuning van Hendrik Boogaard bij het maken van kaarten van berekende nitraatconcentraties in het gebied.

De hoofdstukken Discussie (6) en Conclusies en aanbevelingen (7) zijn een gezamenlijk product van alle auteurs

1.4 Opmerkingen vooraf

Dit rapport beschrijft een prototype van een rekenprocedure en de uitkomsten van die rekenprocedure voor een specifiek gebied bij een aantal specifieke randvoorwaarden. De rekenprocedure is in feite een versimpeling van de werkelijkheid. Hiermee wordt een deel van de complexiteit van de werkelijkheid genegeerd waardoor het mogelijk

wordt om op een overzichtelijke en methodische manier effecten van veranderingen te berekenen. Niet voor alle processen die in de werkelijkheid spelen is genoeg kennis beschikbaar om de uitkomsten van die processen bij verschillende condities te bepalen. Het was daarom nodig om in een aantal gevallen expert kennis te gebruiken voor het schatten van die uitkomsten. Zo zijn voor de in dat gebied vóórkomende bedrijfstypen aannames gedaan omtrend de nitraatuitspoeling bij verschillende vormen van management (varianten). Ook zijn aannames gedaan met betrekking tot de kosten van die varianten ten opzichte van een inschatting van het management dat op de verschillende bedrijfstypen nodig is om te voldoen aan de wettelijke normen voor 2008. De aannames zijn gebaseerd op de op dit moment beste schattingen van effecten van management op stikstofoverschot en kosten op bedrijfsniveau. Daarmee geven de uitkomsten de op dit moment best bekende indicatie van de kosten voor het specifieke onderzoeksgebied. Het is mogelijk om op basis van de kosten berekend voor 'de Abdij' een schatting te maken voor andere gebieden met droge zandgronden. Hiermee worden de werkelijke te maken kosten in deze gebieden zeer waarschijnlijk onderschat omdat het onderzoeksgebied 'de Abdij' relatief gunstig is wat betreft de nitraatproblematiek: het areaal aan gronden met een Gt beneden klasse VII (de 'nattere' droge gronden) is relatief groot en het WOG voert een stimuleringsbeleid om de nitraatuitspoeling terug te dringen zodat het stikstofverlies per bedrijf gemiddeld genomen waarschijnlijk lager is dan in gebieden waar zo'n beleid niet gevoerd wordt.

Vaak is bij het kwantificeren van het stikstofoverschot en de kosten op bedrijfsniveau uitgegaan van een optimistische inschatting van het effect van het management, en liggen de aannames dus aan de lage kant van wat gezien de huidige kennis mogelijk of waarschijnlijk is. Ook vanwege een aantal aannames in de rekenprocedure waarmee de regionale kosten bepaald worden (Hoofdstuk 6) is het aannemelijk dat de berekende totale regionale kosten een optimistische inschatting geven van de werkelijke kosten.

Bij het uitwerken van de varianten is sterke nadruk gelegd op de melkveesector en in mindere mate op de akkerbouw en tuinbouw. Daarmee zijn de berekende uitkomsten met name indicatief voor gebieden met relatief veel melkveehouderij. De methodiek is echter ook toepasbaar in gebieden met een relatief groot areaal aan akkerbouw- en tuinbouwbedrijven, alleen dienen dan aanvullende bedrijfstypen beschreven te worden en de voor die bedrijfstypen geschikte varianten.

Het blijkt dat de kosten van vermindering van de nitraatuitspoeling sterk afhangen van een aantal randvoorwaarden, o.a. wat betreft de geaccepteerde hoogte van de resulterende nitraatconcentratie en wat betreft een eventuele compensatie van een hogere nitraatuitstoot in sommige deelgebieden met een lagere uitspoeling in andere deelgebieden. De in dit rapport beschreven uitkomsten geven aan wat de consequenties zijn van een bepaalde keuze. De auteurs wensen echter geen normatief oordeel te geven over de mate waarin een bepaalde keuze van randvoorwaarden wenselijk of acceptabel is. Het is aan de daartoe geëigende democratische organen in Nederland om een dergelijke politieke keuze te maken. Pas als deze politieke keuze gedaan is, kan een eenduidige schatting van de kosten gegeven worden.

2 Schematisatie onderzoeksgebied

De methodiek vereist dat in het onderzoeksgebied de geografische verspreiding van een aantal kenmerken bekend is (§ 2.1). Deze kenmerken zijn te halen uit verschillende kaarten, waarop, afhankelijk van het kenmerk een bewerking is toegepast: Gt's (§ 2.2), bodemeenheden (§ 2.3), en landgebruik of bedrijfstypen (§ 2.4). Deze verschillende kenmerken worden daarna samengevoegd om het gebied te schematiseren in unieke, homogene combinaties (§ 2.5).

2.1 Inleiding

De mate van nitraatuitspoeling naar het grondwater wordt bepaald door fysische factoren (waterhuishouding, bodem) en management (gewas, bemesting, etc.). Omdat de ruimtelijke verdeling verschilt per kenmerk, en de gegevens in verschillende (digitale) bestanden voorkomen, is het nodig om voor elk specifiek gebied een schematisatieslag te maken om de ruimtelijke verdeling van de unieke combinaties van de kenmerken vast te leggen. In de gevolgde methodiek leidt deze schematisatie tot een verdeling van de regio in homogene eenheden (plots) die gekenmerkt worden door een unieke combinatie van grondwatertrap (Gt), bodemeenheid, en landgebruik³.

De rekenprocedure is allereerst ontwikkeld en toegepast op een bestaand grondwater-beschermingsgebied van 1100 hectare ('De Abdij'). Dit gebied is gekozen omdat er gedetailleerde informatie bekend is over bodem, Gt's en bedrijven. Daarnaast is in het onderzoeksgebied het project 'Boeren op goed grondwater' uitgevoerd resulterend in gegevens over type bedrijven en mogelijke maatregelen en daaraan verbonden kosten. Tenslotte is het onderzoeksgebied redelijk representatief voor de melkveehouderij op de drogere zandgronden. Dit zijn gebieden waar de nitraatproblematiek met name speelt. Het onderzoek is dus met name gericht op de melkveehouderij, zeker wat betreft de beschrijving van bedrijfstypen en alternatieven voor het huidige landgebruik. De methodiek is echter ook geschikt om toegepast te worden in bijvoorbeeld typische akkerbouwgebieden op de drogere zandgronden. In dat geval dient de beschrijving van bedrijfstypen aangepast te worden en moeten daarvoor alternatieve vormen van landgebruik ontwikkeld te worden.

2.2 Grondwatertrappen

Begin jaren zeventig heeft een bodeminventarisatie plaatsgevonden in het onderzoeksgebied met schaal 1:25000 (Kleinsman et al., 1973; Holst et al., 1974). De in die bodemkaart beschreven Gt's zijn verouderd als gevolg van ingrepen in de ontwatering in het kader van ruilverkavelingsprojecten en wateronttrekking voor drinkwater. De WOG heeft het effect van ontwateringsmaatregelen op de Gt's geschat en de vernieuwde Gt's samen met de bodeminformatie vastgelegd in een GIS-bestand. Ook heeft het WOG (Th. Reuling, 1997, pers. mededeling) een

³ In het geval van agrarisch landgebruik geeft de landgebruiksvorm een bepaald bedrijfstype weer bijvoorbeeld intensieve melkveehouderijen met een bepaalde verhouding maïs/gras.

schatting gemaakt van de effecten van de waterontrekking voor drinkwaterwinning op het verlaging patroon van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Via de relatie tussen GLG-GHG en Gt (Tabel 1) leiden deze verlagingen samen met de vernieuwde Gt tot een geactualiseerde Gt (Aanhangsel 1).

Tabel 1 Grondwatertrap (Gt) in afhankelijkheid van gemiddeld laagste (GLG) en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG)¹⁾; naar Van der Sluys (1990)

GLG (cm - mv)	GHG (cm - mv)			
	80-120	>120	120-180	>180
25-40	IIIb	Vb		
40-80		VI	VIo	VId
80-140		VII	VIIo	VIIId
>140				VIIIId

¹⁾ alleen de voor het onderzoeksgebied relevante combinaties zijn gegeven.

De geactualiseerde Gt's die in het onderzoeksgebied voorkomen zijn Vb, VI, VII en VIII. Door de actualisatie is een verschuiving opgetreden naar drogere Gt's: Gt IIIb kwam op de oorspronkelijke bodemkaart wel voor maar is nu verdwenen.

Tabel 2 Overzicht van de oppervlaktes van de verschillende grondwatertrappen en het percentage ten opzichte van het totale onderzoeksgebied.

Grondwatertrap	Areaal (ha)	(%)
V	37	3,4
VI	421	38,2
VII	344	31,2
VIII	126	11,4
Onbekend	174	15,8
Totaal	1102	100,0

Gt VI en VII beslaan samen bijna 70 % van het onderzoeksgebied (Tabel 2). Ze komen over het algemeen voor op de podzolen. In het noorden van het onderzoeksgebied ligt nog een klein oppervlak met Gt Vb, samenvallend met bekeerden. In het westen en midden van het onderzoeksgebied liggen ook bekeerden maar deze gaan niet gepaard met Gt Vb. Dit wordt verklaard door opgetreden verlagingen van de grondwaterstand als gevolg van de waterontrekking. Deze verlagingen zijn nog terug te vinden in min of meer cirkelvormige begrenzingen tussen Gt's. Het centrum van de waterontrekking ligt in het zuidwesten van het onderzoeksgebied. Gt VIII betreft 11 % van het totale oppervlak en komt voor op de hoger gelegen enkeerden (zie bodemeenheden). Voor twee bosgebieden ontbreekt informatie over bodem en Gt's ontbreekt (bijna 16 % van het areaal).

Tabel 3 Vertaling van bodemeenheden in onderzoeksgebied, schaal 1 : 25000, in bodemfysische eenheden

Bodemeenheid 1 : 25000	Bodemeenheid 1 : 50000	Bodemeenheid 1 : 250000	Bodemfysische eenheid ¹⁾
Hn53	Hn21	Z8 (bij grondwatertrap V, VI)	9
		Z12 (bij grondwatertrap VII, VIII)	8
cHn53	cHn21	Z11	12
Hn54	Hn23	Z8 (bij grondwatertrap V, VI)	9
		Z12 (bij grondwatertrap VII, VIII)	8
cHn54	cHn23	Z11	12
tZg55	pZg23	Z20	13
tZd53	tZd21	Z18	12
tZg45	pZg23	Z20	13
tZn54	pZn23	Z21	9
EZ53	zEZ21	Z16	12
Zb/tZd52	Zbt/Zd21	Z27/Z18	12

¹⁾ voor verklaring van de bodemfysische eenheden zie Aanhangsel 2.

2.3 Bodemeenheden

De bodemeenheden van de bodemkaart 1:25000 zijn opgenomen in begin zeventiger jaren (Kleinsman et al., 1973; Holst et al., 1974). Deze bodemeenheden zijn vertaald in bodemfysische eenheden (Wösten et al., 1988) door Folkert de Vries (DLO-Staring Centrum) voor toepassing in landelijke of regionale studies. Hierbij zijn 21 eenheden onderscheiden, waarvan slechts een deel voorkomt in het onderzoeksgebied (Tabel 3). Het areaal 'duinvaaggrond' (Z27) is in het onderzoeksgebied verwaarloosbaar klein en in de studie is de eenheid toegevoegd aan de 'enkeerd/zandgrond' (Z18).

Ruim 60 % van het onderzoeksgebied bestaat uit podzolgronden (Tabel 4). In oost-west richting worden deze onderbroken door een rug van enkeerdgronden met een oppervlak van 186 ha (17 %). In het westelijk deel van het onderzoeksgebied langs de enkeerdgronden en in het noorden liggen smalle repen bekeerdgronden met een totale oppervlakte van ongeveer 6 % van het totale onderzoeksgebied. Voor ongeveer 16 % van het totale oppervlak geldt dat bodemkundige informatie ontbreekt.

Tabel 4 Overzicht van de oppervlaktes van de verschillende bodemfysische eenheden en het percentage ten opzichte van het totale onderzoeksgebied.

Fysische bodemeenheid	Areaal (ha)	(%)
Podzolgronden in leemarm, fijn zand (8)	109	9,9
Podzolgronden in zwak lemig, fijn zand (9)	562	51,0
Enkeerdgronden in zwak lemig, fijn zand (12)	186	16,9
Beekeerdgronden in sterk lemig, fijn zand (13)	71	6,4
Onbekend	174	15,8
Totaal	1102	100,0

2.4 Landgebruik

Er is onderscheid gemaakt in agrarisch en niet-agrarisch landgebruik. Het agrarisch landgebruik is gebaseerd op een bedrijfsinventarisatie en de daaraan gekoppelde kaart met de ligging van percelen. Het niet-agrarische landgebruik is afgeleid van het

Landelijke Grondgebruiksbestand Nederland versie 2. Dit LGN2-bestand is landsdekkend en gebaseerd op satellietbeelden van 1992 (Thunnissen en Noordman, 1996).

2.4.1 Agrarisch landgebruik

Door de WOG zijn in het kader van schaderegelingen bedrijfsinventarisaties gehouden. Met deze gegevens is op basis van de bedrijfstypen zoals beschreven in Buijze & Biewinga (1995) gekomen tot in deling van de bedrijven in de volgende typen:

- intensieve melkveebedrijven;
- gemiddelde melkveebedrijven;
- extensieve melkveebedrijven;
- bedrijven zonder melkvee;
- en onbekende bedrijven (liggen buiten het grondwaterbeschermingsgebied).

Een gebruikersnummer (c.q. bedrijfsnummer) koppelt het kenmerk 'bedrijfstype' aan de geografische ligging van de percelen, aangeleverd door de WOG. De bedrijfsinventarisaties gelden alleen voor het grondwaterbeschermingsgebied omdat hier droogteschaderegelingen van toepassing kunnen zijn. Daardoor is voor een belangrijk deel van het agrarisch grondgebruik in het noordelijk deel van het onderzoeksgebied (233 ha van de 600 ha; 37 %) onbekend onder welk bedrijfstype het valt. Bij de beschrijving van het LP-model (Hoofdstuk 4) wordt uitgelegd hoe daar mee wordt omgegaan.

Op basis van de gegevens van het WOG blijkt de groep van de intensieve melkveebedrijven, na de groep 'onbekende bedrijven', het grootste oppervlak te hebben met 129 ha (Tabel 5). De bedrijfstypen 'gemiddelde melkveebedrijven', 'extensieve melkveebedrijven' en 'bedrijven zonder melkvee' hebben oppervlaktes tussen de 72 en 97 ha.

Het LGN2-bestand (Thunnissen en Noordman, 1996) is gebruikt om de geografische ligging van het huidige landgebruik in het onderzoeksgebied te bekijken. Sommige delen van het gebied behoren volgens het WOG-bestand tot een bepaald bedrijfstype terwijl het LGN2-bestand 'niet-agrarisch' landgebruik aangeeft. Dit betreft ongeveer 29 ha verspreid over het onderzoeksgebied (vergelijk de arealen volgens WOG en LGN2 in Tabel 5). Dit verschil is voornamelijk het gevolg van een GIS-overlayoperatie met een raster georiënteerd LGN2-bestand en een vector-georiënteerd bestand met de ligging van de percelen.

De LGN2-gegevens zijn gebruikt om de gebieden die binnen het WOG-bestand vielen (het grondwaterbeschermingsgebied) te vergelijken met de gebieden daarbuiten. Deze vergelijking zou aanwijzingen kunnen geven of dezelfde verhouding van bedrijfstypen voorkomt in beide soorten gebieden. Hiertoe is gekeken naar de verhouding van de verschillende landgebruiksvormen (gras, maïs, overig bouwland). Binnen het grondwaterbeschermingsgebied verschilt de verdeling van de arealen gras en maïs niet sterk tussen de drie typen melkveebedrijven (Tabel 5). Deze bedrijven hebben ongeveer 75-80% van hun areaal onder gras en het restant onder maïs. Voor de bedrijven zonder melkvee is de verhouding afwijkend en is ruim de helft van het areaal onder gras, bijna 40% onder maïs en 8% is overig bouwland.

In het gebied ten noorden van het grondwaterbeschermingsgebied (het 'onbekende' deelgebied) is er relatief minder gras en meer maïs en overig bouwland (Tabel 5). Dit kan erop duiden dat in dit gebied bedrijfstypen met een andere verdeling van het grondgebruik voorkomen en/of relatief meer bedrijven zonder melkvee.

Tabel 5 Areaal (ha) per grondgebruikstype (gras, maïs en overig bouwland) voor de verschillende bedrijfstypen (tussen haakjes de percentages ten opzichte van het totale oppervlak van een bedrijfstype).

Bedrijfstype	Gras (LGN2)	Mai's (LGN2)	Overig bouwland (LGN2)	Totaal (LGN2)	Totaal (WOG)	% van totaal agrarisch ge- bied (WOG)
Intensieve melkveebedrijven	92 (74 %)	33 (26 %)	0 (0 %)	125 (100 %)	129	20,5
Gemiddelde melkveebedrijven	73 (77 %)	21 (22 %)	1 (1 %)	95 (100 %)	97	15,4
Extensieve melkveebedrijven	53 (76 %)	15 (21 %)	2 (3 %)	70 (100 %)	72	11,4
Bedrijven zonder melkvee	48 (55 %)	32 (37 %)	7 (8 %)	87 (100 %)	99	15,7
Onbekende bedrijven	138 (62 %)	71 (32 %)	15 (6 %)	224 (100 %)	233	37,0
Totaal	404 (67 %)	172 (29 %)	25 (4 %)	601 (100 %)	630	100,0

2.4.2 Niet-agrarisch landgebruik

Het LGN2-bestand (Thunnissen en Noordman, 1996) is gebruikt om het niet-agrarische landgebruik in kaart te brengen. Het niet-agrarische landgebruik bestaat uit alle vlakjes in het onderzoeksgebied waaraan geen bedrijfstype zijn toegekend. Deze vlakjes hebben door middel van een GIS-overlay-operatie het landgebruik gekregen zoals in het LGN2-bestand staat aangegeven.

Het LGN2-bestand is vergeleken met de kaart van de WOG over de ligging van de percelen. Op de WOG-kaart wordt namelijk aangegeven of een vlak wel of niet agrarisch gebied is. Uit de vergelijking blijkt dat het LGN2-bestand sommige vlakken als agrarisch gebied beschouwd die door de kaart van de WOG als niet-agrarisch worden bestempeld (sportvelden, bermen, erven etc.). Dit betreft ongeveer 118 ha. De betreffende vlakjes van het LGN2-bestand zijn omgezet in niet-agrarisch gebied. Voor deze omzetting is de codering toegepast die de WOG gebruikt voor niet-agrarisch gebieden.

Het niet-agrarische landgebruik bestaat uit bos, open natuur, zandverstuivingen, bebouwing en water. Naaldbos neemt met 66,5 % verreweg het grootste areaal in (Tabel 6). Het ligt verspreid over twee grote bosgebieden in het westen en zuiden van het onderzoeksgebied. De landgebruiksvormen loofbos en bebouwing hebben beiden een ongeveer even groot areaal en liggen verspreid over het onderzoeksgebied. De resterende landgebruiksvormen hebben verwaarloosbare arealen.

Tabel 6 Overzicht van de oppervlaktes landgebruik in het niet-agrarische gebied en het percentage ten opzichte van het totale niet-agrarische gebied binnen het onderzoeksgebied.

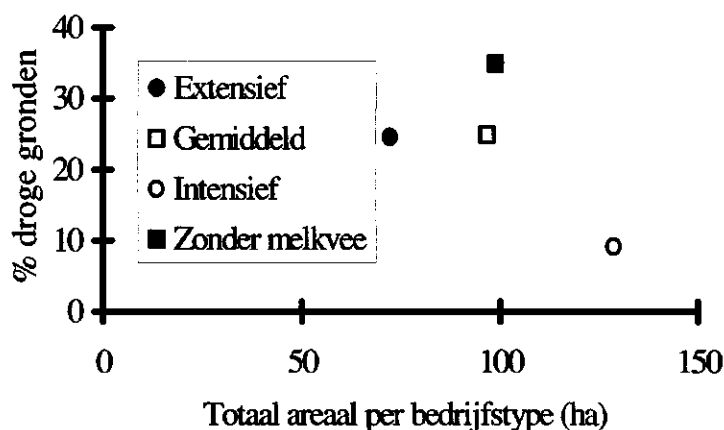
Landgebruik	Areaal (ha)	(%)
Naaldbos	314	66,5
Loofbos	65	13,8
Open natuur	6	1,3
Zandverstuiving	0	0,0
Bebouwing	86	18,2
Water	1	0,2
Totaal	472	100,0

2.4.3 Onderscheid naar natte en droge bedrijfstypen

Binnen de bekende bedrijven zijn de vier bedrijfstypen (melkvee en ‘zonder melkvee’) nog verder onderscheiden naar bedrijfstypen op relatief natte gronden (Gt V en VI) en relatief droge gronden (Gt VII en VIII). Daartoe is een GIS-overlay-operatie uitgevoerd met bedrijfstype- (§ 2.4) en Gt-coverage (§ 2.2). Dit geeft het areaal per Gt voor elk individueel bedrijf. Wanneer een bedrijf meer dan 75% van het areaal op de drogere gronden heeft liggen is dat bedrijf gerangschikt bij een droog bedrijfstype. Het blijkt dat ten opzichte van de intensieve melkveebedrijven een relatief groter deel van de extensieve en gemiddelde bedrijven vóórkomt op de drogere gronden, maar beduidend minder dan ten opzichte van de bedrijven zonder melkvee (Figuur 1).

2.5 Overlay

Door de gegevens over Gt's, bodemeenheden en bedrijfstypen met elkaar te combineren in een GIS-overlay procedure ontstaan 118 homogene eenheden (plots). Deze plots worden aan de hand van grondwatertrap, bodemeenheid, bedrijfstype en areaal geïmplementeerd in het LP-model. Een lijst gebruikte coverages staat in Aanhangsel 3.



Figuur 1 Areaal ‘droge’ bedrijven als percentage van totale areaal per per bedrijfstype.

3 Varianten van management

Voor verschillende vormen van management (varianten) wordt de stikstofuitspoeling (§ 3.1) berekend en de kosten die gemaakt worden ten opzichte van de variant waarin voldaan wordt aan de wettelijke normstelling voor stikstofverlies in het jaar 2008. Varianten zijn beschreven voor gangbare (§ 3.2) en biologische melkveehouderij (§ 3.3) en voor natuur en andere vormen van aangepast grondgebruik (§ 3.4). Tot slot wordt per landgebruiksvorm het neerslagoverschot vermeld (§ 3.5), dat in de rekenprocedure (Hoofdstuk 4) gebruikt wordt bij het berekenen van de nitraatconcentratie.

3.1 Inleiding

In het onderzoeksgebied worden verschillende vormen van landgebruik onderscheiden. Om inzicht te krijgen in de effecten van verschillende landgebruiksvormen op de grondwaterkwaliteit wordt in dit hoofdstuk een inschatting gemaakt van het stikstofoverschot bij diverse huidige en alternatieve vormen van landgebruik die voortvloeien uit de maatregelen genoemd in de 'Handreiking aanvullend (regionaal) stikstofbeleid voor de droge zand- en lössgronden' (Stichting Natuur en Milieu et al., 1996).

In de berekening van het N-overschot is rekening gehouden met de aanvoer van stikstof via depositie. Ook deze stikstof kan immers worden benut op het bedrijf en kan eventueel uitspoelen. Het berekende N-overschot is daarom inclusief het effect van 48 kg N-depositie per jaar. Dit is steeds in de tekst erbij vermeld. Daarmee verschilt het hier gepresenteerde N-overschot van het N-overschot zoals wordt berekend in Minas aangezien daar het effect van N-depositie niet wordt meegerekend.

In het navolgende wordt veelvuldig de term 'potentiële N-uitspoeling' gehanteerd, i.e. dat gedeelte van het N-overschot dat beschikbaar is voor uitspoeling naar het grondwater. De vertaling van N-overschot naar potentiële N-uitspoeling is beschreven in 'Boeren op Goed Grondwater' (Buijze & Biewinga, 1995). Hierbij wordt de potentiële N-uitspoeling op landbouwbedrijven berekend op grond van gegevens betreffende bedrijfsopzet en bedrijfsvoering, zonder rekening te houden met eventuele denitrificatie (behalve uit urineplekken) en/of afvoer naar het oppervlaktewater. De potentiële N-uitspoeling is dus gelijk aan de werkelijke uitspoeling in de situatie dat denitrificatie te verwaarlozen is, hetgeen het geval is bij Gt VIII. De in dit hoofdstuk vermelde (potentiële) N-uitspoeling betreft steeds de *jaarlijkse* uitspoeling. Bij de beschrijving van het LP-model (Hoofdstuk 4) wordt ingegaan op de berekening van het effect van de grondwatertrap (Gt) op de relatie tussen potentiële en reële nitraatuitspoeling.

3.2 Gangbare melkveehouderij

Het landelijk mestbeleid voorziet in N-verliesnormen die stapsgewijs worden aangescherpt tot eindnormen in het jaar 2008. In deze paragraaf wordt ingegaan op consequenties van deze wettelijke eindnormen voor N-uitspoeling in het proefgebied. Voor gangbare melkveebedrijven wordt een aantal varianten vermeld van maatregelen ter vermindering van N-uitspoeling. Vervolgens wordt een inschatting gemaakt van de kosten van extra maatregelen die nodig zijn ten opzichte van het huidige mestbeleid.

3.2.1 N-overschot en potentiële N-uitspoeling

Voor de melkveebedrijven in het onderzoeksgebied is een aantal varianten doorgerekend, met verschillende niveaus van potentiële N-uitspoeling. De berekeningen zijn uitgevoerd voor drie 'bedrijfstypen' die representatief zijn voor de bedrijven in het onderzoeksgebied. Die typering is vooral een onderscheid in intensiteit van melkproductie en bedrijfsmanagement (Tabel 7).

De werkelijke bedrijven in het onderzoeksgebied worden in het LP-model als volgt ingedeeld in de drie bedrijfstypen:

< 1,5 mk·ha ⁻¹	extensief
1,5 - 1,9 mk·ha ⁻¹	gemiddeld
> 1,9 mk·ha ⁻¹	intensief

Tabel 7 Kenmerken van de drie melkveebedrijfstypen waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd

	Extensief	Gemiddeld	Intensief
Melkproductie per ha (kg·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹)	9000	12000	15000
Melkproductie per koe (kg·jr ⁻¹)	7000	7000	7000
Melkkoeien per ha	1,29	1,71	2,14
Kalveren per melkkoe	0,40	0,40	0,40
Pinken per melkkoe	0,48	0,48	0,48
Graslandgebruik	O4	B4	B4
Aandeel snijmaïs areaal (%)	20	20	20
N-bemesting grasland (kg·ha ⁻¹ N)	250	400	400
Mineralisatie (kg·ha ⁻¹ N)	140	160	180
Drijfmestgift snijmaïs (ton·ha ⁻¹)	50	50	50
Teelt nagewas snijmaïs	nee	nee	nee
N-gehalte krachtvoer (g·kg ⁻¹)	25	25	25
Gt	VII	VII	VII

De kenmerken van de gebruikte bedrijfstypen wijken enigszins af van de werkelijke situatie op de bedrijven in het onderzoeksgebied (Hoofdstuk 2). Zo is het werkelijke maïsareaal op de intensieve bedrijven in het onderzoeksgebied eerder 25% dan de hier gehanteerde 20%.

Voor de drie bedrijfstypen zijn de potentiële N-uitspoeling en het bijbehorende N-overschot berekend in de volgende vier varianten:

- 'huidig': efficiënte bedrijfsvoering, gericht op zelfvoorziening ruwvoer;
- 'wettelijke verliesnorm 2008': N-verliesnorm in 2008 volgens landelijk beleid;

- 'gebiedstaak': nitraatconcentratie $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NO}_3$ in het ondiepe grondwater gemiddeld in het onderzoeksgebied;
- 'rondwaternorm': nitraatconcentratie $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NO}_3$ in het ondiepe grondwater gemiddeld per individueel melkveebedrijf.

Voor de berekening van het N-overschot en de bijbehorende potentiële N-uitspoeling bij deze vier varianten is gebruik gemaakt van reeds gepubliceerde resultaten van het rekenmodel FARMMIN, ontwikkeld door het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO). Deze resultaten zijn beschreven door Van der Putten en Middelkoop in een bijlage van 'Boeren op goed grondwater-normen voor de landbouw vanuit grondwaterbescherming' (Buijze en Biewinga 1995). In dat rapport wordt ingegaan op de verhouding tussen potentiële N-uitspoeling en het N-overschot onder invloed van diverse factoren in de bedrijfsvoering. Daarbij is uitgegaan van productieniveaus bij een goede vochtvoorziening. Bij een situatie op droge zandgronden betekent dit dat zo nodig wordt berekend (in het onderzoeksgebied is berekening dan ook gangbaar). De varianten die hier worden beschreven zijn gericht op N-maatregelen en niet op P-maatregelen. Wel wordt P op de norm gevoerd en bemest.

We vermelden steeds de potentiële N-uitspoeling gemiddeld over het hele melkveebedrijf, uitgesplitst naar potentiële N-uitspoeling onder gras en onder maïs. We wijzen er evenwel op dat de gewasarealen, het voederrantsoen en de verdeling van dierlijke mest over de percelen niet los te koppelen zijn van de bedrijfsvoering in zijn geheel.

Huidig

In de variant 'Huidig' is de benutting van N al efficiënt en berekend onder optimale omstandigheden. De bedrijfsopzet en bedrijfsvoering zijn gericht op zelfvoorziening van ruwvoer. Tabel 8 geeft het N-overschot en de potentiële N-uitspoeling in deze variant voor de bedrijfstypen. Het N-overschot en de N-uitspoeling liggen in deze variant lager dan in de gangbare praktijk, waarin een minder efficiënte bedrijfsvoering plaatsvindt en niet altijd onder optimale omstandigheden geboerd kan worden. Voor het onderzoeksgebied is aangenomen dat deze lagere schattingen reëel zijn gezien het aldaar door de WOG gevoerde stimuleringsbeleid dat gebaseerd is op aanbevelingen zoals genoemd in 'Boeren op goed grondwater' (Buijze & Biewinga, 1995).

Tabel 8 N-overschot en potentiële N-uitspoeling in de variant 'Huidig'

	Extensief	Gemiddeld	Intensief
N-overschot ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1} \text{ N}$) incl. depositie	178	266	292
Potentiële N-uitspoeling ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1} \text{ N}$)			
bedrijfsgemiddelde	59	136	146
gras	46	142	155
maïs	112	112	112
Maatregelen:			
bemestingsniveau grasland ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1} \text{ N}$)	250	400	400
bemesting maïs ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$)	50	50	50
beweidingsstelsel	O4	B4	B4

Tabel 9 N-overschot en potentiële N-uitspoeling in de variant 'Wettelijke verliesnorm 2008'

	Extensief*	Gemiddeld	Intensief
N-overschot ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N) incl. depositie	212	212	212
Potentiële N-uitspoeling ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N)			
bedrijfsgemiddelde	72	81	84
gras	62	74	85
maïs	112	112	81
Maatregelen:			
bemestingsniveau grasland ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N)	307	312	276
bemesting maïs ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$)	50	50	30
beweidingsstelsel	O4	B4	B4

*) Het extensieve bedrijfstype had in de variant 'Huidig' al een lager N-overschot dan $212 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N. Theoretisch kan het bemestingsniveau in de variant 'Wettelijke verliesnorm 2008' dus worden verhoogd ten opzichte van de variant 'Huidig'; en in dat geval kan ruwvoer worden verkocht.

Wettelijke verliesnorm 2008

De landelijk verliesnorm voor stikstof in 2008 is hier gesteld op 180 kg N per ha grasland en 100 kg N per ha bouwland (exclusief N-depositie, zie § 3.1). Op bedrijfsniveau (met 20% maïs) bedraagt de verliesnorm 164 kg N per ha zonder depositie, of 212 kg N inclusief depositie (Tabel 9). Daarbij is de N-correctie nog niet meegenomen.⁴ Rekening houdend met de N-correctie worden de verliesnormen voor de intensievere bedrijven iets hoger dan hier is vermeld. Op basis van het N-overschot is de potentiële N-uitspoeling voor de drie bedrijfstypen geschat (Tabel 9). Om de wettelijke verliesnorm 2008 te realiseren is aangenomen dat op de gemiddelde en intensieve bedrijfstypen het bemestingsniveau op grasland wordt verlaagd en dat op het intensieve bedrijfstype de dierlijke mestgift op maïs wordt verminderd ten opzichte van de variant 'Huidig'.

Gebiedstaak

De gebiedstaak geeft het N-overschot waarbij gemiddeld in het gebied de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3 is. De gebiedstaak wordt dus mede bepaald door de uitspoeling onder niet-agrarische deelgebieden en door de Gt. Nitraatconcentratie en Gt zijn onbekend onder natuur en bebouwing in het onderzoeksgebied; en in het onderzoek is een gemiddelde concentratie van $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3 in het bovenste grondwater aangenomen. Afhankelijk van het specifieke landgebruik kan deze concentratie plaatselijk hoger of lager zijn (§ 3.4.1). Uitgaande van een Gt van gemiddeld VII onder de landbouwbedrijven in het gebied bedraagt de toelaatbare potentiële N-uitspoeling onder de landbouwbedrijven dan $56 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N (na correctie met de factoren van Goossensen en Meeuwissen 1990; § 4.2.1). Op basis hiervan is het erbij behorende N-overschot voor de drie bedrijfstypen in de variant 'gebiedstaak' geschat (Tabel 10). Om de gebiedstaak te realiseren is aangenomen dat het bemestingsniveau op grasland wordt verlaagd en eventueel de dierlijke mestgift op maïs wordt verminderd ten opzichte van de variant 'Huidig'. Het intensieve bedrijf kan de gebiedstaak waarschijnlijk niet bereiken met alleen een verlaging van het bemestingsniveau van grasland. We gaan uit van omschakeling op

⁴ In 1997 heeft de minister aangekondigd om het N-overschot waarover een heffing dient te worden betaald te corrigeren voor diergebonden stikstofverliezen die optreden als gevolg van vervluchtiging van ammoniak en andere stikstofverbindingen. De correctie betreft een vermindering van het N-overschot met 20 kg N per koe, 6,5 kg N per kalf en 13,8 kg N per pink. Van de totale correctie wordt steeds 40 kg N afgetrokken. (LNV, 1997).

Tabel 10 N-overschot en potentiële N-uitspoeling in de variant 'Gebiedstaak'

	Extensief	Gemiddeld	Intensief
N-overschot incl. depositie	173	156	196
Potentiële N-uitspoeling (kg·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹ N)			
bedrijfsgemiddelde	56	56	56
gras	50	42	42
maïs	81	112	112
Maatregelen:			
bemestingsniveau grasland (kg·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹ N)	251	213	321
bemesting maïs (ton·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹)	30	50	50
beweidingsstelsel	O4	B4	Z

zomerstalvoeding. De N-benutting op grasland neemt dan sterk toe, zodat het N-bemestingsniveau daar nog redelijk hoog kan blijven.

Grondwaternorm

De grondwaternorm geeft de maximale potentiële N-uitspoeling waarmee per individueel melkveebedrijf de gemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater 50 mg·l⁻¹ NO₃ is. De grondwaternorm wordt dus mede bepaald door de Gt. Bij Gt VII is de toegestane potentiële N-uitspoeling 45 kg·ha⁻¹·jr⁻¹ N. Dit leidt tot een toegestaan N-overschot dat afhangt van het bedrijfstype (Tabel 11). Om de grondwaternorm te realiseren is net als bij de variant 'Gebiedstaak' aangenomen dat het bemestingsniveau op grasland wordt verlaagd, eventueel de gift van dierlijke mest op maïs wordt verminderd en dat het intensieve bedrijfstype overschakelt op zomerstalvoeding.

Tabel 11 N-overschot en potentiële N-uitspoeling in de variant 'Grondwaternorm'

	Extensief	Gemiddeld	Intensief
N-overschot incl. depositie (kg·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹ N)	144	141	172
Potentiële N-uitspoeling (kg·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹ N)			
bedrijfsgemiddelde	45	45	45
gras	36	29	36
maïs	81	112	81
Maatregelen:			
bemestingsniveau grasland (kg·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹ N)	196	188	275
bemesting maïs (ton·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹)	30	50	30
beweidingsstelsel	O4	B4	Z

3.2.2 Kosten van maatregelen

In de vorige paragraaf is berekend dat bij de wettelijke N-verliesnorm 2008 de potentiële N-uitspoeling nog dusdanig hoog is dat niet wordt voldaan aan de gebiedstaak of de grondwaternorm. Voor het realiseren van varianten die hier wel aan voldoen zijn extra maatregelen nodig. In deze paragraaf wordt een schatting gemaakt van de kosten daarvan. Het gaat hierbij dus om de kosten van maatregelen om de N-overschotten verder te verlagen dan de wettelijke verliesnorm 2008.

Voor inschatting van deze kosten is gebruik gemaakt van de studie 'Verkenning van sociaal-economische gevolgen van diverse rekenvarianten voor fosfaat- en stikstof-verliesnormen' (Nieuwenhuize et al. 1995). Deze studie is uitgevoerd als een van de

Tabel 12 Overzicht van de tien meest genomen maatregelen voor verlaging N-overschot op gespecialiseerde melkveebedrijven (naar Nieuwenhuize et al., 1995; in volgorde van aantal bedrijven dat die maatregel treft).

1.	Bemestingsniveau verlagen
2.	Graslandmanagement verbeteren (kwaliteit en kg droge stof)
3.	Afvoer organische mest
4.	Krachtvoergift per koe verlagen
5.	Eiwitgehalte voer verlagen
6.	Grasland vervangen door maïs
7.	Voermanagement verbeteren
8.	Minder jongvee aanhouden
9.	Bedrijfsquotum verhogen
10.	Beheersland huren

deelstudies van het Project Verliesnormen, en de daarin doorgerekende varianten zijn gebaseerd op de stikstof- en fosfaat-deskstudies. De daarin aangegeven kosten zijn gebaseerd zijn op combinaties van maatregelen, die verschillen per bedrijfstype. De kostenniveaus zijn daarmee realistischer dan kosten van eenzijdige maatregelen.

De varianten voor melkveehouderij in de studie van Nieuwenhuize et al. zijn gebaseerd op verschillende niveaus van een combinatie van N- en P-verliesnormen. In alle trajecten zijn daarbij maatregelen gericht op zowel N als op P genomen. Voor dit onderzoek zijn de kosten van beide kunstmatig uit elkaar getrokken: er is een bovengrens bepaald 'maximaal' (alle kosten toegerekend aan N) en een 'gemiddelde' (50% van de kosten toegerekend aan N). De werkelijke bovengrens van de kosten van N-maatregelen zit daar tussenin. In de trajecten waarin de 'gebiedstaak' en 'grondwaternormen' vallen worden ook relatief dure maatregelen voor P getroffen. In het navolgende wordt voor de N-maatregelen de kostenniveaus vermeld als onder 'gemiddeld'.

Overigens is het mogelijk dat kosten in de toekomst lager uitvallen. De berekeningen van Nieuwenhuize et al. zijn gebaseerd op combinaties van 15 maatregelen met effect op N-overschot. In de praktijk zal immers op melkveebedrijven een veelvoud van maatregelen mogelijk zijn en zal per bedrijf gezocht worden naar het meest kosten-effectieve pakket van maatregelen. Bovendien zal onder invloed van het mestbeleid de ontwikkeling van kennis en technologie worden gestimuleerd, waardoor goedkopere en/of effectievere maatregelen beschikbaar komen.

Nieuwenhuize et al. berekenen de kosten voor enkele categorieën gespecialiseerde melkveebedrijven, onderscheiden naar intensiteit (uitgedrukt in aantal melkkoeien per ha). Resultaten geven aan dat intensievere bedrijven hogere kosten moeten maken om een bepaald N-overschot te realiseren dan extensievere bedrijven. In Tabel 12 zijn de resultaten van Nieuwenhuize et al. vermeld, omgerekend naar trajecten van het N-overschot en 'maximale' en 'gemiddelde' kosten per kg N. In Tabel 13 zijn tien van de maatregelen voor N vermeld waarop de kosten zijn gebaseerd.

Voor het intensieve bedrijfstype is het moeilijk om de gebiedstaak en grondwaternorm te realiseren zonder ingrijpende veranderingen in de bedrijfsopzet of bedrijfsvoering (zie respectievelijk Tabel 10 en 11). Hier is voor die varianten

uitgegaan van overstap op zomerstalvoeding⁵, Deze maatregel is echter niet door Nieuwenhuize et al. meegenomen. Zomerstalvoeding is relatief duur, en de kosten zijn hier geschat op f 200 per ha (kosten voor extra arbeid en machines). Een andere maatregel die bedrijfstypen zouden kunnen nemen is extensiveren door het areaal te vergroten met extra grond zonder melkquotum, door aankoop of pacht (bijvoorbeeld beheersland). Nieuwenhuize et al. hebben deze maatregel meegenomen voor enkele bedrijven.

Aangenomen is dat de stapsgewijze verlaging van het N-overschot voor de drie bedrijfstypen ongeveer dezelfde kosten met zich meebrengt als per categorie per traject vermeld is in Tabel 12 en wel als volgt:

bedrijfstype in dit onderzoek: kostenniveau ontleend aan categorie in Tabel 12:

'extensief' met 1,29 mk·ha⁻¹ categorie <1,75 mk·ha⁻¹
 'gemiddeld' met 1,71 mk·ha⁻¹ categorie <1,75 mk·ha⁻¹
 'intensief' met 2,14 mk·ha⁻¹ categorie 1,75-2,25 mk·ha⁻¹.

Het kostenniveau voor het extensieve bedrijfstype wordt daarmee mogelijk hoger ingeschat dan de werkelijke kosten. De extra kosten per variant ten opzichte van de wettelijke verliesnorm 2008 zijn weergegeven in Tabel 14.

Tabel 13 Kosten van maatregelen voor verschillende trajecten van verlaging van het N-overschot, naar Nieuwenhuize et al. (1995) (mk = melkkoe)

Huidige vee- bezetting (mk·ha ⁻¹) (gem.)**	Huidig N- overschot* (kg·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹ N)	Nieuwe vee- bezetting (mk·ha ⁻¹)	Traject N- overschot* (kg·ha ⁻¹ · jr ⁻¹ N)	'Max.' kosten (f·ha ⁻¹ · jr ⁻¹)	'Maximale' kosten N (f·kg ⁻¹ ·ha ⁻¹ · jr ⁻¹)	'Gemiddeld e' kosten N (f·kg ⁻¹ · ha ⁻¹ ·jr ⁻¹)
<1,75 (1,72)	347	1,69	298-254	30	0,68	0,34
		1,66	254-186	310	4,56	2,28
		1,66	186-141	490	10,89	5,44
1,75-2,25 (2,25)	414	1,90	345-276	130	1,88	0,94
		1,90	276-202	300	4,05	2,03
		1,93	202-156	610	13,26	6,63
>2,25 (3,39)	469	2,58	369-284	235	2,76	1,38
		2,63	284-210	185	2,50	1,25
		2,67	210-169	790	19,27	9,63

* N-overschot incl. 48 kg·ha⁻¹·jr⁻¹ N-depositie

** vervangingsgraad 0,2 tot 0,5

⁵ Bij zomerstalvoeding hoeft het N-overschot relatief minder ver te worden verlaagd dan bij beweiding om aan de uitspoelingseis te voldoen. De kosten zouden daardoor op het eerste gezicht nog in de goedkopere trajecten vallen.

Tabel 14.1 Extra kosten van de varianten 'Gebiedstaak' en 'Grondwaternorm' ten opzichte van de wettelijke verliesnorm in 2008.

	Extensief	Gemiddeld	Intensief
Gebiedstaak			
N-overschot ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N)	173	156	196
extra kosten ($\text{f}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$)	130	223	260*
Grondwaternorm			
N-overschot ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N)	144	141	172
extra kosten ($\text{f}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$)	288	304	419*

*) Dit bedrag is samengesteld uit de kosten volgens Tabel 12, plus kosten voor overstap op zomerstalvoeding (hier gesteld op f 200 voor extra arbeid en investeringen in machines).

3.3 Biologische melkveehouderij

Omschakeling van gangbare naar biologische melkveehouderij is een mogelijkheid om de nitraatuitspoeling te reduceren. Deze paragraaf gaat in op de effecten en kosten van deze omschakeling.

3.3.1 N-overschot en potentiële N-uitspoeling

De N-overschotten in de biologische melkveehouderij zijn momenteel gemiddeld $138 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N (Tjalker 1996, voor bedrijven op zand, N-overschot inclusief depositie en biologische N binding). Dat is veel lager dan gemiddeld op de gangbare bedrijven wordt gerealiseerd. De lage N-overschotten op de biologische bedrijven worden veroorzaakt door:

- geen gebruik van kunstmest;
- minder aanvoer van mineralen met krachtvoer;
- lagere veebezetting.

Onderzoeksgegevens van nitraatuitspoeling op biologische melkveebedrijven zijn beperkt beschikbaar: Van der Werff et al. (1992) vermelden een gemiddeld N-overschot van $94 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ en een N-uitspoeling tussen 15 en $28 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ op drie gemengde bedrijven en $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ op een gespecialiseerde melkveebedrijf (alle op zandgrond). De gemengde bedrijven zijn extensief (3500 – $4300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ melk), het gespecialiseerde melkveebedrijf is intensiever met zo'n $10000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ melk. De stikstofconcentratie in het bovenste grondwater op de gemengde bedrijven lag tussen 6.3 en $16 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ N en op het gespecialiseerde bedrijf rond $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. In de berekeningen met het LP-model is aangenomen dat de potentiële N-uitspoeling onder de naar biologische melkveehouderij omgeschakelde bedrijven (met $9000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ melk) $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ N bedraagt, gelijk aan de hierboven genoemde uitspoeling bij het gespecialiseerde melkveebedrijf met $10000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ melk.

3.3.2 Kosten van maatregelen

Onderzoek van DLO-Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO) geeft aan dat biologische melkveebedrijven een 8% hogere financiële opbrengst hebben dan de gemiddelde gangbare bedrijven: tegenover hogere arbeidskosten staat een hogere

Tabel 15 Kosten van aankoop van grond voor het 'intensieve' en 'gemiddelde' bedrijfstype (respectievelijk 15000 en 12000 kg·ha⁻¹·jr⁻¹ melk) voor extensivering naar 9000 kg·ha⁻¹·jr⁻¹ melk.

Bedrijfstype	Huidig areaal* (ha)	Benodigd areaal (ha)	Aan te kopen (ha)	Grondprijs (f·ha ⁻¹)	Investeringskosten (f per bedrijf)
Extensief	19,5	19,5	0,0	-	-
Gemiddeld	26,5	35,0	8,5	50000	425000
Intensief	24,0	40,0	16,0	50000	800000

*) Huidig areaal (excl. 1 ha erf) volgens de gegevens van het onderzoeksgebied (zie Hoofdstuk 2).

melkprijs In deze vergelijking dient echter ook rekening te worden gehouden met de gemiddelde bedrijfsomvang. Biologische bedrijven kennen veelal een lagere veebezetting dan gangbare bedrijven. Indien de biologische bedrijven worden vergeleken met gangbare bedrijven met een vergelijkbaar oppervlak voedergewassen dan zijn de verschillen in gezinsinkomen verwaarloosbaar klein (Langelaan, 1997). Als de markt geen of een veel minder hoge melkprijs biedt, is de biologische melkveehouderij economisch veel minder rendabel. In de berekeningen met het LP-model wordt ervan uitgegaan dat de hogere kosten op de biologische bedrijven gecompenseerd blijven in de melkprijs. Er zijn dan dus geen lagere jaarlijkse financiële opbrengsten dan in de gangbare melkveehouderij.

Omschakeling naar biologische melkveehouderij is niet aan een overgangperiode gebonden, maar vergt doorgaans wel voorbereidende maatregelen in het voorafgaande jaar. Er is sinds 1997 een omschakelingspremie voor melkveebedrijven van f 1500 per ha, uit te keren over de eerste vijf jaar. Daar staan eenmalige kosten tegenover. De belangrijkste 'eenmalige' kostenposten van omschakeling zijn extensivering en verandering van de bedrijfsvoering. De meeste gangbare bedrijven moeten extensiveren bij een omschakeling naar biologische melkveehouderij.⁶ We gaan er van uit dat 'gemiddelde' en 'intensieve' bedrijven (§ 3.1) moeten extensiveren tot ca. 9000 kg·ha⁻¹·jr⁻¹ melk (pers. meded. K. Water, DLV, 1997). Tabel 15 geeft de kosten daarvan, uitgaande van aankoop van extra grond. Een andere mogelijkheid om te extensiveren is verleasen of verkoop van melkquotum. Deze overigens reële optie is hier niet meegenomen.

Tabel 16 Kosten (f per bedrijfstype) van overige maatregelen voor omschakeling naar biologische melkveehouderij (pers. meded. K. Water, DLV, 1997).

Maatregel	kosten
Doorzaai of herinzaai met klavermengsel*:	
extensief bedrijfstype (19.5 ha)	11960
gemiddeld bedrijfstype (wordt 35 ha)	21470
intensief bedrijfstype (wordt 40 ha)	24530
Licentie	400
Kennisontwikkeling	2000
Omschakelingsplan en begeleiding	3000
Investering machines mech. onkruidbestr. maïs (afschr. 10 j)	20000
Totaal van bovenstaande kosten per bedrijfstype:	
extensief bedrijfstype	37360
gemiddeld bedrijfstype	46870
intensief bedrijfstype	49930

*) Berekend op basis van 80% van het bedrijfsareaal grasland waarvan 2/3 wordt doorgezaaid (ca. f 400 per ha) en 1/3 wordt heringezaaid (ca. f 1500 per ha).

⁶ Uiteraard zijn er uitzonderingen, zoals een biologisch bedrijf met 17.000 kg melk/ha (Doorgeest 1996).

Tabel 17 Kosten (f per bedrijf) van omschakeling naar biologische landbouw, bij extensivering door aankoop van grond en andere maatregelen.

	Extensivering (Tabel 15)	Overige kosten (Tabel 16)	Omschake- lingspremie	Totale kosten	Totale kosten* (f·ha ⁻¹)
extensief bedrijfstype	-	37360	-29250	8100	400
gemiddeld bedrijfstype	425000	46870	-52500	419400	12000
intensief bedrijfstype	800000	49930	-60000	790000	20000

*) Totale kosten per bedrijf gedeeld door nieuwe totaal areaal (afgerond).

Naast maatregelen om te extensiveren zullen vaak ook andere veranderingen nodig zijn om te kunnen omschakelen. Welke maatregelen er getroffen moeten worden en in hoeverre deze gepaard gaan met extra kosten is sterk verschillend per bedrijf (Tabel 16). Bij omschakeling dient overigens ook rekening te worden gehouden met een opbrengstderving van gras in het eerste (en eventueel tweede) jaar na omschakeling. Ter compensatie dient een extra ruwvoervoorraad te worden aangelegd. De kosten hiervan zijn hier niet meegerekend.

De totale eenmalige omschakelingskosten variëren van f 400 tot 20000 ha⁻¹·jr⁻¹, afhankelijk van het bedrijfstype (Tabel 17).

3.4 Aangepast landgebruik

Een deel van het onderzoeksgebied bestaat uit natuur. Welke bijdrage leveren deze deelgebieden aan de nitraatuitspoeling in het gebied? En wat zijn de effecten en kosten van functieverandering binnen het gebied? In deze paragraaf worden deze vragen besproken voor natuur en een andere vorm van aangepast landgebruik.

3.4.1 Nitraatconcentratie

Onder natuur is de N-uitspoeling in veel gevallen lager dan onder landbouwgrond. De uitspoeling hangt samen met het natuurtype, de Gt en met de invang van N-depositie. Gegevens uit Boumans & Beltman (1991) geven een beeld van voorkomende gemeten nitraatconcentraties in het bovenste grondwater onder bos en heide:

naaldbossen (gemiddeld): 29,0-49,1 mg·l⁻¹ NO₃

loofbossen: 22,9-31,0 mg·l⁻¹ NO₃

heide 10,9 mg·l⁻¹ NO₃

De gemiddelde nitraatconcentratie onder naaldbos is hoger is dan onder loofbos en heide. Dit kan worden verklaard uit de grotere invang van atmosferische depositie (NH₃, NO_x) en een lager neerslagoverschot bij naaldbossen. Voor deze landgebruiksvormen en voor bebouwing (gebouwen en wegen) en water (rivieren, meren, e.d.) is in de berekeningen voor het onderzoeksgebied uitgegaan van een constante, niet van Gt-afhankelijke nitraatconcentratie (Tabel 18).

Tabel 18 Aangenomen constante nitraatconcentraties van specifieke landgebruiksvormen (zie tekst).

Landgebruik	Nitraatconcentratie (mg·l ⁻¹ NO ₃)
Extensief graan	15,0
Naaldbos	39,0
Loofbos	27,0
Heide	11,0
Bebouwing	30,4
Water	14,8

Ook andere landgebruiksvormen met een geringe nitraatuitspoeling zijn mogelijk. Als optie wordt hier een vorm van graanteelt (bijvoorbeeld gerst) gegeven met een laag bemestingsniveau en een geringe N-uitspoeling. Uiteraard zijn ook andere teelten mogelijk⁷. De werkelijke uitspoeling varieert per gewas en per teeltwijze. In de berekeningen wordt de aanname gehanteerd dat de bereikte nitraatconcentratie (Tabel 18) niet afhankelijk is van de Gt. Deze aanname is met name gedaan gezien de zeer geringe informatie omtrend de nitraatuitspoeling van deze vorm van landgebruik.

3.4.2 Kosten van aangepast landgebruik

Een mogelijke maatregel om de totale N-uitspoeling in het gebied te reduceren is omzetting van landbouwgronden in natuur of ander landgebruik met een geringe N-uitspoeling. In het navolgende worden de kosten van een dergelijke omzetting besproken. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen eenmalige en variabele (jaarlijkse) kosten.

Onder eenmalige kosten wordt hier verstaan de verwervingskosten en inrichtingskosten. Daarbij is ervan uitgegaan dat landbouwgrond wordt aangekocht en vervolgens ingericht wordt voor het nieuwe gebruik. Verwerving van grond kan door aankoop van losse kavels of door aankoop van grond via een grondbank, waarbij eventueel hele bedrijven uit het gebied verplaatst worden buiten het gebied.

Bij aankoop van losse kavels, wordt uitgegaan van een aankoopprijs van f 50000 per ha. Het areaal losse grond dat in het gebied vrijkomt is evenwel beperkt. In berekeningen over het hele gebied (zie Hoofdstuk 6) zou daarom het op die manier te verwerven aantal hectares binnen het gebied aan een maximum moeten worden gebonden. Met aankoop via een grondbank o.i.d. kunnen ook hele bedrijven worden opgekocht. Er moet dan rekening worden gehouden met 'flankerende' kosten (Oosterveld en Terwan, 1995), bijvoorbeeld afkoop van pachtrechten, overname van bedrijfsgebouwen, subsidies voor verplaatsing van bedrijven, etc. Deze kosten variëren sterk, afhankelijk van bedrijfstype en -omvang, afschrijving, etc. De flankerende kosten worden verrekend in de grondprijs. In een grove schatting komt de grondprijs dan op f 200000 per ha.

⁷ In enkele grondwaterbeschermingsgebieden vinden experimenten plaats met alternatieve teelten op landbouwbedrijven, zoals milieuvriendelijke teelt van brouwergerst en hennep in Overijssel (Waterleidingmaatschappij Overijssel, 1997).

Om de aangekochte grond geschikt te maken voor de nieuwe functie is inrichting nodig: eventueel voedselrijke bovenlaag verwijderen, aanplanten van bomen of heide. De inrichtingskosten (Tabel 19) zijn gebaseerd op Laeven et al. (1995). De variabele kosten omvatten het beheer van het bos of de heide (of schraal grasland). Ook voor deze bedragen baseren we ons op Laeven et al. (1995; Tabel 19).

Tabel 19 Kosten van inrichting en jaarlijks beheer (naar Laeven et al. 1995).

Omzetting van landbouwgronden naar:	Inrichtingskosten (f ha ⁻¹)	Beheerskosten (f ha ⁻¹ jaar ⁻¹)
Bos		1000 (400-1500)
verwijdering bouwvoor	5000	
aanplant bos	7000 (4000-10000)	
Heide en schraalgrasland	6000	400

In de vorige paragraaf is vermeld dat de nitraatconcentratie onder loofbos lager is dan onder naaldbos. Uit oogpunt van vermindering van N-uitspoeling kan het dus zinvol zijn om naaldbos om te zetten in loofbos. Deze 'verloofing' vergt een investering van ca. f 1500 per ha (variërend van f 0 tot 3000 per ha). Deze omzetting kan vanwege de opbrengst van naaldhout -en op termijn ook loofhout- ook kostenneutraal uitpakken. De beheerskosten van loofbos zijn ca. f 100 per ha per jaar hoger dan van naaldbos.

Omzetting van landbouwgrond naar een teelt met geringe N-uitspoeling (bijv. graan of hennep) vergt geen extra inrichtingskosten, de bovengrond hoeft immers niet te worden verwijderd. De teelt kan, met afspraken over stikstofbemesting of -overschot, worden verzorgd door landbouwbedrijven in het gebied. De kosten zijn afhankelijk van gewas en inpasbaarheid in de bedrijfsvoering (bijvoorbeeld gebruiksmogelijkheid als ruwvoer of juist de noodzaak om meer ruwvoer aan te kopen). Als stimulerings- of risicobijdrage wordt vooralsnog uitgegaan van variabele kosten van 200 f·ha⁻¹·jaar⁻¹. Bij de bepaling van deze kosten zijn eventuele positieve financiële opbrengsten van het oorspronkelijke landgebruik niet meegerekend. Met name voor gespecialiseerde bedrijven (zoals teelt van gladiolen, aardappels) kunnen deze opbrengsten hoog zijn. De genoemde 200 f·ha⁻¹·jaar⁻¹ dient daarom als een voorlopige, minimale, schatting gezien te worden.

3.5 Neerslagoverschot

De bijdrage van de potentiële N-uitspoeling onder de verschillende vormen van landgebruik en uit de verschillende deelgebieden is mede afhankelijk van het neerslagoverschot. Tabel 20 vermeldt de neerslagoverschotten zoals die gemiddeld in Nederland gelden. Deze cijfers kunnen lokaal en per teeltmethode afwijken.

Tabel 20 Neerslagoverschot per landgebruiksvorm

	Neerslagoverschot (mm per jaar)	Bron
Melkveehouderij		
gras	311	Van Drecht 1993
maïs	376	“
Natuur		
loofbos	362	Gehrels & Dolman 1996
licht naaldbos	331	“
donker naaldbos	129	“
heide	500	“
Aangepast landgebruik		
graan	450	“
Buiten landbouw/natuur		
bebouwing	700	eigen schatting
water	300	eigen schatting

4 Het Lineaire Programmeringsmodel

Dit hoofdstuk beschrijft de achtergrond, de aannames en de formules in het LP-model. Aanhangsel 4 geeft een beschrijving van de EXCEL versie van het LP-model. Na een korte inleiding over wat lineaire programmering (LP) inhoudt (§ 4.1) wordt de opzet van het gebruikte LP-model uitgelegd (§ 4.2). Daarbij wordt eerst het systeem geanalyseerd dat beschreven moet worden door het LP-model (§ 4.2.1), waarna ingegaan wordt op de vertaling van systeemkenmerken in doelfunctie (§ 4.2.2), randvoorwaarden (§ 4.2.3) en de effecten van de verschillende varianten (§ 4.2.4).

4.1 Introductie

Lineaire programmering (LP) is een veelgebruikte methodiek voor het analyseren van keuzes betreffende het gebruik van hulpbronnen, ook in de landbouw (Hazell & Norton, 1986). Met LP is het mogelijk om de optimale combinatie aan te geven van activiteiten waarmee hulpbronnen omgezet worden in gewenste en ongewenste producten: namelijk die combinatie die het meeste bijdraagt aan het gestelde doel zonder daarbij de gestelde randvoorwaarden te overschrijden. Een typisch LP-model bevat dan ook alternatieve activiteiten, randvoorwaarden en doelfunctie.

Alternatieve activiteiten

Deze geven een kwantitatieve beschrijving van verschillende manieren om (gedeeltelijk) dezelfde hulpbronnen te gebruiken om (gedeeltelijk) dezelfde producten te genereren. Er zijn bijvoorbeeld verschillende manieren om aardappels op een bepaald perceel te verbouwen:

1. met gebruik van veel kunstmest, fungiciden en een hoogproducerend, *Phytophthora* gevoelig ras dat bij een bepaalde inzet van kapitaal en arbeid leidt tot een bepaalde productie van aardappels maar ook tot een bepaalde milieubelasting in termen van uitspoeling van nitraat en fungiciden.
2. gebruik van een ras dat minder gevoelig is voor *Phytophthora*, daardoor minder fungiciden nodig heeft, en bij eenzelfde hoeveelheid kunstmest een iets lagere productie aan aardappels heeft, minder uitspoeling van fungiciden en eenzelfde uitspoeling van nitraat
3. als 2. maar dan met minder kunstmest, leidende tot een vermindering van de aardappelproductie maar ook tot minder nitraatuitspoeling.

Randvoorwaarden

Hiermee worden de grenzen aangegeven van de hoeveelheid van elke hulpbron die gebruikt kan worden, maar ook aan de hoeveelheid van bepaalde gewenste of ongewenste producten die gegenereerd worden door de activiteiten (b_i). Op bedrijfsniveau kan zo bijvoorbeeld vastgezet worden dat het totale gebruik van arbeid nooit hoger kan zijn dan het aantal uren arbeid dat beschikbaar is. Van alle activiteiten (j), in dit geval de verschillende manieren waarop verschillende gewassen bebouwd kunnen worden, moet dan beschreven worden hoeveel ze van welke hulpbron gebruiken of van welk ongewenste product produceren (a_{ij}) per eenheid van de activiteit, bijvoorbeeld het aantal uren arbeid dat per ha nodig is. In mathematische termen worden randvoorwaarden beschreven als:

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} \cdot X_j) (\leq, =, \geq) b_i \text{ voor alle } i = 1 \text{ tot/met } m \quad (1)$$

waarin: i = hulpbron of product i ; m = totaal aantal hulpbronnen of producten die beschouwd worden; b_i = grens aan het gebruik van hulpbron i of aan de productie van product i ; a_{ij} = hoeveelheid van hulpbron of product i per eenheid van activiteit j ; X_j = het aantal eenheden (bijv. ha) van activiteit j ; n = het maximum aantal verschillende activiteiten dat is beschreven; \cdot ($\leq, =, \geq$) = aanduiding van het type randvoorwaarde van b_i ; een maximum, een absolute waarde of een minimum.

Doelfunctie

Hierin staat de mathematische formulering van het gewenste doel. Dit kan zijn het minimaliseren, of maximaliseren, of gelijk maken aan een bepaalde waarde van een bepaald product (gewenst of ongewenst) van activiteiten. Te denken valt bijvoorbeeld aan maximalisering van inkomsten gegenereerd door activiteiten; minimalisering van vervuiling als gevolg van de activiteiten. In LP-modellen kan slechts één doelfunctie tegelijkertijd geoptimaliseerd worden. Het is dus niet mogelijk om tegelijk inkomens te maximaliseren en de vervuiling te minimaliseren. Wel kan één van de twee geoptimaliseerd worden terwijl de ander als randvoorwaarde meegenomen wordt, zodat bijvoorbeeld aangegeven wordt hoe inkomens te maximaliseren zonder een bepaalde norm voor vervuiling te overschrijden.

Als sterk versimpeld voorbeeld: op bedrijfsniveau worden de nettoinkomsten van iedere activiteit j (gewas-management-combinatie) gegeven als een bepaald bedrag per ha (c_j). Per activiteit zijn dan de totale netto inkomsten gelijk aan het aantal ha (X_j) waarop die activiteit plaatsvindt vermenigvuldigd met de inkomsten per ha. Het totale netto bedrijfsinkomen kan dan beschreven worden als de som van de totale netto inkomsten per gewas/management-combinatie. Deze kan gemaximaliseerd worden door die combinatie van gewassen en managementtechnieken te kiezen waarmee de hoogste netto inkomsten verkregen worden, zonder dat de randvoorwaarden overschreden worden. Zo moet bijvoorbeeld het aantal benodigde arbeidsuren niet groter zijn dan wat de arbeidskrachten op het bedrijf kunnen leveren.

In mathematische termen kan de doelfunctie beschreven worden als:

$$\text{Maximaliseer of Minimaliseer } Z = \sum_{j=1}^n (c_j \cdot X_j) \quad (2)$$

waarin: Z = de inkomsten, kosten e.d. van het bedrijf; c_j = de inkomsten gegenereerd, kosten gemaakt e.d. per eenheid van activiteit j ; X_j = het aantal eenheden (bijv. ha) van activiteit j ; n = het maximum aantal verschillende activiteiten dat is beschreven.

Het gaat buiten het kader van dit rapport om aan te geven hoe wiskundig gezien de feitelijke zoektocht naar het optimum plaatsvindt. De geïnteresseerde lezer wordt verwezen naar de literatuur (bijvoorbeeld Hazell & Norton, 1986).

4.2 Opzet van het gebruikte LP-model

4.2.1 Inleiding

De vraag die met het LP-model beantwoord dient te worden is 'welke zijn de minimale kosten die gemaakt moeten worden in een bepaalde regio om de landbouwkundige bedrijfsvoering zodanig aan te passen dat de gemiddelde regionale en/of gemiddelde bedrijfsnitraatconcentratie in het bovenste grondwater maximaal gelijk is aan een bepaalde norm?'

Om een LP-model te kunnen maken dat deze vraag binnen een redelijke marge van betrouwbaarheid kan beantwoorden, is het nodig om het systeem te analyseren dat door dat LP-model nagebootst dient te worden. Bij die analyse dient bekeken te worden hoe de realiteit versimpeld kan worden naar de mathematische termen van een LP-model. De keuze van de software waarin het model geschreven wordt heeft gevolgen voor de opzet van het LP-model, met name vanwege de software-specifieke beperkingen aan de grootte van het model. Voor deze studie is gekozen om het LP-model te schrijven in het spreadsheet programma EXCEL (versie 5 en hoger) van Microsoft, waarbij gebruik gemaakt wordt van de in EXCEL ingebouwde programmatuur voor lineaire optimalisatie. Voor EXCEL is gekozen omdat een model in een spreadsheet relatief overzichtelijk voor gebruikers is, o.a. doordat veel (potentiële) gebruikers wel met spreadsheets om kunnen gaan maar niet met specifieke LP-software. Daarnaast speelde mee dat bij de opdrachtgever(s) geen specifieke LP-software beschikbaar was waardoor zelfstandig gebruik door de opdrachtgever(s) zelf van een LP-model in een dergelijke taal niet mogelijk zou zijn.

Bij de analyse zal met name gekeken worden naar de factoren die bijdragen aan verschillen in nitraatconcentratie binnen de regio. Daarnaast dient het model mogelijkheden te geven om bepaalde beleidsopties door te rekenen.

Factoren die van invloed zijn op de nitraatconcentratie en op eventuele mogelijkheden (en kosten daarvan) om deze terug te dringen, zijn te scheiden in vier belangrijke groepen:

- landgebruik
- invloeden van buiten het directe landgebruik
- bodem en grondwater
- locatie binnen het gebied

4.2.1.1 Landgebruik

Algemeen

Zowel het soort landgebruikstype (gewas, natuur e.d.) als het management ervan heeft effect op de nitraatuitspoeling: beide hebben invloed op de hoeveelheid stikstof die op het land komt, de efficiëntie waarmee de stikstof opgenomen wordt, de resulterende hoeveelheid stikstof die overschiet en de hoeveelheid (regen + beregenings)water die na aftrek van verdamping (en oppervlakkige afstroming) beschikbaar blijft voor aanvulling van het grondwater. In feite zijn alle percelen (en in zekere zin alle delen van percelen) te beschouwen als unieke situaties, omdat

nergens anders dezelfde specifieke combinatie van landgebruikstype en management voor zal komen.

Naast het feit dat er geen LP-model te maken is waarin elke unieke situatie meegenomen wordt, is het door gebrek aan informatie onmogelijk om de nitraatconcentratie voor elke specifieke situatie te kwantificeren. Er moet dus overgegaan worden tot groepering en schematisatie van die unieke situaties in eenheden die nog als redelijk homogeen te beschouwen zijn, en die op basis van een aantal relatief simpel te verkrijgen kenmerken te onderscheiden zijn. Het eenvoudigste is om alle gebieden met eenzelfde landgebruik als identiek te zien. Deze benadering kan waarschijnlijk wel gevolgd worden voor groepen van landgebruik waarbij slechts weinig variatie bestaat in stikstofaanvoer. Dit betreft met name verschillende typen bossen (naald en loof), verschillende typen open natuur (schraalgraslanden, heide), bebouwing en water. Voor landbouwgewassen is echter de variatie in stikstofaanvoer en de daarmee veroorzaakte nitraatconcentratie in het grondwater binnen een eenzelfde type landgebruik (gras, maïs e.d.) te groot. Een groot deel van die variatie kan beschreven worden door uit te gaan van bedrijfstypen die verschillen in de intensiteit van het gebruik van externe hulpbronnen.

Op melkveebedrijven blijkt het totale stikstofoverschot per bedrijf en de verdeling ervan over de arealen gras en maïs af te hangen van de hoeveelheid geproduceerde melk per ha en de manier waarop die productie bereikt wordt: met name de veedichtheid, het beweidingsregime en de mate van bijvoeding van het vee met krachtvoerders spelen hierbij een rol. Een indeling van bedrijfstypen op basis van de intensiteit van melkproductie per ha lijkt voor de hand te liggen aangezien de manier van produceren (het management) en de mogelijkheden tot verandering van het management voor een groot deel afhangen van die intensiteit van produceren. Zo zullen extensieve bedrijven vaker een beweidingssysteem hebben waarbij de koeien onbeperkt kunnen grazen, terwijl in de intensievere systemen vaker een beperkt beweidingssysteem wordt gekozen.

Voor de bedrijven zonder melkvee is in principe ook een onderverdeling naar verschillende typen te maken: op basis van het aantal varkensplaatsen, het areaal tuinbouwgewassen, het bouwplan en bereikte productieniveau, etc.

Per bedrijfstype moet het landgebruik beschreven worden. Dit moet zoveel mogelijk aansluiten bij de praktijk. In varianten kan het landgebruik veranderen. Let wel, dat de beschreven bedrijfstypen betrekking hebben op de bestaande situatie, en dat de varianten die per bedrijfstypen beschreven worden ook de verandering beschrijven ten opzichte van de bestaande situatie.

Uitwerking in LP-model

In verband met de korte termijn waarop het project moest leiden tot een prototype van de rekenprocedure, en de nadruk op de ontwikkeling van de methodiek, is besloten om slechts enkele bedrijfstypen te onderscheiden, en met name aandacht te besteden aan melkveesystemen.

Een eerste onderscheid is gemaakt tussen agrarische bedrijfstypen en niet-agrarische 'bedrijfstypen'. Die laatste groep is verdeeld in 'bedrijfstypen' die verschillend zijn in nitraatuitspoeling en mogelijkheden tot vermindering ervan:

- naaldbossen (met de mogelijkheid tot omzetting in loofbossen),
- loofbossen (geen verandering mogelijk),

- ‘open natuur’ (heide, schraalgraslanden, zandverstuivingen e.d.; geen verandering mogelijk),
- bebouwing (wegen, huizen; geen verandering mogelijk) en
- water (beken, meren, e.d.; geen verandering mogelijk).

Het woord ‘bedrijfstype’ is natuurlijk een onjuiste aanduiding voor, met name, bebouwing en water, maar moet hier gezien worden in de functionaliteit van het LP-model: het beschrijft een bepaalde bestaande vorm van landgebruik waaraan een bepaalde nitraatuitspoeling kan worden gekoppeld, en waarvoor bepaalde mogelijkheden tot verandering kunnen worden beschreven.

Het agrarische deel van het proefgebied kan verdeeld worden in gebieden met ‘bekende’ en met ‘onbekende’ bedrijven (§ 2.4.1). De ‘bekende’ bedrijven liggen in het grondwaterbeschermingsgebied, en kunnen op basis van twee informatie-bronnen beschreven worden:

- bedrijfsgegevens: o.a. ligging van percelen, met een aanduiding of die onder agrarisch landgebruik vallen of niet, en aantallen en typen van dieren (melkvee, varkens, kippen e.d.);
- satellietbeelden van landgebruik (gedigitaliseerd in het LGN2-bestand): maïs, gras, overig landgebruik.

Van de ‘onbekende’ bedrijven, die buiten het grondwaterbeschermingsgebied liggen, was voor dit onderzoek alleen het LGN2-bestand bekend, en is dus niet bekend over hoeveel bedrijven het gaat en waar individuele bedrijven gelegen zijn. Bij de groep ‘bekende’ bedrijven is het mogelijk om voor elk individueel bedrijf te bepalen hoeveel areaal het heeft bij elke bodemeenheid-Gt-combinatie (§ 2.5). Voor de groep ‘onbekende’ bedrijven kan dit alleen voor het totaal van de groep, en dus niet voor individuele bedrijven. Bij de ‘bekende’ bedrijven is het verder mogelijk om een aanduiding te krijgen van het type bedrijf: allereerst of er melkvee aanwezig is of niet, en zo ja wat dan de intensiteit van productie is, uitgedrukt in het aantal eenheden melkvee per ha. Voor de ‘onbekende’ bedrijven is het alleen mogelijk om de relatieve verdeling van het type landgebruik (maïs, gras, overig bouwland) te bepalen (§ 2.4.1), maar is het onbekend hoe intensief dit type landgebruik gemanaged wordt.

Bij de ‘bekende’ bedrijven zijn de bedrijven met melkvee verdeeld in drie bedrijfstypen (§ 3.1): extensief, gemiddeld en intensief. Alle bedrijven zonder melkvee zijn samengevoegd in één enkel bedrijfstype. Hiermee wordt geen recht gedaan aan de verscheidenheid aan bedrijven binnen die groep, en de aan het bedrijfstype gerelateerde verschillen in nitraatuitspoeling en kosten van vermindering ervan. Bij toepassing van de methodiek om een reële inschatting te maken van de kosten in een reëel gebied zal dan ook aandacht besteed moeten worden aan het onderscheiden van bedrijfstypen in de ‘niet-melkvee’ bedrijven. Bij de ‘onbekende’ bedrijven zijn eigenlijk geen bedrijfstypen te onderscheiden, en is het hele gebied in feite te beschouwen als één groot bedrijf. De kosten van veranderingen van het landgebruik kunnen echter sterk variëren tussen de bedrijfstypen (Hoofdstuk 3). Daarom is het voor een betere inschatting van de kosten van terugdringing van de nitraatconcentratie in dit ‘onbekende’ gebied nodig om een schatting te maken van de verdeling van het areaal ervan over de verschillende bedrijfstypen. In het LP-model is dit gedaan door aan te nemen dat de vier agrarische bedrijfstypen met een bepaalde fractie voorkomen en dat elk plotje (unieke combinatie van bodemeenheid en Gt)

binnen het 'onbekende' gebied diezelfde fractionele verdeling van bedrijfstypen heeft. Bij de berekeningen (Hoofdstuk 5) is aangenomen dat binnen het 'onbekende' gebied wat betreft oppervlakte eenzelfde verdeling aan bedrijfstypen optreedt als in het 'bekende' gebied. Het LP-model is echter zo opgezet dat deze aanname simpel te veranderen is.

Voor de melkveebedrijven is aangenomen (Hoofdstuk 3) dat 20% van het bouwland onder maïs komt en de overige 80% onder gras. Dit wijkt slechts voor een klein deel af van het waargenomen landgebruik (§ 2.4.1). Aannames over de resulterende potentiële uitspoeling van stikstof en over het neerslagoverschot staan in Hoofdstuk 3. Voor het type 'zonder melkvee' is het waargenomen landgebruik gebruikt (het LGN2-bestand), met 54% gras, 38% maïs, 8% overig bouwland. In het LP-model is dit landgebruik simpel aan te passen. Voor gras en maïs wordt dezelfde potentiële stikstof uitspoeling aangenomen als voor deze gewassen in de extensieve veehouderij, variant 'wettelijke verliesnorm 2008', namelijk 62 en 112 kg·ha⁻¹·jr⁻¹ N. Voor het 'overige bouwland' is een bouwplan aangenomen met 25% consumptieaardappelen, 25% suikerbieten en 50% wintertarwe, waarbij 66% van de totale N-gift uit dierlijke mest (vleesvarkensdrijfmest) komt en op de bieten en aardappelen wordt gebruikt. De daarbijbehorende potentiële stikstofuitspoeling wordt door Buijze & Biewinga (1995; Tabel 2, p. 128) geschat op 73 kg·ha⁻¹·jr⁻¹ N bij een neerslagoverschot van 439 mm·jr⁻¹ (schatting D. Jansen). Dit is waarschijnlijk een zeer optimistische inschatting van het gemiddelde bouwplan in het onderzoeksgebied. Ook hier geldt weer dat de aannames snel te veranderen zijn in het LP-model.

4.2.1.2 Invloeden van buiten het directe landgebruik

Algemeen

De nitraatconcentratie in een gebied is gerelateerd aan het stikstofoverschot in het gebied en aan de hoeveelheid water waarmee dat stikstof overschot verdund kan worden (het neerslagoverschot). Het stikstofoverschot wordt o.a. bepaald door de hoeveelheid kunstmest en organische mest die op het land gebracht wordt en het type gewas waar dit op gebeurt, maar ook door de depositie van stikstof vanuit de atmosfeer. Deze hangt vaak sterk af van de (landbouwkundige) activiteiten in of rond het gebied zelf, bijvoorbeeld of er veel varkensbedrijven zijn met hoge ammoniak emissies. Ze kan variëren van gebied tot gebied, en zelfs van subgebied tot subgebied. Het neerslagoverschot is het verschil tussen neerslag en verdamping door bodem en gewas/vegetatie. Zowel neerslag als verdamping (van elk gewas of vegetatie) kunnen verschillen tussen regio's, en daarmee kan het neerslagoverschot dus ook verschillen tussen regio's.

Uitwerking in LP-model

In het LP-model wordt alleen in de karakteristieken van de verschillende varianten rekening gehouden met regiospecifieke stikstofdepositie en neerslagoverschotten (Hoofdstuk 3). Voor regio's waarvoor andere getallen gelden dan voor dit onderzoek is aangenomen, zullen effecten van varianten op het stikstof- en neerslagoverschot opnieuw bepaald dienen te worden. Verschillen tussen subgebieden binnen een regio kunnen meegenomen worden door aparte varianten te bepalen voor bedrijfstypen die qua management hetzelfde zijn, maar verschillen wat betreft invloeden van buiten. Hiertoe moet dan ook bij de onderscheiding van bedrijfstypen niet alleen gekeken worden naar het management, maar ook naar de subregio waarin ze liggen.

Dergelijke subregio's kunnen aaneengesloten gebieden betreffen, bijvoorbeeld één subgebied aan de loef-zijde en een ander aan de lij-zijde van een heuvelrug, maar ook combinaties van geïsoleerde gebiedjes, zoals alle gebieden binnen een bepaalde straal rondom een emissie-bron. In het huidige model is aangenomen dat er geen subregionale verschillen zijn in invloeden van buiten.

4.2.1.3 Bodem en grondwater

Algemeen

Nitraatuitspoeling is sterk gerelateerd aan de dynamiek en de diepte van de grondwaterspiegel (zie Goossensen & Meeuwissen, 1990; Boumans et al., 1989; Drecht et al., 1991). Het effect van specifieke bodemeenheden is minder eenduidig, maar met name het organische stofgehalte van de bodems zou een differentiërende factor kunnen zijn.

Uitwerking in LP-model

Per unieke combinatie van bodemeenheid en Gt is in het LP-model een correctiefactor opgenomen waarmee voor elk bedrijfstype de potentiële nitraatuitspoeling gereduceerd wordt om het effect van denitrificatie mee te nemen. Verschillende correctiefactoren zijn in de literatuur beschreven (Drecht et al., 1991, Tabel 42), waarbij alleen de Gt als differentiërende factor wordt meegenomen. In het huidige model zijn de correctiefactoren van de 'Commissie Stikstof' (Goossensen & Meeuwissen, 1990) overgenomen. Indien nieuwe inzichten zich aandienen zijn deze getallen te vervangen.

4.2.1.4 Locatie binnen het gebied

Algemeen

In een aantal gevallen kunnen randvoorwaarden die aan een deel van het gebied gesteld worden afwijken van de rest van het gebied. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer in bepaalde delen van het intrekgebied een drinkwaterwingebied strengere normen voor nitraat moeten gelden dan in andere delen. Ook kan het zijn dat bepaalde beleidsopties in sommige subgebieden interessanter zijn dan in andere subgebieden. Omzetting van landbouwgrond in natuur bijvoorbeeld kan beter plaatsvinden in subgebieden die aansluiten bij al bestaande gebieden met bos of open natuur, dan dat er hier en daar wat plukjes nieuwe natuur worden geschapen. Ook kan het zijn dat om pragmatische redenen gekozen wordt om het beleid te richten op bepaalde subgebieden, bijvoorbeeld specifieke bedrijven (omdat de eigenaar bijvoorbeeld geen opvolger heeft) of groepen van bedrijven die een simpel te registreren kenmerk gemeenschappelijk hebben waardoor het formuleren van specifieke maatregelen versimpeld kan worden (bijvoorbeeld door beleid te richten op bedrijven die een groot percentage van hun landbouwgrond op de droogste gronden hebben).

Uitwerking in LP-model

Om te laten zien hoe er omgegaan kan worden met subregio's binnen een groter gebied, zijn binnen de groep 'bekende bedrijven' (waarbinnen de drie typen melkveebedrijven en de bedrijven 'zonder melkvee') bedrijfstypen onderscheiden naar het fractie droge grond van het bedrijfsareaal (§ 2.4.3). In twee scenario's (Hoofdstuk 5)

worden als beleidsmaatregel de bedrijven met voornamelijk drogere gronden omgezet in schraalgrasland, waarbij dan gekeken wordt in hoeverre andere bedrijven alsnog kosten moeten maken zodat het gebied voldoet aan de regionale norm.

4.2.2 Doelfunctie

Als doelfunctie is gekozen om de totale jaarlijkse regionale kosten die gemaakt dienen te worden ten opzichte van de variant 'Wettelijke verliesnorm 2008' te minimalizeren:

$$\text{Minimalizeer } C_r = \sum_{t=1}^{nrt} \{ X_t \cdot \sum_{v=1}^{ntv} (f_{tv} \cdot C_{tv}) \} \quad (3)$$

met: C_r = totale jaarlijkse kosten in de regio ($f \text{ jr}^{-1}$); C_{tv} = kosten per ha per variant v per bedrijfstype t ($f \text{ ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$); X_t = totaal areaal onder bedrijfstype t (ha); f_{tv} = fractie van het areaal van bedrijfstype t onder variant v ; nrt = totaal aantal bedrijfstypen in de regio; ntv = totaal aantal varianten in bedrijfstype t .

De keuze van deze doelfunctie impliceert het toegestaan van het 'opofferen' van sommige bedrijfstypen, of delen ervan, ten gunste van de rest van de landbouwkundige bedrijven. Vanuit bedrijven gezien is zo'n opoffering niet altijd de meest gewenste oplossing. Voor een externe financier die de gemaakte totale kosten op zich moet nemen kan het echter wel de meest efficiënte oplossing zijn. Zo'n conflict kan betekenen dat het niet mogelijk is om de berekende optimale situatie ook werkelijk te implementeren. De werkelijke kosten die in een reële situatie gemaakt dienen te worden kunnen dan ook (veel) hoger zijn dan wat door het model wordt uitgerekend.

4.2.3 Randvoorwaarden

In het LP-model is het mogelijk om randvoorwaarden te zetten op verschillende niveaus binnen het landgebruikstelsel in de afgeperkte regio: regio, subregio en bedrijfstype. Hiermee wordt het mogelijk om verschillen tussen verschillende subregio's of bedrijfstypen binnen bepaalde grenzen te houden of juist gewenste verschillen te accentueren. Dit maakt het model flexibeler in het gebruik dan wanneer alleen op regionaal niveau randvoorwaarden gezet zouden kunnen worden. Met uitzondering van de randvoorwaarden die gesteld worden aan de waarden waarbinnen de arealen onder de verschillende varianten dienen te vallen (zie hieronder) geldt dat elke randvoorwaarde te deactiveren is door de waarde van de limiet (of norm) heel hoog te maken. Het is dus mogelijk om in berekeningen een aantal specifieke randvoorwaarden wel en andere randvoorwaarden niet mee te nemen.

4.2.3.1 Regionaal niveau

Terugdringing van de regionale nitraatconcentratie in het bovenste grondwater is één van de doelstellingen van het werk waar het LP-model bruikbaar voor dient te zijn. Deze doelstelling is in het LP-model vertaald door het zetten van een randvoorwaarde waaraan de berekende regionale nitraatconcentratie moet voldoen. Ook is er een

randvoorwaarde gezet aan de gemiddelde kosten die maximaal over de hele regio gemaakt mogen dienen te worden om die nitraatconcentratie terug te dringen.

Nitraatconcentratie

De gemiddelde nitraatconcentratie van het bovenste grondwater in de gehele regio (N_r ; $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) wordt berekend als het totale effectieve nitraatoverschot van de gehele regio (NI_r ; $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$) gedeeld door het total neerslagoverschot van de gehele regio (P_r ; $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$). Hiermee vindt een weging plaats naar volume water dat beïnvloed wordt in plaats van de voor waterkwaliteit foutieve weging naar landoppervlakte:

$$N_r = 1000 \cdot \frac{NI_r}{P_r} = 1000 \cdot \frac{\sum_{t=1}^{nrt} NI_t}{\sum_{t=1}^{nrt} P_t} \quad (4)$$

met: 1000 = conversie van kg m^{-3} naar $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$; NI_t = effectief nitraatoverschot voor totale areaal van bedrijfstype t ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1} \text{NO}_3$); P_t = neerslagoverschot voor totale areaal van bedrijfstype t ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$).

Vanwege specifieke eisen die de LP programmering stelt, is er geen directe randvoorwaarde te stellen aan N_r . Wel kan een zodanige limiet gezet worden aan de hoeveelheid nitraat die jaarlijks uitspoelt per ha dat N_r maximaal gelijk wordt aan de gestelde norm \mathcal{N}_r . Dit wordt bereikt door NI_r maximaal gelijk te laten worden aan het resultaat van de vermenigvuldiging met het totale neerslagoverschot in de regio met de norm:

$$NI_r \leq \frac{\mathcal{N}_r \cdot P_r}{1000} \quad (5)$$

Kosten

De gemiddelde jaarlijkse kosten per ha voor de gehele regio (K_r ; $f \cdot \text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$; gewogen naar areaal, eventueel met inbegrip van niet veranderbare delen van het gebied zoals open natuur, bebouwing e.d.) dienen beneden een vrij te kiezen norm \mathcal{K}_r te blijven:

$$K_r \leq \mathcal{K}_r \quad (6)$$

De gemiddelde kosten per ha worden berekend als de totale kosten over het gehele gebied gedeeld door het totale areaal in het gebied:

$$K_r = \frac{C_r}{\sum_{t=1}^{nrt} X_t} \quad (7)$$

Neerslagoverschot

Het gemiddelde regionale neerslagoverschot (P_r ; $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$) dient minimaal gelijk te zijn aan de vrij te kiezen norm \mathcal{P}_r :

$$P_r \geq \mathcal{P}_r \quad (8)$$

Het gemiddelde regionale neerslagoverschot (P_r) is het naar oppervlak gewogen gemiddelde van alle bedrijfstypen in de regio:

$$P_r = \frac{\sum_{t=1}^{nrt} P_t}{\sum_{t=1}^{nrt} X_t} \quad (9)$$

4.2.3.2 Subregionaal niveau

Vaak is het zinvol om binnen de regio subgebieden te onderscheiden waarvoor specifieke randvoorwaarden kunnen worden gesteld. Zo zouden bijvoorbeeld voor het subgebied van de 1- of 10-jaarszone van een intrekgebied van een waterwinning strakkere nitraatnormen gehanteerd kunnen worden dan voor de rest van het gebied.

Bij eenzelfde bedrijfsvoering is de nitraatuitspoeling hoger op gronden met een dieper grondwater. Het kan dan zijn dat het kosteneffectiever is om beleid juist te richten op bedrijven die een groot deel van hun areaal op dat soort gronden heeft. Om effecten van dit soort situatiespecifieke beleid te kunnen berekenen, zou in het model onderscheid gemaakt dienen te kunnen worden naar bedrijfstypen die niet alleen onderscheiden zijn op management, maar ook op bodemkundige kenmerken.

Ook kan het zijn dat bepaalde opties om nitraatuitspoeling terug te dringen alleen in bepaalde subgebieden wenselijk geacht worden. Zo zou bijvoorbeeld het omzetten van landbouwgronden in natuur (bos, hei of schraalgraslanden) alleen wenselijk kunnen zijn in die gebieden die aansluiten op bestaande natuurgebieden. In het model zou het dus mogelijk moeten zijn om aan bepaalde bedrijfstypen, die onderscheiden zijn zowel naar management als naar geografische ligging in het gebied, andere varianten aan te bieden dan andere bedrijfstypen.

Om bovenstaande mogelijk te maken zijn de volgende randvoorwaarden in het model opgenomen:

Nitraatconcentratie

De gemiddelde nitraatconcentratie van de subregio N_s dient beneden de vrij te kiezen norm \mathcal{N}_s te blijven. Net als bij het regionale niveau, is dit niet direct in een randvoorwaarde te vertalen, maar gebeurt dit via een randvoorwaarde op de totale hoeveelheid nitraat die binnen de subregio uitspoelt (NI_s ; $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$) ten opzichte van het regionale neerslagoverschot (P_s ; $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$):

$$NI_s \leq \frac{\mathcal{N}_s \cdot P_s}{1000} \quad \text{voor alle } s = 1 \text{ tot/met } nrs \quad (10)$$

waarin: nrs = totaal aantal subregio's in de regio

Daarbij geldt:

$$N_s = 1000 \cdot \frac{NI_s}{P_s} = 1000 \cdot \frac{\sum_{t=1}^{nst} NI_t}{\sum_{t=1}^{nst} P_t} \quad (11)$$

waarin: nst = aantal bedrijfstypen in subregio s

Kosten

De gemiddelde kosten per ha voor de subregio (K_s ; $f \text{ ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$; gewogen naar areaal) dienen beneden een vrij te kiezen norm \mathcal{K}_s te blijven:

$$K_s \leq \mathcal{K}_s \quad \text{voor alle } s = 1 \text{ tot/met } nrs \quad (12)$$

met de kosten per ha van de verschillende varianten op de verschillende bedrijfstypen gewogen naar areaal:

$$K_s = \frac{\sum_{t=1}^{nst} \{X_t \cdot \sum_{v=1}^{ntv} (f_{tv} \cdot C_{tv})\}}{\sum_{t=1}^{nst} X_t} \quad (13)$$

Neerslagoverschot

Het gemiddelde subregionale neerslagoverschot (P_s ; $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$) dient minimaal gelijk te zijn aan de vrij te kiezen norm \mathcal{P}_s :

$$P_s \geq \mathcal{P}_s \quad \text{voor alle } s = 1 \text{ tot/met } nrs \quad (14)$$

Het gemiddelde subregionale neerslagoverschot (P_s) is het naar oppervlak gewogen gemiddelde van alle bedrijfstypen in de subregio:

$$P_s = \frac{\sum_{t=1}^{nst} P_t}{\sum_{t=1}^{nst} X_t} \quad (15)$$

4.2.3.3 Bedrijfstype niveau

In het huidige model is aangenomen dat de verschillende gewassen in een regelmatige vruchtwisseling op alle plots (i.e. bodemeenheid-Gt-combinaties) van het bedrijfstype terecht komen. Dit is mede vanwege de pragmatische reden om de grootte van het model binnen de grenzen van het mogelijke in EXCEL te houden. Wanneer een bedrijfstype (gedeeltelijk) overgaat van een bepaalde variant op een andere, is aangenomen dat deze verandering op elke bodemeenheid-Gt-combinatie van het bedrijfstype percentueel even sterk is. Het LP-model kan dus niet zelf bepalen wat het optimale landgebruik is op de verschillende combinaties van bodemeenheid en Gt. Daarmee is het niet nodig om specifieke randvoorwaarden te zetten betreffende de verdeling van het areaal over de verschillende vormen van landgebruik.

Wel zijn randvoorwaarden nodig om er voor te zorgen dat de fractie van het areaal dat door een bepaalde variant ingenomen wordt niet beneden 0 komt (een negatief areaal bestaat niet) noch boven 1 (er is niet meer dan 100% van het areaal beschikbaar). Daarnaast dient de som van het areaal over de verschillende varianten gelijk te zijn aan het totale areaal van het bedrijfstype, zodat niet een deel van het bedrijfstype zonder variant komt te zitten, terwijl ook niet meer grond gebruikt kan

worden dan er beschikbaar is bij het bedrijfstype. Zowel het uit bedrijf nemen van landbouwgrond als het aankopen van extra grond zijn namelijk al in varianten beschreven.

Indien verder alleen regionale en/of subregionale randvoorwaardes gesteld worden, is het is zeer wel mogelijk dat de optimale oplossing volgens het LP-model inhoudt dat de bedrijfsvoering van bepaalde bedrijfstypen veel meer veranderd dient te worden dan dat van andere bedrijfstypen. Dit kan betekenen dat de gemiddelde nitraatuitspoeling en de gemiddelde kosten per ha sterk gaan verschillen tussen bedrijfstypen. Indien dit beleidsmatig niet wenselijk is, kunnen met behulp van randvoorwaarden op bedrijfsniveau de verschillen tussen de bedrijfstypen binnen bepaalde grenzen gehouden worden. Hiertoe zijn de volgende randvoorwaarden gezet in het model:

Aareaal verdeling over varianten

Het LP-model zoekt zelf de beste combinatie van varianten per bedrijfstype. In het model wordt daartoe door de optimalisatieprocedure voor elke variant v aan de variabele f_{tv} (in diverse van de bovenstaande formules) een waarde gegeven die aangeeft welke fractie van het totale areaal van bedrijfstype t onder die variant valt. De randvoorwaarden die gezet zijn om niet te veel en niet te weinig van het totale areaal per bedrijfstype in gebruik te krijgen door varianten zijn:

$$0 \leq f_{tv} \leq 1 \quad \text{voor } t = 1 \text{ tot/met } nrt; v = 1 \text{ tot/met } ntv-1 \quad (16)$$

$$0 \leq \left(1 - \sum_{v=1}^{ntv-1} f_{tv}\right) \leq 1 \quad (17)$$

Nitraatconcentratie

De gemiddelde nitraatconcentratie van het bedrijfstype N_t dient beneden de vrij te kiezen norm \mathcal{N}_t te blijven, waarbij, net als bij de regio en subregio, weer een randvoorwaarde op de hoeveelheid uitgespoelde nitraat per bedrijfstype (NI_t ; $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$) wordt gezet in afhankelijkheid van het bereikte neerslagoverschot van dat bedrijfstype (P_t ; $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$):

$$N_t \leq \frac{\mathcal{N}_t * P_t}{1000} \quad \text{voor alle } t = 1 \text{ tot/met } nrt \quad (18)$$

waarin: nrt = totaal aantal bedrijfstypen in de regio

Kosten

De kosten per ha voor het bedrijfstype dienen beneden een vrij te kiezen norm \mathcal{K}_t te blijven:

$$\frac{K_t}{X_t} \leq \mathcal{K}_t \quad \text{voor alle } t = 1 \text{ tot/met } nrt \quad (19)$$

Neerslagoverschot

Het gemiddelde neerslagoverschot voor het bedrijfstype (P_t ; $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$) dient minimaal gelijk te zijn aan de vrij te kiezen norm \mathcal{P}_t :

$$P_t \geq \mathcal{P}_t \quad \text{voor alle } t = 1 \text{ tot/met } nrt \quad (20)$$

4.2.4 Bijdrage van alternatieve activiteiten aan doelfunctie en randvoorwaarden

In het LP-model vormen de varianten (zoals beschreven in Hoofdstuk 3) de alternatieve varianten waaruit het LP-model moet kiezen. Bij de berekening van de bijdrage van elke alternatieve activiteit wordt aangenomen dat:

- per bedrijfstype elke daarvoor reëel geachte variant gekozen kan worden voor een fractie v van het totale areaal van dat bedrijfstype, waarbij v elke waarde kan innemen tussen 0 en 1. Dit betekent dat er in principe voor een zeer klein deel van het areaal voor een bepaalde variant gekozen kan worden, hetgeen bedrijfstechnisch niet reëel is (zie Hoofdstuk 3). Daarmee worden de te maken kosten te laag ingeschat.
- elke variant die binnen één bedrijfstype gekozen wordt met een fractie v van het totaal areaal komt met dezelfde fractie v voor op elke onderscheiden bodemeenheid-Gt-combinatie waar dat bedrijfstype voorkomt. De varianten worden dus uniform over het gebied van het bedrijfstype verspreid.

De bijdragen van elke variant die berekend moeten worden voor elk bedrijfstype zijn:

- jaarlijkse kosten per (K_t ; $f \cdot \text{ha}$)
- gemiddelde uitgespoelde hoeveelheid nitraat (NI_t ; $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1} \text{NO}_3$)
- neerslagoverschot (P_t ; $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$)

De totale jaarlijkse kosten voor de aanpassing van het management op elk bedrijfstype t worden berekend als de som van de kosten voor elke specifieke variant v rekening houdend met de fractie die elke variant inneemt van het totale areaal op bedrijfstype t :

$$K_t = X_t \cdot \sum_{v=1}^{ntv} (f_{tv} \cdot C_{tv}) \quad (21)$$

waarin: ntv = aantal varianten dat mogelijk is voor bedrijfstype t ; C_{tv} = jaarlijkse kosten per ha voor variant v op bedrijfstype t ($f \text{ ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$).

Voor elk bedrijfstype worden per variant de jaarlijkse kosten per ha berekend door een vast percentage (α) van de eenmalige kosten per ha (I_{tv} ; omzettingkosten, investeringskosten) op te tellen bij de variabele kosten per ha (V_{tv} ; opbrengstderiving, extra arbeid, e.d.):

$$C_{tv} = \alpha \cdot I_{tv} + V_{tv} \quad (22)$$

In de berekeningen gepresenteerd in Hoofdstuk 5, is α gezet op 10%. Dit percentage is hoog, zeker vergeleken bij de grondrente (nu ongeveer 4%), maar houdt rekening met de afschrijving van de eenmalige kosten door de betalende partij. Indien gewenst kan α simpel een andere waarde gegeven worden in het LP-model. Omdat de uiteindelijke kosten vermenigvuldigd worden met het totaal aantal ha van het bedrijfstype (Formule 19), moeten de eenmalige kosten en variabele kosten per ha van het totale bedrijf berekend worden, dus met inbegrip van de grond voor erf en bebouwing, en niet alleen voor de grond die gebruikt wordt door de landbouw.

Bij de berekening van de gemiddelde nitraatuitspoeling moet rekening gehouden worden met zowel de bijdrage van elke variant als met het effect van de bodem en Gt:

$$NIt = \sum_{b=1}^{ntb} \sum_{g=1}^{ntg} \{ X_{tbg} \cdot \mathcal{E}_{bg} \cdot \sum_{v=1}^{ntv} (f_{tv} \cdot NP_{tv} \cdot \frac{62}{14}) \} \quad (23)$$

met: ntb = aantal bodemeenheden b per bedrijfstype t ; ntg : aantal Gt per bedrijfstype t ; X_{tbg} = areaal van de combinatie van bodemeenheid b en Gt g op bedrijfstype t (ha); \mathcal{E}_{bg} = effect van de combinatie van bodemeenheid b en Gt g op reductie van nitraatuitspoeling door denitrificatie (Tabel 21); NP_{tv} = potentiële stikstofuitspoeling per ha voor variant v op bedrijfstype t (Hoofdstuk 3); $62/14$ = omrekening van molecuulgewicht van stikstof (14) naar nitraat (62).

Bij het berekenen van het effect van bodemeenheid en Gt op de nitraatuitspoeling wordt gebruik gemaakt van een reductiefactor (\mathcal{E}_{bg} in Formule 23) om de potentiële nitraatuitspoeling te 'corrigeren' voor de optredende denitrificatie in de bodem. In verband met het gebrek aan gegevens is alleen het effect van de Gt in het huidige model meegenomen (Tabel 21), maar het LP-model is zo opgezet dat eventueel ook naar bodemeenheid gedifferentieerde gegevens gebruikt kunnen worden.

Voor een aantal landgebruiksvormen is de reductiefactor voor het effect van bodem en Gt op 1 gesteld en er dus geen reductie van de potentiële nitraatuitspoeling wordt berekend. Dit is voor bos, heide en schraalgraslanden, water en bebouwing. De reden hiervoor is dat er voor een groot deel van het areaal van deze vormen van grondgebruik geen gegevens waren over de Gt en/of de bodemeenheid waarop ze gevonden werden. Daarnaast is de nitraatuitspoeling bij deze vormen van landgebruik niet of nauwelijks gemeten (water, bebouwing), of is in de literatuur vermeld als gemiddelde bij verschillende Gt's. Wel is het model zo opgezet dat het in principe mogelijk is om ook voor deze vormen van grondgebruik eventuele effecten van bodem en Gt mee te nemen.

De potentiële nitraatuitspoeling per ha van elke variant wordt berekend door een gemiddelde per gewas te nemen, gewogen naar areaal van dat gewas in het bouwplan van de variant:

$$NP_{tv} = \sum_{c=1}^{ncv} (f_{tcv} \cdot NP_{tcv}) \quad (24)$$

waarin: ncv = aantal gewassen c in bouwplan van variant v voor bedrijfstype t ; f_{tcv} = fractie van areaal van gewas c in bouwplan van variant v voor bedrijfstype t ; NP_{tcv} = potentiële stikstofuitspoeling van gewas c bij variant v voor bedrijfstype t ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$)

Tabel 21 Effect van Gt op reductie van de uitspoeling van nitraat onder landbouwgewassen ten opzichte van de potentiële uitspoeling (Goossensen & Meeuwissen, 1990.)

Grondwatertrap	Reductie van potentiële nitraatuitspoeling
V	0.50
VI	0.60
VII	0.75
VIII	1.00

Het totale neerslagoverschot van elk bedrijfstype (P_t ; $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$) wordt bepaald door het neerslagoverschot van elk gewastype (P_c), de fractie van het areaal van dit gewastype in het bouwplan van het bedrijfstype t bij variant v (f_{tcv}), en de fractie van het totale areaal van het bedrijfstype t dat ingenomen wordt door variant v (f_{tv}):

$$P_t = \sum_{v=1}^{ntv} \{ f_{tv} \cdot \sum_{c=1}^{ncv} (f_{tcv} \cdot P_c) \} \quad (25)$$

5 Scenario's en resultaten daarvan

Met het LP-model zijn uitkomsten berekend voor een aantal scenario's. Het begrip scenario wordt gedefinieerd, en de aangeboden varianten kort beschreven (§ 5.1). Het belang van compensatie van nitraatuitspoeling uit de landbouw door natuur wordt aangegeven (§ 5.1). De scenario's (§ 5.2) zijn verdeeld in hoofdsenario's, verschillend in de maximale nitraatconcentraties op regio- en bedrijfstypeniveau, en subscenario's, verschillend in het aandeel niet-landbouwgrond. Uitkomsten van de scenario's worden besproken, algemeen (§ 5.3.1), en per hoofd-scenario (§ 5.3.2-5.3.8). Tenslotte worden in het gebied gemeten nitraatconcentraties vergeleken met berekende waarden (§ 5.4).

5.1 Inleiding

Om het LP-model te kunnen gebruiken in een debat over de manier waarop de kosten van vermindering van nitraatuitspoeling berekend dienen te worden, is het nodig dat

- een uitgangssituatie bekend is om bereikte resultaten mee te vergelijken;
- alternatieve landgebruiksmogelijkheden aangeboden worden waarmee een breed traject bestreken wordt van kosten en resultaten (hier: nitraatconcentraties);
- de verschillende uitgangspunten van de deelnemers aan dat debat (belangengroepen) vertaald worden in een coherente set van randvoorwaarden;

Een combinatie van randvoorwaarden en aangeboden varianten, en de daarmee bereikte uitkomsten, wordt aangeduid met de term 'scenario'. De uitgangssituatie wordt 'basis-scenario' genoemd. Het basisscenario in deze studie is niet een inschatting van de huidige situatie, maar van de situatie als het landgebruik voldoet aan de wettelijke normen voor het jaar 2008. Dit staat beschreven in de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'. In de optimalisaties kan niet voor de variant 'huidig' gekozen worden omdat hiermee niet voldaan wordt aan de wettelijke normen. Kosten gerelateerd aan het voldoen aan die wettelijke verplichtingen hoeven niet ten laste te komen van eventueel aanvullend beleid. De varianten (Hoofdstuk 3; samenvatting in Tabel 22) beschrijven daarom alleen de kosten van de extra inspanningen om aan nog strengere normen dan die voor 2008 te voldoen.⁸

Vanwege de nadruk op de melkveebedrijven en de korte tijd waarbinnen dit project afgerond moest worden is voor niet-melkveebedrijven slechts een beperkt aantal opties beschreven: naast een inschatting van de situatie in 2008 zijn dit omzetting in heide of schraalgrasland, of omzetting in extensief verbouwd graan. Hiermee worden de mogelijkheden voor deze bedrijven onvoldoende beschreven. Ook de samenvoeging van alle niet-melkveebedrijven in één bedrijfstype beperkt de mogelijkheden om een goede inschatting te maken van de kosten en de effecten op de

⁸ Gezien de kosten om de N-verliesnormen voor 2008 te halen en de hoogte van de heffingen, valt niet te verwachten dat de N-verliesnormen voor 2008 gehaald zullen worden. Eventueel kan de methodologie gebruikt worden om te bestuderen wat de goedkoopste manier is om een versnelde invoering van het huidige beleid door te voeren. In dat geval wordt het basisscenario gevormd door een inschatting van de huidige situatie en moet in de beschrijving van de alternatieve landgebruikssystemen beschreven worden wat de kosten zijn ten opzichte van de huidige situatie.

Tabel 22 In het LP-model gebruikte totale jaarlijkse kosten ($f \cdot ha^{-1} \cdot jr^{-1}$) per bedrijfstype van elke variant ten opzichte van de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'.

variant	Extensief	Gemiddeld	Intensief	Zonder melkvee	Naaldbos
Gebiedstaak bij Gt 7 ¹⁾	130,04	222,83	260,05	200,00	nvt ²⁾
Omzetting naar biologisch bedrijf	137,80	1610,00	3286,00	nvt ²⁾	nvt ²⁾
Normstelling	287,93	304,26	419,18	nvt ²⁾	nvt ²⁾
Omzetting in loofbos	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	250,00
Omzetting landb in heide/schraalgrasland	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	nvt ²⁾
Gebiedstaak bij Gt7 met extra grond	nvt ²⁾	750,00	1250,00	nvt ²⁾	nvt ²⁾
Normstelling met extra grond	nvt ²⁾	1000,00	1500,00	nvt ²⁾	nvt ²⁾

¹⁾ voor bedrijfstype 'zonder melkvee' is hierin beschreven de omschakeling naar extensief bebouwd graan

²⁾ deze variant is niet van toepassing is voor het aangegeven bedrijfstype.

nitraatconcentratie: varkenshouders hebben heel andere alternatieve landgebruiksmogelijkheden dan gladiolentelers.

In het LP-model kunnen voor de volgende variabelen randvoorwaarden gezet worden:

- de nitraatconcentratie,
- de jaarlijkse kosten per ha, en
- het neerslagoverschot.

De limiet waaraan maximaal (nitraatconcentratie en kosten) dan wel minimaal (neerslagoverschot) moet worden voldaan is vrij, d.w.z. door de gebruiker vast te stellen. Deze limieten kunnen gezet worden op drie niveaus: de gehele regio, eventuele onderscheiden subregio's en bedrijfstypen. Let wel: het LP-model berekent niet de kosten, nitraatconcentraties en neerslagoverschot per bedrijf, maar geeft een gemiddelde over alle bedrijven binnen één bedrijfstype.

Tabel 23 Verdeling van het areaal voor de verschillende regio's over de onderscheiden landgebruiksvormen als percentage van het totale areaal. Data betreffende de Abdij zijn op basis van LGN2-bestanden en van de andere regio's op basis van gegevens aangeleverd door Paul van der Voet (provincie Gelderland).

	Cultuurgrond	Naaldbos	Loofbos	Overige natuur	Bebouwing	Water
Abdij	57,1	28,6	5,9	0,5	7,8	0,1
Gelderland	59,6	11,4	5,6	4,4	14,7	4,2
Achterhoek	78,9	3,6	5,2	0,5	10,1	1,7
Veluwe	42,7	23,7	7,7	9,7	14,6	1,7
Rivierengebied	72,0	0,9	2,8	0,8	16,5	7,0

De regio is op verschillende manieren te definiëren: bestaande uit alleen melkveebedrijven, of uit alle gronden, inclusief die met natuur, bebouwing en water. Indien gekozen is voor een regio waarin alle landgebruik meegenomen wordt, kan een bepaalde verhouding gekozen worden tussen landbouwgrond en het overige landgebruik (naald- en loofbos, open natuur, bebouwing en water). In het huidige model is het mogelijk om de verhoudingen tussen de verschillende vormen van landgebruik te nemen zoals in het onderzoeksgebied (de 'Abdij'), het gemiddelde voor Gelderland, zoals in de Veluwe, de Achterhoek of het rivierengebied van Gelderland. Van deze regio's heeft de Achterhoek het hoogste percentage

cultuurgrond (Tabel 23), de Veluwe het hoogste percentage natuur (naald- en loofbos plus overige natuur), en heeft de Abdij het hoogste percentage naaldbos maar het laagste percentage water, bebouwing en overige natuur.

Van de onderscheiden landgebruikssystemen dragen overige natuur (schraalgrasland en heide), water, loofbos en bebouwing (in oplopende volgorde) het minste bij aan de nitraatuitspoeling, daarna naaldbos en vervolgens cultuurgrond (§ 3.4.1). Per regio is op basis van de gemiddelde nitraatconcentratie van de niet landbouwkundige landgebruiksvormen en hun relatieve areaal een schatting te maken van het compensatievermogen van het niet agrarisch gebruik. Hiertoe wordt de nitraatconcentratie van het landbouwkundige deel van de regio berekend (N_{indb} ; $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{NO}_3$) die nodig is om het gebiedsgemiddelde te brengen op de gestelde limiet (N_{lim} ; $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{NO}_3$):

$$N_{indb} = \frac{N_{lim} - \sum_{i=1}^{nnt} (f_i \cdot N_i)}{f_{indb}} \quad (26)$$

met: f_{indb} = areaal landbouw als fractie van totaal; $i = i^{\text{de}}$ niet-agrarisch landgebruiksvorm; nnt = totaal aantal niet-landbouwkundige landgebruiksvormen; f_i = areaal landgebruiksvorm i als fractie van totaal in de regio; N_i = gemiddelde nitraatconcentratie van landgebruiksvorm i

Hoewel deze berekening niet helemaal correct is (er wordt gewogen naar oppervlakte in plaats van naar hoeveelheid water) geven de uitkomsten aan bij welke regio de compensatie van het niet-landbouwkundige landgebruik het hoogste is. Dit is wanneer de gemiddelde benodigde nitraatconcentratie van het landbouwkundige landgebruik het hoogste is. Van de onderscheiden regio's blijkt de volgorde van compensatievermogen te zijn: Veluwe, Gelderland, Abdij, Rivierengebied en Achterhoek (Tabel 24).

Tabel 24 Gemiddelde nitraatconcentratie ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{NO}_3$) in landbouwgrond die nodig is om te voldoen aan de limiet voor de regionale nitraatconcentratie gezien de bijdrage van de niet-landbouw landgebruiksvormen (zie tekst).

Regio	Limiet regionale nitraatconcentratie ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{NO}_3$)		
	50	37,5	25
Abdij	61,0	39,1	17,2
Gelderland	64,6	43,6	22,6
Achterhoek	55,5	39,7	23,9
Veluwe	77,6	47,8	18,6
Rivierengebied	59,4	42,0	24,7

In dit hoofdstuk worden de resultaten van een aantal scenario's getoond, waarbij elk scenario een specifieke combinatie van randvoorwaarden is, die in meer of mindere mate tegemoet komt aan de wensen/eisen van een aantal belangengroepen. Tentatief zijn er vier groeperingen te onderscheiden met belangen bij de nitraatproblematiek:

- 'Landbouw': gericht op het zo vrij mogelijk laten van de bedrijfsvoering van de landbouwbedrijven.
- 'Milieu': gericht op het zo veel mogelijk terugdringen van de nitraatuitspoeling in een zo'n groot mogelijk deel van het gebied.
- 'Waterwinning': gericht op het tot stand brengen van een gebiedsgemiddelde nitraatgehalte in het grondwater beneden de drinkwaternorm van $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

- ‘Belastingbetaler’: gericht op een zo goedkoop mogelijke oplossing terwijl er toch zoveel mogelijk aan de wensen van de andere belangengroepen wordt voldaan.

Vanuit de belangengroep ‘Belastingbetaler’ dient het nitraatprobleem met zo min mogelijk kosten opgelost worden, terwijl (mogelijke) uitgaven voor het oplossen ervan afgewogen moeten tegen (mogelijke) uitgaven voor andere zaken. Dit kan betekenen dat er een maximum gesteld wordt aan de te betalen kosten. Dit is in het LP-model mogelijk gemaakt. Voorlopig is echter deze randvoorwaarde niet geëffectueerd en is aangenomen dat er geen absoluut maximum aan de te maken kosten is gesteld. De belangen van de ‘Belastingbetaler’ worden meegenomen doordat het LP-model de meest kosten-effectieve oplossing berekent voor elk scenario.

In het meest aantrekkelijke scenario voor de ‘Landbouw’ wordt op gebiedsniveau de drinkwaternorm gehaald terwijl de bedrijfstypen zo vrij mogelijk worden gelaten. Het gebied dient dan zo breed mogelijk gedefinieerd te worden zodat niet-landbouwgronden de hogere uitspoeling van de landbouwgronden zo veel mogelijk compenseren. Voor de belangengroepering ‘Milieu’ is juist de strakste normstelling het meest aantrekkelijk, waarbij zoveel mogelijk grond gaat voldoen aan de strengste norm. Het gebied dient dan zo strak mogelijk gedefinieerd te worden, zodat uitspoeling van landbouwgronden niet gecompenseerd kan worden door de natuurgebieden. Voor ‘Waterwinning’ is de aantrekkelijkheid van het scenario gerelateerd aan het eindresultaat: een gebiedsgemiddelde nitraatgehalte dat voldoet aan de drinkwaternorm (met een bepaalde zekerheidsmarge), waarbij het niet uitmaakt of uitspoeling vanuit landbouwgronden gecompenseerd wordt door natuurgebieden.

De inschatting van de wensen/eisen van belangengroepen en de vertaling naar scenario’s is een voorlopige, tot stand gekomen in beperkte interactie met belangengroepen.

5.2 Scenario’s

Slechts een beperkt deel van de mogelijke combinaties van randvoorwaarden is met het LP-model doorgerekend. Randvoorwaarden zijn alleen geëffectueerd op de bereikte nitraatconcentraties (Tabel 25). Er zijn acht hoofdscenario’s onderscheiden:

- Twee referentie hoofdscenario’s, met een schatting van de regionale nitraatconcentratie en de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde nitraatconcentratie per bedrijfstype:
 1. ‘Huidig’: het landbouwkundig landgebruik is gezet op de variant ‘huidig’ voor alle bedrijfstypen. Er wordt een inschatting gemaakt van de nitraatconcentratie bij een efficiënte vorm van de gangbare praktijk.
 2. ‘Basis’: het landbouwkundig landgebruik gezet is op de variant ‘wettelijke verliesnorm 2008’. Daarmee wordt geschat wat de nitraatuitspoeling zou zijn indien alle bedrijven voldoen aan de normen van het huidige mestbeleid.
- Drie hoofdscenario’s waarin de maximal nitraatconcentratie op gebiedsniveau lager is dan op bedrijfsniveau, wat inhoudt dat compensatie van hogere uitspoeling op bepaalde bedrijfstypen gecompenseerd kan worden door lagere uitspoeling in andere bedrijfstypen (waarin ook begrepen de ‘natuurbedrijven’):

1. '50+vrij': de regionale nitraatconcentratie bedraagt maximaal 50 mg·l⁻¹, bedrijven worden vrijgelaten en mogen een hoge nitraatuitspoeling hebben zolang dit gecompenseerd wordt door de rest van de regio. Dit scenario is sterk landbouw gericht.
 2. '37,5+vrij': gelijk aan het vorige scenario, met een regionale nitraatconcentratie van maximaal 37,5 mg·l⁻¹. Dit is een 'waterwin' scenario met een zekerheidsmarge voor de waterwinning terwijl er mogelijkheden overblijven voor landbouw.
 3. '25+50': in dit 'milieu' scenario geldt een regionale nitraatconcentratie van maximaal 25 mg·l⁻¹, terwijl de bedrijfstypen aan de drinkwaternorm dienen te voldoen.
- Één hoofdsenario waarin alle bedrijfstypen minimaal moeten voldoen aan de drinkwaternorm (50 mg·l⁻¹) terwijl er geen regio-randvoorwaarde wordt gezet:
1. 'Vrij+50': omdat de nitraatconcentratie in de niet-agrarische gronden beneden de 50 mg·l⁻¹ ligt, zal de gemiddelde nitraatconcentratie in het gehele gebied ook onder de 50 mg·l⁻¹ uitkomen. Dit is een scenario dat een generiek beleid benaderd.
- Twee hoofdsenario's waarbij een deel van het landbouwareaal ('bekende' bedrijven met ≥75% van het areaal op Gt VII of VIII) vast omgezet is in schraalgrasland. Voldaan moet worden aan een regionale randvoorwaarde, terwijl landbouwbedrijven buiten de 'verschraalde' groep vrij zijn in hun keuze van varianten. Hiermee wordt een voorbeeld gegeven hoe specifieke doelen gesteld kunnen worden aan deelgebieden.
1. '50+vrij(H)': specifieke vorm van het landbouw-scenario '50+vrij', leidend tot hogere kosten omdat het LP-model minder vrij is in de keuze van de varianten.
 2. '25+vrij(H)': specifieke vorm van het milieu-scenario '25+vrij', met hogere kosten vanwege de geringe keuzevrijheid voor het LP-model.

Tabel 25 Beschrijving van de hoofd-scenario's.

Hoofd-scenario	Norm (mg·l ⁻¹ NO ₃)		Type scenario	Beschrijving
	gebied	bedrijfstype		
huidig basis	nvt	nvt	referentie	Variant 'huidig' geldt voor al het landgebruik. Het areaal van alle agrarische bedrijfstypen heeft de variant 'wettelijke verliesnorm 200'. Voor overig landgebruik geldt de variant 'huidig'.
50+vrij	50,0	vrij	landbouw	Regionaal geldt de drinkwaternorm; bedrijfstypen hoeven niet aan normen te voldoen.
37,5+vrij	37,5	Vrij	waterwinning	Regionaal geldt een norm tussen streefwaarde en drinkwaternorm; bedrijfstypen hoeven niet aan normen te voldoen.
25+50	25,0	50,0	milieu	Regionaal geldt de streefwaarde; bedrijfstypen moeten voldoen aan de drinkwaternorm.
vrij+ 50	vrij	50,0	generiek	Op bedrijfstypeniveau wordt voldaan aan de drinkwaternorm; de regio is vrijgelaten.
50+vrij(H)	50,0	vrij (H)	landbouw specifiek	Als 50+vrij maar bekende droge bedrijven zijn verschraald; andere bedrijven hoeven niet aan normen te voldoen.
25+vrij(H)	25,0	vrij (H)	milieu specifiek	Regionaal geldt de streefwaarde; bekende bedrijven zijn verschraald; andere bedrijven hoeven niet aan normen te voldoen.

Voor elk hoofdscenario zijn vier subscenario's doorgerekend die verschillen in de verhouding landbouw versus overig landgebruik (Tabel 26). Hiertoe zijn de verhoudingen van de onderscheiden vormen van landgebruik (landbouw, naald- en loofbos, open natuur, bebouwing en water) gebruikt zoals gevonden in het onderzoeksgebied de Abdij, in geheel Gelderland, in de Achterhoek of in het deel van het onderzoeksgebied de Abdij dat ingenomen wordt door de melkveebedrijven. De subscenario's geven een indicatie van de variabiliteit van uitkomsten bij verschillende compensatie van hogere nitraatuitspoeling (uit landbouw) door lagere uitspoeling (uit natuur, bebouwing, water). Voor het subscenario met alleen de melkveebedrijven is geen compensatie mogelijk door natuur (die vormt namelijk geen deel van de regio), terwijl er in subscenario Gelderland veel compensatie is (met name door het grote areaal natuur op de Veluwe). Subscenario Achterhoek geeft de situatie weer voor gebieden met veel landbouw en subscenario Abdij de werkelijke situatie in het onderzoeksgebied, met een landgebruiksverdeling tussen subscenario's Gelderland en Achterhoek. De subscenario's kunnen gebruikt worden bij extrapolatie van uitkomsten naar grotere regio's dan het onderzoeksgebied.

Tabel 26 Beschrijving van de subscenario's

Sub-scenario	Regio	Oppervlakte na calibratie ¹⁾ (ha)	Beschrijving
M	Melkveebedrijven	472,6	Randvoorwaarden en resultaten gelden voor het areaal momenteel in gebruik door melkveebedrijven in de 'Abdij'. Vertaling naar andere regio's is mogelijk indien daar dezelfde relatieve verdeling optreedt van bedrijfstypen over bodemeenheden en Gt's.
R	Regio Abdij	1101,0	Randvoorwaarden en resultaten gelden voor het totale areaal in de 'Abdij', met inbegrip van natuur, bebouwing en water. Vertaling naar andere regio's is mogelijk indien daar dezelfde verdeling van landgebruik voorkomt en dezelfde geografische verdeling optreedt van bedrijfstypen over bodemeenheden en Gt's.
G	Gelderland	1055,3	Het areaal van niet agrarische landgebruik (naald- en, loofbos, open natuur, bebouwing en water) ten opzichte van het areaal landbouw in Abdij is gelijk gemaakt aan de verhouding in geheel Gelderland (met relatief veel natuur). Vertaling naar andere regio is mogelijk indien daar dezelfde geografische verdeling optreedt van bedrijfstypen over bodemeenheden en Gt's.
A	Achterhoek	797,1	Als 'Gelderland', voor de Achterhoek (met relatief veel landbouw). Vertaling naar andere regio's is mogelijk indien daar dezelfde geografische verdeling optreedt van bedrijfstypen over bodemeenheden en Gt's.

¹⁾ geeft het totaal aantal ha aan van het gebied na aanpassing van de verhouding landbouwgrond versus ander landgebruik aan de verhouding zoals geldt voor de in het subscenario beschreven regio.

Voor de scenario's waarin geoptimaliseerd wordt is een indicatie gegeven van de mate waarin ze aan de wensen/eisen van drie onderscheiden belangengroeperingen voldoen (Tabel 27).

Tabel 27 Indicatie van de mate waarin een scenario tegemoet komt aan de wensen of eisen van een belangengroepering. +++: voldoet sterk; ++ voldoet redelijk; + voldoet; +/- nauwelijks; -: niet

Scenario	Belangengroepering	Belangengroepering		
		Landbouw	Milieu	Waterwinning
50+vrij	M	+	+/-	+
	R/G/A	+++	-	-
vrij+50	M	+	+/-	+
	R/G/A	+	+/-	+/-
37,5+vrij	M	+/-	++	+++
	R/G/A	++	+/-	++
25+50	M	-	+++	+++
	R/G/A	+	+	+++
50+vrij (H)	M	+	+/-	+
	R/G/A	+++	-	-
25+vrij (H)	M	-	+++	+++
	R/G/A	+	+	+++

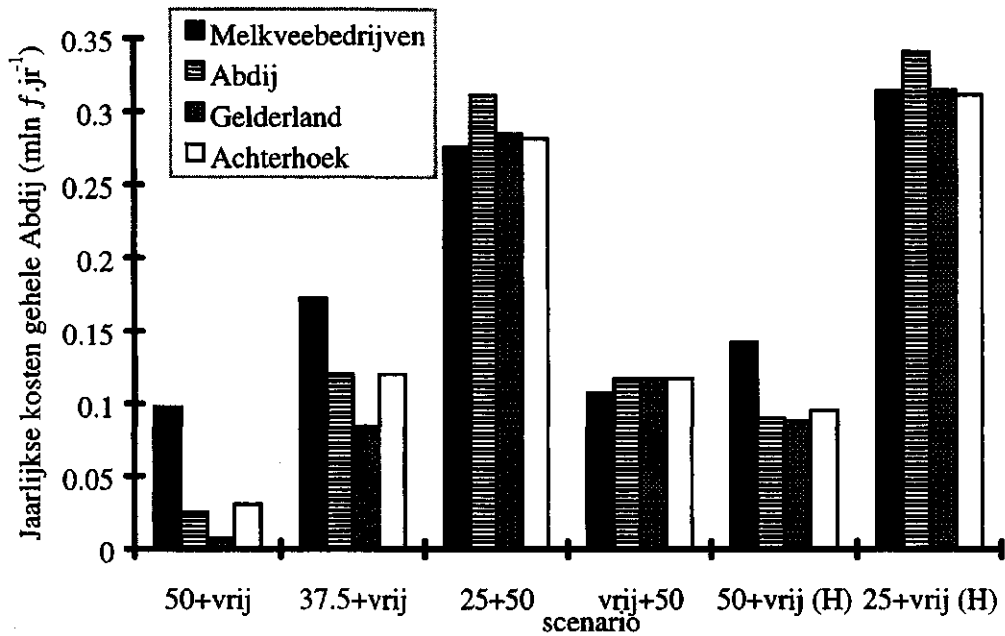
5.3 Resultaten van scenario's

5.3.1 Algemeen

Op basis van de opgegeven stikstofoverschotten en kosten van elke variant kiest het LP-model bij het optimaliseren per scenario de combinatie van varianten per bedrijfstype waarbij de totale jaarlijkse kosten die in de 'Abdij' gemaakt worden minimaal zijn terwijl aan de in het scenario gestelde randvoorwaarden voldaan wordt. Dit kan betekenen dat het uit oogpunt van totale kosten zinvoller is dat sommige (delen van) bedrijfstypen meer kosten maken (of overgaan tot niet landbouwkundige landgebruik) opdat andere (delen van) bedrijfstypen met lagere kosten kunnen volstaan.

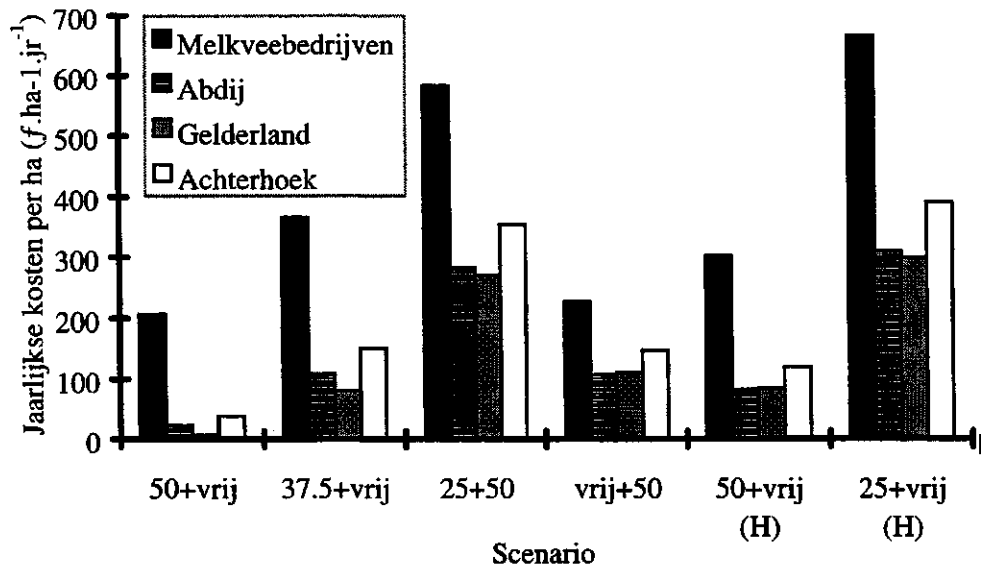
Omdat het LP-model streeft naar minimalisatie van de kosten, is de bereikte regionale nitraatconcentratie in scenario's waar een randvoorwaarde gelijk aan deze limiet. Een uitzondering hierop wordt gevormd door scenario 50+vrij(H) met subscenario G. Hier is het areaal aan natuur relatief zo groot dat de regionale nitraatconcentratie beneden de 50 mg.l⁻¹ komt wanneer op de bedrijven met $\geq 75\%$ van hun land op Gt VII of VIII alle landbouwgrond omgezet wordt in schraalgrasland. De andere bedrijven hoeven dan geen verdere kosten te maken om de nitraatuitspoeling terug te brengen.

Een groot deel (ca. 30%) van de Abdij bestaat uit naaldbos, waarvoor een gemiddelde nitraatconcentratie van 39 mg.l⁻¹ is aangenomen. Bij regionale limieten op de nitraatconcentratie beneden deze waarde, kan naaldbos niet een hogere nitraatuitspoeling vanuit de landbouw compenseren. Integendeel, landbouw moet de te hoge uitspoeling vanuit naaldbos compenseren. In scenario's met een randvoorwaarde van 37,5 mg.l⁻¹ op de regionale nitraatconcentratie maakt dit niet veel uit, maar bij scenario's met een randvoorwaarde van 25 mg.l⁻¹ moet de landbouw wel extra inspanningen verrichten.



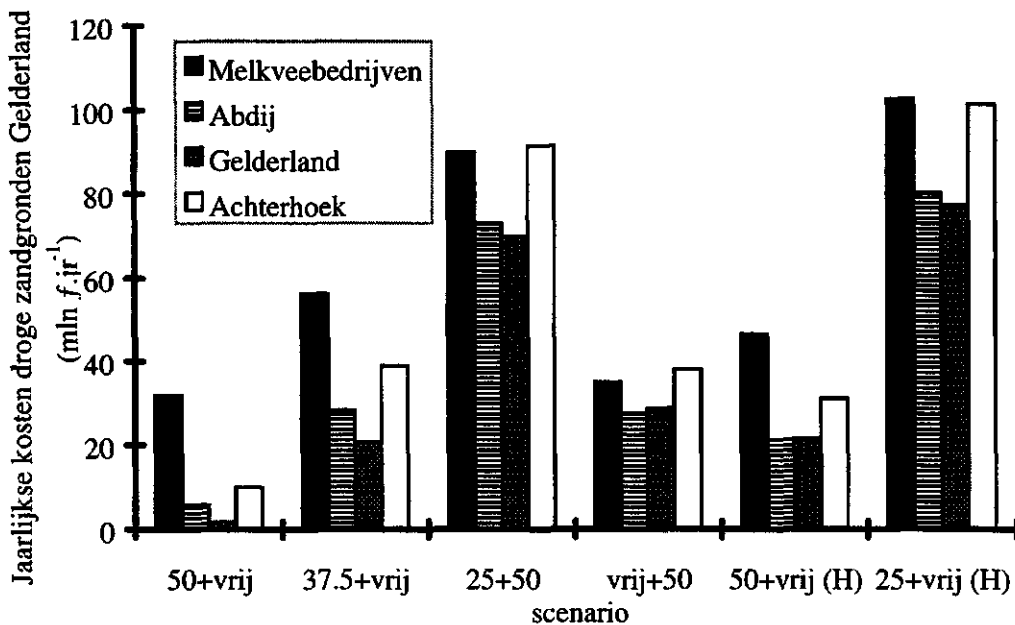
Figuur 2 Berekende minimale kosten gehele gebied 'Abdij' voor elk scenario.

De jaarlijkse kosten voor 'Abdij' variëren van f 7000 tot f 340000, afhankelijk van de gebiedsdefinitie en de gestelde normen (Tabel 28, Figuur 2). Gemiddeld variëren de kosten per ha ongeveer honderdvoud: van ca. f 7 tot f 670 per jaar (Tabel 28, Figuur 3). De variabiliteit bij de kosten per ha is groter dan bij de totaalkosten, doordat het aantal ha waarvoor gerekend is per subscenario verschilt (Tabel 27). Voor de subscenario's met relatief veel landbouw ('M' en 'A') moeten duurdere maatregelen genomen worden maar deze gelden dit voor een kleiner gebied dan in de overige scenario's.



Figuur 3 Berekende minimale jaarlijkse kosten per ha voor elk scenario.

Een indicatie van de kosten voor alle cultuurgrond op droge zandgrond in Gelderland, wordt verkregen door voor subscenario M de jaarlijkse kosten per ha te vermenigvuldigen met 153000, het areaal (ha) cultuurgrond op droge zandgrond in Gelderland. De aldus berekende totale jaarlijkse kosten variëren tussen 35 en 102,6 miljoen gulden (Tabel 28, Figuur 4). Een indicatie voor de kosten van alle droge zandgrond in Gelderland, met inbegrip van de niet-agrarische gronden, wordt verkregen door de resultaten van de andere subscenario's te vermenigvuldigen met 257000, het totale areaal (ha) aan droge zandgronden in die provincie (gegevens aangeleverd door P. van der Voet, Provincie Gelderland). Hierbij is impliciet aangenomen dat in Gelderland eenzelfde verdeling van landbouw-bedrijfstypen geldt als in het onderzoeksgebied, en dat deze op dezelfde bodemeenheden en Gt's vóórkomen. De totale jaarlijkse kosten variëren dan van 1,8 tot 101,3 miljoen gulden (Tabel 28, Figuur 4).



Figuur 4 Berekende minimale kosten voor alle droge zandgronden in Gelderland voor elk scenario.

De keuze van varianten hangt af van scenario en van bedrijfstype (zie volgende paragrafen). In geen scenario worden varianten gekozen waarbij grond aangekocht wordt ('Gebiedstaak met extensivering' en 'Grondwaternorm met extensivering'); blijkbaar zijn deze niet efficiënt in hun kosten-batenverhouding. In veel gevallen blijkt voor de extensieve bedrijven (B4_Ex...) omzetting naar biologische bedrijfsvoering het meest kosten-effectief te zijn. Bij de gemiddelde bedrijfstypen (O4_Gem...) wordt vaak voor verschraling gekozen indien de gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie 25 mg.l⁻¹ moet zijn. Wordt op gebiedsniveau de drinkwaternorm van 50 mg.l⁻¹ gesteld, dan is de optimale bedrijfsvoering hetzij conform de wettelijke verliesnorm voor 2008 of volgens de grondwaternorm van 50 mg.l⁻¹ als bedrijfsgemiddelde. Iets dergelijks geldt voor de intensieve bedrijven (O4_In...), waarbij vaak ook de variant 'gebiedstaak' wordt gekozen ials op regionaal niveau de drinkwaternorm geldt. Voor bedrijven zonder melkvee wordt vaak een extensieve teelt van granen gekozen (voor dit bedrijfstype wordt in de variant 'gebiedstaak' het totale areaal omgezet in deze

vorm van graanteelt). De kosten voor deze variant zijn zeer waarschijnlijk veel te laag ingeschat (zie Hoofdstuk 6). Dit maakt dat de inschatting van de kosten voor de subscenario's R/G/A veelal te laag is.

5.3.2 Scenario's huidig en basis

Een inschatting van de huidige situatie in het onderzoeksgebied geeft voor alle subscenario's een gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie ruim boven de drinkwaternorm van 50 mg·l⁻¹ (Tabel 28). Grote delen van het gebied hebben een gemiddelde nitraatconcentratie van boven de 50 of zelfs boven de 100 mg·l⁻¹ (Tabel 29).

Tabel 28 Resultierend jaarlijkse kosten (per ha, geheel gebied, en indicatie voor alle hoge zandgronden in Gelderland) en bereikte nitraatconcentratie in Abdij voor elk scenario.

Scenario		NO ₃ concentratie (mg·l ⁻¹) gebiedsgemiddelde ¹⁾	Jaarlijkse kosten		
hoofd	sub		per ha (f·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹)	Abdij (mln f·jr ⁻¹)	Gelderland (mln f·jr ⁻¹)
huidig	M	112,5 (74,5)	nvt	nvt	nvt
	R	74,5	nvt	nvt	nvt
	G	66,4	nvt	nvt	nvt
	A	80,3	nvt	nvt	nvt
basis	M	75,2 (58,4)	nvt	nvt	nvt
	R	58,4	nvt	nvt	nvt
	G	52,4	nvt	nvt	nvt
	A	61,6	nvt	nvt	nvt
50+vrij	M	50,0 (46,6)	207	0,098	31,9
	R	50,0	23	0,025	5,9
	G	50,0	7	0,007	1,8
	A	50,0	38	0,031	9,9
37,5+vrij	M	37,5 (40,6)	365	0,173	56,3
	R	37,5	109	0,120	28,1
	G	37,5	80	0,084	20,7
	A	37,5	150	0,120	38,9
25+50	M	25,0 (34,0)	583	0,276	89,9
	R	25,0	283	0,311	73,1
	G	25,0	270	0,285	69,8
	A	25,0	354	0,282	91,5
vrij+50	M	50,0 (46,6)	227	0,107	35,0
	R	43,4	106	0,117	27,5
	G	39,6	111	0,117	28,7
	A	44,3	147	0,117	38,0
50+vrij(H)	M	50,0 (43,9)	302	0,143	46,5
	R	50,0	82	0,090	21,2
	G	46,0	84	0,088	21,6
	A	50,0	120	0,096	31,0
25+vrij(H)	M	25,0 (31,5)	666	0,315	102,6
	R	25,0	310	0,342	80,2
	G	25,0	299	0,316	77,3
	A	25,0	392	0,313	101,3

¹⁾ Bij subscenario M wordt naast de gemiddelde nitraatconcentratie onder de melkveebedrijven ook (tussen haakjes) de resulterende nitraatconcentratie gegeven voor de gehele Abdij.

Vermoedelijk is dit een onderschatting van de werkelijke situatie omdat de variant 'huidig' (waarmee de huidige situatie geschat is) uitgaat van een efficiënte mineralenbenutting, die niet noodzakelijkerwijs gerealiseerd wordt in de echte huidige praktijk. Deze verwachting wordt ondersteund door de uitkomsten van de vergelijking van gemeten nitraatconcentraties met de berekeningen van variant 'huidig' (§ 5.4).

De wettelijke voorschriften in het huidige beleid betreffende stikstofverliezen zijn vertaald in de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'. In scenario 'basis' wordt op alle landbouwgrond deze variant toegepast. Hoewel de regionale nitraatuitspoeling duidelijk lager is dan de bij scenario 'huidig' (Tabel 28) blijkt, zoals ook landelijk onderkend is (Hoofdstuk 1), dat de wettelijke voorschriften niet leiden tot een afname van de nitraatconcentratie tot beneden de 50 mg·l⁻¹. Het areaal met een zeer hoog nitraatgehalte (≥100 mg·l⁻¹) neemt ten opzichte van de situatie in scenario 'huidig' sterk af, maar het bovenste grondwater onder alle agrarische gronden heeft nog steeds een nitraatgehalte van boven de 50 mg·l⁻¹ (Tabel 29).

Tabel 29 Klasseverdeling van de bereikte gemiddelde nitraatconcentratie (mg·l⁻¹ NO₃) onder landbouwgrond als percentage van het totaal areaal landbouwgrond per scenario.

Hoofdscenario	Subscenario	<25	≥25 & <50	≥50 & <100	≥100
huidig		0,0	4,4	46,9	48,8
basis		0,0	0,0	88,7	11,3
50+vrij	M	0,0	61,4	38,6	0,0
	R	15,7	3,1	72,7	8,5
	G	5,5	0,7	82,5	11,3
	A	15,7	23,6	52,2	8,5
37,5+vrij	M	11,4	76,5	12,1	0,0
	R	15,7	50,9	33,4	0,0
	G	15,7	43,2	37,4	3,7
	A	15,7	50,9	33,4	0,0
25+50	M	13,7	79,4	7,0	0,0
	R	74,2	19,5	6,3	0,0
	G	43,1	50,6	6,3	0,0
	A	43,1	50,6	6,3	0,0
vrij+50	M	0,0	57,9	42,1	0,0
	R	0,0	55,4	44,6	0,0
	G	0,0	55,4	44,6	0,0
	A	0,0	55,4	44,6	0,0
50+vrij(H)	M	10,1	21,1	68,8	0,0
	R	14,0	0,7	76,0	9,3
	G	14,0	0,0	76,7	9,3
	A	14,0	10,2	66,5	9,3
25+vrij(H)	M	35,8	57,1	7,0	0,0
	R	66,4	27,7	5,9	0,0
	G	45,9	48,2	5,9	0,0
	A	45,9	48,2	5,9	0,0

5.3.3 Scenario's 50+vrij

De 50+vrij-scenario's zijn het meest landbouwvriendelijk: de regionale nitraatconcentratie moet gemiddeld voldoen aan de minst strakke norm van alle doorgerkende scenario's (namelijk de drinkwaternorm) terwijl de landbouwbedrijven vrij zijn wat betreft de nitraatconcentraties in het grondwater onder hun areaal.

In het subscenario M kiest het LP-model ervoor dat alle extensieve melkveebedrijven overgaan tot biologische melkveehouderij en alle gemiddelde bedrijven tot de variant 'grondwaternorm'. Bij de intensieve bedrijven vindt een differentiatie plaats naar gemiddelde Gt. Deze is het hoogst op de droge bedrijven, gevolgd door de natte en daarna de onbekende bedrijven. Bij gelijke kosten voor alle bedrijfstypen is de bereikte vermindering van de nitraatconcentratie groter op de drogere zandgronden.

Het LP-model kiest in dit subscenario ervoor om:

- 80% van het areaal van de droge bedrijven om te zetten naar de variant 'Gebiedstaak', terwijl 20% van het areaal omgezet dient te worden naar schraalgrasland/heide.
- alle natte bedrijven om te zetten naar de 'gebiedstaak'.
- het onbekende gebied om te zetten in de variant 'wettelijke verliesnorm 2008' en de bedrijven dus geen extra kosten hoeven te maken.

De vermindering van de nitraatconcentratie wordt in de R/G/A subscenario's bereikt door op de bedrijfstypen zonder melkvee het landgebruik om te zetten in extensieve graanteelt. In eerste instantie gebeurt dit op de bekende 'droge' bedrijven, en indien dit niet voldoende is, op (een deel van) de bekende 'natte' bedrijven en als laatste op de onbekende bedrijven. Deze volgorde wordt bepaald door de gemiddelde Gt.

In subscenario's R/G/A wordt de lage niraatuitspoeling uit de natuur gebruikt ter compensatie van de hogere uitspoeling bij de landbouwbedrijven. Het effect van deze compensatie is zichtbaar in de veel lagere kosten in subscenario G, waar het niet-landbouw landgebruik een hoog compensatievermogen heeft, vergeleken met subscenario A, met relatief veel landbouw, of M, met alleen melkveebedrijven (Tabel 28).

Voor de waterwinning zijn deze scenario's veel minder interessant: hoewel de gemiddelde nitraatconcentratie voldoet aan de drinkwaternorm zullen er pieken in de concentratie optreden die boven die norm liggen. Dit komt door de seizoensfluctuatie in de nitraat uitspoeling en de ruimtelijke en temporele variabiliteit van de neerslag. Onder percelen variëren deze pieken in hoogte (tot 4-5 keer het gemiddelde) en in duur (van een paar dagen tot diverse weken) afhankelijk van landgebruik, bodemeenheid en Gt (Dijkstra et al., 1995, 1996). In het opgepompte grondwater worden deze pieken door menging met water uit verschillende winputten weer enigszins afgevlakt tot + of - 20% (pers. meded. L. Joosten, VEWIN, 1997). Hierdoor zou bij een gemiddelde van 50 mg.l⁻¹ de concentratie schommelen tussen 40 en 60 mg.l⁻¹ en zal dus in sommige perioden de drinkwaternorm overschreden worden.

Voor milieu en natuur zijn deze scenario's ook niet erg interessant, omdat

- de gemiddelde regionale concentratie toch nog redelijk hoog is, hetgeen schadelijk zou kunnen zijn voor oligo- en mesotrofe natuur;
- de regionale concentratie fluctueert rondom het gemiddelde van 50 mg.l⁻¹ met dus ook (tijdelijke) situaties waarin de concentratie daarboven komt;

- het areaal met een heel hoge nitraatconcentratie ($\geq 100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) weliswaar kleiner is dan in de huidige situatie (Tabel 29), maar er nog grote gebieden zijn waarin gemiddeld hogere nitraatconcentraties bereikt worden dan het gebiedsgemiddelde van $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Het effect hiervan op milieu en natuur is afhankelijk van de gebiedshydrologie en de ligging van de voor milieu en natuur functionele gebieden.

5.3.4 Scenario's 37,5+vrij

Voor waterwinning moet de regionale nitraatconcentratie beneden $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ blijven, maar is het niet belangrijk dat alle delen van het gebied een lage nitraatconcentratie krijgen. In het 37,5+vrij-scenario worden daarom de landbouwbedrijven vrijgelaten. Vergeleken met het 50+vrij-scenario moeten de bedrijven sterkere maatregelen treffen om te voldoen aan de randvoorwaarde op de regionale nitraatconcentratie:

- In het M scenario is dit een graduele aanpassing omdat de gedefiniëerde regio in beide gevallen alleen uit melkveebedrijven bestaat en er dus geen compensatie van/voor het overige landgebruik optreedt. In vergelijking met het 50+vrij-scenario dient alleen op de intensieve bedrijven het management aangepast te worden:
 1. het gehele areaal van de 'droge' intensieve bedrijven moet overgaan tot schraalgrasland/heide, t.o.v. 20% van het areaal bij het 50+vrij-scenario;
 2. 56% van het areaal van de 'natte' intensieve bedrijven moet worden verschaald en de rest moet overgaan tot de variant 'gebiedstaak', t.o.v. 100% gebiedstaak in scenario 50+vrij;
 3. alle intensieve bedrijven in het onbekende gebied dienen over te gaan tot de gebiedstaak, terwijl in het 50+vrij-scenario deze bedrijven konden volstaan met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'.
- In de R/G/A scenario's moet ten opzicht van het 50+vrij-scenario een deel van de nitraatuitspoeling vanuit met name de naaldbossen, gecompenseerd worden door het aanpassen van de landbouwbedrijven die dus in het 37,5+vrij-scenario meer extremere maatregelen moeten treffen. In het 50+vrij-scenario diende het gehele of overgrote deel van het areaal van de bedrijven zonder melkvee omgezet te worden in extensieve graanteelt, en konden de andere bedrijven volstaan met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'. In het 37,5+vrij-scenario moeten:
 1. alle bedrijven zonder melkvee overgaan tot het verbouwen van extensieve granen;
 2. alle extensieve bedrijven overgaan tot biologische melkveehouderij;
 3. alle bekende gemiddelde bedrijven overgaan tot de variant 'grondwaternorm' terwijl ook een deel van de gemiddelde bedrijven in het onbekende gebied overgaat naar die variant (57, 0 en 57% in respectievelijk subscenario R,G en A). De rest van die bedrijven kan volstaan met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'.
 4. Alle droge intensieve bedrijven overgaan tot de variant 'gebiedstaak', de natte intensieve bedrijven veelal ook tot de gebiedstaak overgaan (100, 15 en 100% in subscenario R,G en A; waarbij de resterende 85% in G volstaat met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'), en kunnen de intensieve bedrijven in het onbekende deel van het gebied volstaan met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'.

Met de aldus geoptimaliseerde variantenkeuze is de nitraatconcentratie in het grootste deel van het gebied beneden de $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, en is de concentratie in slechts een zeer klein deel boven de $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Tabel 29). Hierin lijkt 37,5+vrij op het vrij+50-scenario (§ 5.3.6). Ook zijn de kosten (behalve voor het M-subscenario) van het 37,5+vrij-scenario vergelijkbaar met die van het vrij+50-scenario (Tabel 28), terwijl de bereikte regionale nitraatconcentratie lager is. Dit duidt erop dat het kosten-effectiever kan zijn om strakkere limieten te zetten op de regionale concentratie dan om op bedrijfsniveau limieten te zetten op de nitraatconcentratie.

5.3.5 Scenario's 25+50

In een milieuscenario moet de gemiddelde nitraatconcentratie laag zijn, terwijl er nergens echt hoge concentraties voor mogen komen. Als voorbeeld zijn de 25+50-scenario's doorerekend: op regioniveau moet de streefwaarde van $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NO}_3$ bereikt worden, terwijl per bedrijfstype de nitraatconcentratie gemiddeld maximaal $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ mag bedragen. Ook voor de waterwinning is dit scenario interessant. De strakke limieten voor de nitraatconcentratie dwingt het LP-model tot het kiezen van drastische veranderingen in het landbouwkundig landgebruik:

- De extensieve bedrijven dienen in alle subscenario's volledig over te gaan naar de biologische variant.
- De gemiddelde bedrijven in het droge deel en de intensieve bedrijven in zowel het droge als het natte deel dienen in alle gevallen over te gaan tot volledige verschralling van hun areaal, en verliezen dus hun functie als landbouwkundig bedrijf.
- De gemiddelde bedrijven in het natte en onbekende deel dienen geheel over te gaan op de variant 'grondwaternorm'.
- De intensieve bedrijven in het onbekende deel dienen voor een groot deel te worden verschraald: 86% van het areaal in scenario M, 93% in R, 47% in G en 41% in A. Het resterende areaal moet omgezet worden in variant 'Gebiedstaak'. Slechts een klein deel behoudt dus de landbouwkundige functie.
- In de scenario's R/G/A moet op het gehele areaal van de niet-melkveebedrijven overgegaan worden tot het verbouwen van extensief graan.

Zoals ook gewenst was, is de nitraatconcentratie op nog maar zeer weinig plekken hoger dan $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (<10% van het landbouwareaal; Tabel 29). De prijs die betaald moet worden voor het bereiken van deze situatie is navenant: dit scenario is 2.5-3 maal zo duur als het vrij+50-scenario. Het 25+50-scenario vergt nogal wat van de agrarische bedrijven, zeker wanneer in aanmerking wordt genomen dat naaldbos en bebouwing nu niet meer compenserend voor de landbouw kunnen optreden, maar integendeel de landbouw het te hoge nitraatverlies van deze landgebruiksvormen moet gaan compenseren.

5.3.6 Scenario's vrij+50

In de vrij+50-scenario's is de nitraatconcentratie op regionaal niveau vrij en wordt zij alleen gelimiteerd op het niveau van de bedrijfstypen. In subscenario M (alleen melkveebedrijven) is de bereikte regionale uitspoeling gelijk aan $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ omdat de regio alleen bestaat uit de bedrijfstypen waarvoor deze limiet is gezet. Bij de andere

subscenario's wordt de regionale nitraatconcentratie lager dan $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ vanwege de lagere nitraatuitspoeling bij het overige landgebruik in de regio (Tabel 28). Logischerwijze kiest het LP-model in alle subscenario's voor dezelfde varianten: omdat de regio er niet toe doet wordt voor elk bedrijfstype de goedkoopste oplossing gezocht. Volgens het LP-model moeten dan:

- De extensieve bedrijven grotendeels overgaan naar een biologische bedrijfsvoering: 72% van de droge en natte bedrijven, 45% van de bedrijven in het onbekende deel. Het resterende deel van de bedrijven kan volstaan met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'.
- De gemiddelde bedrijven grotendeels overgaan naar de variant 'grondwaternorm': 98% van de droge bedrijven, 85% van de natte en 69% van de bedrijven in het onbekende gebied. Het resterende deel van de bedrijven kan volstaan met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'.
- De intensieve bedrijven in het droge en natte deels overgaan naar variant 'gebiedstaak' (83 en 93%), terwijl het restant van hun areaal verschaald wordt. In het onbekende gebied (met nattere gronden dan het 'natte' gebied) gaat 96% over naar variant 'gebiedstaak' en kan 4% voldoen met variant 'wettelijke verliesnorm 2008'.
- In de subscenario's R/G/A een deel van de niet-melkveebedrijven in alle subregio's extensief graan gaan verbouwen: 37% van de 'droge', 31% van de 'natte' en 28% van de 'onbekende' bedrijven. De rest van het areaal van dit bedrijfstype kan volstaan met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'.

Door deze veranderingen komt de nitraatconcentraties nergens boven de $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, en is ze onder alle landbouwgrond tussen de 25 en $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Tabel 29). De kosten ten opzichte van 50+vrij nemen behoorlijk toe, maar daar staat tegenover dat dit scenario ook voor de waterwinning aantrekkelijk is aangezien in alle gevallen de gemiddelde nitraatconcentratie voor de gehele Abdij ruim beneden de $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ komt. De aantrekkelijkheid voor landbouw is minder dan het 50+vrij-scenario, omdat een groter deel van de bedrijven meer inspanningen moeten leveren dan voor het bereiken van de wettelijke normstelling in 2008 nodig zou zijn. Wel blijft landbouw in een groot deel van het gebied mogelijk en hoeft slechts een klein deel verschaald te worden.

5.3.7 Scenario's 50+vrij(H)

In deze scenario's wordt bij voorbaat aan alle 'droge' landbouwbedrijven de variant 'schraalgrasland/heide' toegekend. Het LP-model hoeft dan alleen voor de resterende bedrijven te bepalen in hoeverre zij alsnog hun bedrijfsvoering dienen aan te passen. Scenario 50+vrij(H)-G is berekend met een verdeling van het landgebruik zoals gemiddeld in Gelderland. Vanwege de compensatie door niet-agrarische gronden geldt hier dat de verschraling van de droogste bedrijven voldoende is om de regionale nitraatconcentratie terug te brengen tot beneden de $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Tabel 28). De resterende bedrijven kunnen volstaan met het volgen van de wettelijke normen die gelden voor 2008. In de andere subscenario's waarbij het niet-landbouwkundig landgebruik compenserend kan optreden (subscenario's R en A) hoeft alleen een deel van het areaal van de 'natte' niet-melkveebedrijven omgezet te worden naar extensieve graanteelt: 17% voor subscenario R en 58% voor subscenario A.

In subscenario M is de verschraling van de 'droge' bedrijven niet voldoende, en moeten de melkveebedrijven in het 'natte' en het 'onbekende' deel van de regio ervoor zorgen dat de nitraatconcentratie alsnog beneden de $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ komt. Hiertoe dienen alle extensieve melkveebedrijven in deze subregio's omgezet te worden in biologische bedrijven, en kiest het LP-model voor het gemiddelde bedrijfstype in het natte stuk voor de variant 'grondwaternorm'. De 'natte' intensieve bedrijven dienen voor 62% over te gaan tot de variant 'gebiedstaak'. De resterende bedrijven kunnen volstaan met de variant 'wettelijke verliesnorm 2008' en hoeven dus geen kosten te maken.

Voorts gelden dezelfde kanttekeningen als bij scenario 50+vrij en is scenario 50+vrij(H) zowel voor de waterwinning als voor het milieu minder interessant. Daarnaast zijn de kosten van 50+vrij(H) veel hoger dan bij 50+vrij: het verschralen van de drogere bedrijven is niet echt kosten-effectief.

5.3.8 Scenario's 25+vrij(H)

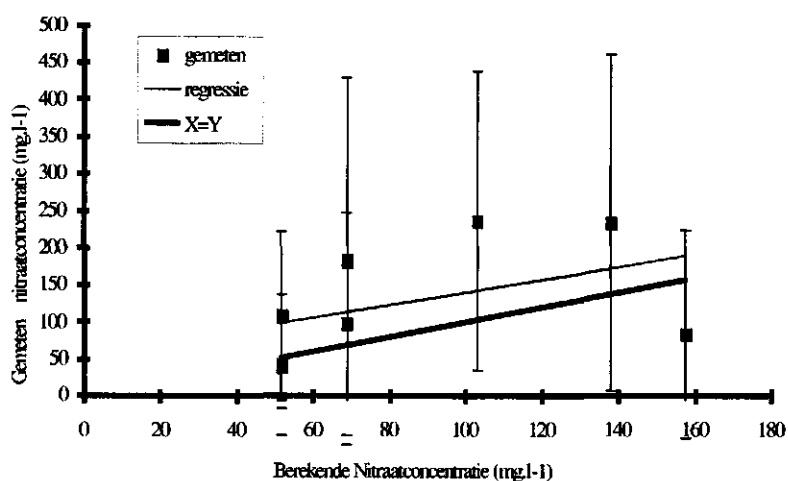
In het tweede milieu-scenario 25+vrij(H), wordt de landbouw iets meer vrijgelaten dan in het strakke 25+50-milieu-scenario: in plaats dat elk bedrijfstype moet voldoen aan de $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ norm wordt er geen limiet op bedrijfstypeniveau gezet. Om eventuele hoge nitraatconcentraties op de droge gronden zoveel mogelijk te voorkómen zijn de droge bedrijven bij voorbaat allemaal omgezet in schraalgrasland of heide. De resultaten van dit scenario zijn vrijwel gelijk aan die van het 25+50-scenario, met name omdat de resterende bedrijven naast verschraling weinig andere mogelijkheden hebben om de gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie beneden de $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ te krijgen. Verschillen met scenario 25+50 zijn:

- alle droge bedrijven moeten voor 100% worden verschraald, dus geen biologische melkveehouderij door de extensieve bedrijven;
- een kleiner deel van de intensieve bedrijven in het onbekende gebied moet verschralen: 67% in subscenario M, 71% in R, 24% in G en 19% in A. De resterende bedrijven in deze gevallen dienen te kiezen voor de variant 'gebiedstaak'.

In vergelijking met scenario 25+50 is het areaal met een nitraatconcentratie $\geq 50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ in de subscenario's R/G/A iets afgenomen, van 6.3 naar 5.9 % van het landbouwareaal (Tabel 29). De kosten zijn daarentegen ten opzichte van 25+50 met ongeveer 10% gestegen. Voor de landbouw is ook dit milieu-scenario niet aantrekkelijk.

5.4 Vergelijking van gemeten en berekende nitraatconcentraties

Bij het schatten van het effect van de Gt op de nitraatuitspoeling is gebruik gemaakt van reductiefactoren (§ 4.2.4) genoemd in de literatuur (Goossensen & Meeuwissen, 1990). Ze hoeven niet noodzakelijkerwijs te gelden voor het onderzoeksgebied. Uit het onderzoeksgebied zijn gegevens bekend van het nitraatgehalte uit het bovenste grondwater voor verschillende percelen in het najaar van de jaren 1989, 1991 en 1993 (Vogelaar et al., 1990, 1992; Vogelaar, 1994). Voor percelen waarop per monstername meer dan één monster werd verzameld is een vergelijking gemaakt (Figuur 5) met de berekende nitraatconcentratie voor de variant 'huidig' (zie beschrijving in § 3.2.1). Bij de berekende concentratie is het effect meegenomen van de potentiële N-uitspoeling zoals bepaald wordt door het bedrijfstype waartoe het



Figuur 5 Vergelijking van gemeten en berekende nitraatconcentraties. Bij gemeten waarden (Vogelaar et al., 1990, 1992; Vogelaar, 1994) zijn gemiddelde en betrouwbaarheidsinterval aangegeven, berekend over alle meetresultaten in eenzelfde perceel in het najaar voor maximaal drie meetjaren.

perceel behoort. Effecten van ander landgebruik zijn genegeerd. Bij de vergelijking valt op dat:

- de berekende concentratie altijd binnen het betrouwbaarheidsinterval ligt van de metingen;
- de metingen over het algemeen hoger zijn dan de berekeningen.

Vanwege de grote standaard-afwijking rondom het gemiddelde bij de metingen verschillen de berekende waarden niet significant van de meetwaarden. Daarnaast moet er op gewezen worden dat:

- De berekende waarde gelden voor een efficiënte mineralenbenutting die niet noodzakelijkerwijze gerealiseerd is op het perceel waar gemeten is. Als zodanig geven de berekeningen een positief beeld van de huidige situatie.
- De klasse-indeling van de bedrijven in drie groepen van intensiteit van productie ertoe kan leiden dat een bedrijf waarop gemeten is zich wat betreft intensiteit aan een grens bevindt van de klasse.
- De berekende waarde geeft een schatting voor de gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie. Het is bekend dat het tijdstip van meting de uitkomsten sterk kan beïnvloeden (zoals ook vermeld door Vogelaar, 1994) waardoor een meting op een bepaald tijdstip niet noodzakelijkerwijs een goed beeld geeft van dat jaargemiddelde. De metingen vonden plaats in het uitspoelingsseizoen met zeer waarschijnlijk een hogere concentratie dan het jaar-gemiddelde. Het is daarom te verwachten dat zij hogere uitkomsten geven dan de berekende waarden.
- De relatief grote standaardafwijking rondom het gemiddelde van de metingen aangeeft dat er grote lokale verschillen optreden binnen elk perceel. Gezien het geringe aantal herhalingen (8 monsters), wordt niet noodzakelijkerwijs een representatief beeld geschetst van de gemiddelde nitraatconcentratie onder een perceel.
- De berekende waarden gelden voor het gemiddelde landgebruik op het perceel, aangezien aangenomen is dat door een uniforme gewasrotatie alle percelen van een bedrijfstype eenzelfde gemiddelde landgebruik hebben. De meetgegevens

betreffen het effect van specifiek landgebruik in het groeiseizoen voorafgaande aan de meting.

Gezien de doelstelling van dit onderzoek lijkt het daarom beter om uit te gaan van de berekende nitraatconcentraties dan van de gemeten waarden.

6 Discussie

Om tot een werkbare methodiek te komen zijn er aannames gedaan. Deze worden bediscussieerd ten aanzien van het gebruik van de methode (§ 6.1), gebiedskenmerken (§ 6.2), de aangeboden varianten (§ 6.3) en het gebruikte LP-model (§ 6.4).

6.1 Gebruik methodiek

6.1.1 Vertaling van gebruikswensen naar functionaliteiten

De opdrachtgevers hebben een aantal wensen ten aanzien van de mogelijkheden van de methodiek. Deze richten zich met name op het kunnen berekenen van effecten van een aantal (meest politieke) keuzes die gemaakt moeten worden. De wensen zijn vertaald in functionaliteiten van de methodiek:

- a. de veranderbaarheid van de hoogte van de gewenste gemiddelde nitraatconcentratie in een omschreven eenheid (regio, bedrijfstype e.d.),
- b. het al dan niet toestaan van compensatie van hoge nitraatconcentraties in bepaalde delen van de regio door lage concentraties in andere delen,
- c. de veranderbaarheid van de gebiedsdefinitie,
- d. de mogelijkheid tot het doorrekenen van specifiek beleid.

De volgende achtergronden en opmerkingen zijn te geven ten aanzien van de manier waarop deze functionaliteiten in de methodiek zijn ingebouwd:

- a. *De veranderbaarheid van de hoogte van de gewenste gemiddelde nitraatconcentratie in een omschreven eenheid (regio, bedrijfstype e.d.):* de in de varianten beschreven potentiële en in het LP-model berekende 'reële' nitraatconcentratie zijn schattingen voor een gemiddelde. Zowel binnen een jaar als tussen jaren treden fluctuaties op rondom dit gemiddelde. De hoogte, frequentie en duur van pieken boven het gemiddelde zijn gebiedsspeciek. Afhankelijk van de functie van het water moet een keuze gemaakt worden voor het niveau en de waarde waarop de limiet gezet wordt. Dient een bepaalde waterkwaliteit gegarandeerd te worden voor drinkwaterwinning, dan moet de randvoorwaarde op het regioniveau worden vastgezet op een voldoende veilige waarde beneden die kwaliteitsnorm. De kwaliteit voor lokale natuur zou bijvoorbeeld 'beschermd' moeten worden door een limiet op gridcel niveau (of eventueel subgebied niveau) te zetten.
- b. *Het al dan niet toestaan van compensatie van hoge nitraatconcentraties in bepaalde delen van de regio door lage concentraties elders:* de keuze of compensatie mag is in feite een keus voor de schaal waarop de nitraatconcentratie gemiddeld wordt:
 1. perceelsniveau (of plotniveau: specifieke combinatie van Gt, bodemeenheid en bedrijfstype) waarbij geen compensatie door andere plots mag maar 'slechte' delen (bijv. urineplekken) gecompenseerd mogen worden door de rest van het plot;

2. bedrijfsniveau waar per individueel bedrijf 'slechte' plots gecompenseerd mogen worden door 'goede' plots;
3. bedrijfstypenniveau, waar het gemiddelde berekend wordt over alle bedrijven in eenzelfde specifiek gedefiniëerde sociaal-economische, bedrijfstechnische en agro-ecologische situatie, en waarbij de toevallige verdeling van 'slechte' plots over bedrijven uitgemiddeld wordt;
4. regionaalniveau, het gemiddelde wordt bepaald over alle bedrijven of bedrijfstypen, 'goede' bedrijven mogen compenseren voor 'slechte'. Afhankelijk van de gebiedsdefinitie kan dan de natuur wel of niet meegenomen worden.

De beschreven methodiek gaat ervan uit dat compensatie mag op bedrijfstype-niveau en maakt het mogelijk om compensatie op regionaalniveau wel of niet mee te nemen. In principe kan het LP-model uitgebreid worden om varianten toe te wijzen aan individuele bedrijven. Deze uitbreiding houdt in het vergroten van het LP-model (dat dan waarschijnlijk in een andere taal moet) en het aanpassen van de gebiedsschematisatie zodat van grids niet alleen het bedrijfstypen bekend is maar ook het individuele bedrijf waar het bij hoort. De beschrijving van varianten kan eventueel nauwkeuriger, en specifiek per bedrijf. De opzet van de methodiek blijft echter gehandhaafd, er moet alleen meer van hetzelfde gedaan worden.

In het beschreven LP-model kunnen geen limieten worden gezet op plotniveau, i.e. per unieke combinatie van bodemeenheid-Gt-bedrijfstype. Het kan een politieke keus zijn om wel zo'n limiet te zetten, waarbij alle landbouwgrond moet voldoen aan een bepaalde maximum nitraatconcentratie, en niet volstaan kan worden met een bedrijfsgemiddelde. Om de kosten van een dergelijke keuze te berekenen moet niet alleen het LP-model aangepast worden (en waarschijnlijk in specifieke LP software herschreven in verband met de limitaties van EXCEL), maar moeten ook andere varianten beschreven worden. Per variant moet dan aangegeven worden hoe per bedrijfstype de verschillende plots het beste gebruikt kunnen worden, bijvoorbeeld door drogere delen te gebruiken voor extensieve productie van hooi en nattere delen voor intensieve beweiding met additionele toediening van stikstof. De percentuele verdeling van het bedrijfsareaal aan hoge en lage gronden zal dan één van de factoren zijn die meegenomen moeten worden in de bepaling van de variant. Dit betekent dat er waarschijnlijk veel meer bedrijfstypen onderscheiden moeten worden. Praktisch gezien lijkt het onmogelijk om het plotniveau als ingang te nemen voor aanvullend beleid gezien de onmogelijkheid tot controle van de resultaten.

De hoogte van de berekende kosten hangt in sterke mate samen met het niveau waarop compensatie toegestaan is: compensatie alleen op plotniveau zal leiden tot de duurste oplossingen, terwijl het toestaan van compensatie op regioniveau zorgt voor de goedkoopste oplossingen. Anderzijds leiden compensaties op hoger niveau ertoe dat mogelijk hoge nitraatconcentraties vóórkomen in delen van de regio, en dat bepaalde bedrijfstypen onevenredig hun landgebruik moeten veranderen.

- c. *De veranderbaarheid van de gebiedsdefinitie*: hierbij dienen keuzen gemaakt te worden betreffende:

1. Welke bedrijfstypen worden onderscheiden, met welke vormen van landgebruik en welke mogelijkheden tot verandering van dat landgebruik. Criteria bij het indelen van bedrijven:
 - productietakken (melkvee, vleesvarkens, akkerbouw, gemengde bedrijven, tuinbouw, enz.),
 - productieintensiteit (zoals intensief, gemiddeld, extensief),
 - areaal aan bepaalde bodemeenheden (zoals aandeel droge gronden in bedrijfsareaal),
 - ligging van bedrijf ten opzichte van relevante subgebieden (bijvoorbeeld binnen bepaalde afstand tot bestaande natuur, of in bepaalde afstand tot de winput van het waterwingebied).

Hoe meer bodem-Gt-combinaties en hoe meer bedrijfstypen onderscheiden worden, hoe meer differentiatie-mogelijkheden het LP-model heeft om varianten toe te delen aan de bodem-Gt-combinaties en/of bedrijfstypen. De toedeling zal daardoor meer kosten-effectief zijn. In een aantal gevallen is de ligging van de bedrijfstypen bekend, maar vaak is alleen iets te zeggen over de ligging van gewassen, en is het totaal oppervlak van de verschillende bedrijfstypen in de regio bekend. Per bodemeenheid-Gt-combinatie kunnen dan alleen de kansen op het vóórkomen van de verschillende bedrijfstypen aangegeven worden. Per bedrijfstype wordt de beste schatter hiervoor gegeven door de fractie van het totale areaal die dit type inneemt. Voor de plots in een gebied waarin de ligging van bedrijfstypen onbekend is wordt een schatting gegeven van de verwachte nitraatconcentratie in de vorm van een (naar areaal) gewogen gemiddelde over de verschillende bedrijfstypen. Hierdoor is een toewijzing van varianten minder specifiek dan voor gebieden waar de ligging van de bedrijfstypen wel bekend is, en zullen oplossingen relatief duurder zijn.

2. De grenzen aan het gebied: hierbij is van belang in welke mate de principiële keuze of compensatie mag (zie b hierboven) vertaald wordt in de praktische keuze met betrekking tot de afbakening van een gebied. Moet dit een functionele eenheid zijn, een juridische, of kan een gebied bestaan uit 'losse' delen? Bedacht moet worden dat bij een groter gebied het gebiedsgemiddelde minder zegt over extremen in het gebied. Wordt bijvoorbeeld heel Nederland als regio gedefiniëerd dan kunnen de kleigronden er misschien voor zorgen dat het gemiddelde grondwater in Nederland niet boven de $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ komt. Bij een erg kleine regio daarentegen is er geen bufferwerking door de verschillende subregio's. Het is, weer, een politieke keuze tot welke maximale grootte een gebied beperkt moet blijven.

Een belangrijk probleem betreffende hoge nitraatconcentraties in het bovenste grondwater is de daarmee gerelateerde (toekomstige) vervuiling van het diepere grondwater. Dit pleit voor het kiezen van gebieden die een functionele eenheid vormen en waarin de samenhang binnen het gebied gelegd kan worden via de relaties tot het diepere grondwater, zoals:

- Intrekgebieden drinkwaterwinning, waar aangegeven kan worden voor gebieden rondom de winput(ten) hoe lang het duurt voordat het bovenste grondwater in die gebieden teruggevonden kan worden in het gewonnen water. In dergelijke gebieden is het zinvol om tot een functionele begrenzing van het gebied te komen: bijvoorbeeld de 100 jaarszone;

— Intrekgebieden van kwelzones: voor natuur en milieu kan de kwaliteit van het kwelwater belangrijk zijn en zouden gebieden functioneel afgebakend kunnen worden aan de hand van de tijd/afstand tot de betreffende kwelplek.

3. Het meenemen van het effect van de natuur en andere vormen van niet-agrarisch landgebruik; in het algemeen geldt dat er minder hoge nitraatconcentraties gevonden worden onder ander landgebruik dan landbouw, waarbij naaldbossen de hoogste nitraatconcentratie hebben van ca. $39 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Zolang een gewenst regionaal gemiddelde nitraatconcentratie beneden deze $39 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ligt, kan de hogere nitraatconcentratie onder landbouwgronden op regionaal niveau gecompenseerd worden door natuur. Het is een politieke keus of een dergelijke compensatie mogelijk moet zijn, en zo ja, hoe omgegaan moet worden met de daarmee ontstane verschillen tussen regio's met meer en minder natuur.

d. *De mogelijkheden tot het doorrekenen van specifiek beleid*: het opkopen en 'verschralen' van bepaalde delen van een regio kan een aantrekkelijke beleidsmaatregel zijn vanwege de relatief eenvoudige implementatie van een dergelijke maatregel. Met het model kan het effect berekend worden op de regionale nitraatconcentratie en de maatregelen die de overige bedrijven nog dienen te treffen.

6.1.2 Kostenschatting

In de beschreven methodiek wordt met een LP-model de optimale combinatie bepaald van varianten van landgebruik per onderscheiden bedrijfstype. Deze varianten beschrijven maatregelen waarmee de nitraatuitspoeling verminderd kan worden ten opzichte van de wettelijke verliesnorm voor het jaar 2008. De kosten die met die varianten gepaard gaan worden in dit LP-model geminimaliseerd, zodanig dat op regio- en/of bedrijfstypeniveau een gewenst nitraatgehalte in het bovenste grondwater bereikt wordt. De aldus berekende kosten vloeien dus niet voort uit de (huidige) wettelijke verplichtingen van landgebruikers, maar geven een schatting van de kosten van maatregelen die verder gaan dan hetgeen in het huidige beleid verplicht wordt. De beschreven methodiek maakt het daarmee mogelijk om tot een raming te komen van een deel van de kosten van aanvullend stikstofbeleid, namelijk dat deel dat minimaal door de landgebruikers gemaakt zal moeten worden om te voldoen aan wensen van aanvullende beleid.

Benadrukt moet worden dat met de methodiek een INDICATIE wordt gegeven van de kosten. Niet alle mogelijke (combinaties) van maatregelen zijn beschreven in varianten en in principe kunnen er goedkopere oplossingen gevonden worden. Toch is het aannemelijk dat de berekeningen een lage schatting geven van de werkelijke kosten:

- in de varianten wordt uitgegaan van een efficiënte bedrijfsvoering, die in werkelijkheid niet door alle landgebruikers toegepast zal worden;
- aangenomen wordt dat de wettelijke verliesnormen voor 2008 binnen de daarvoor gestelde termijn gehaald worden; in werkelijkheid is dit waarschijnlijk niet het geval;
- in het LP-model wordt aangenomen dat delen van bedrijven hun landgebruik kunnen veranderen (§ 6.4), terwijl in de praktijk, met name voor melkveebedrijven, de varianten alleen toepasbaar zijn voor gehele bedrijven;

- het LP-model vindt de meest kosten-effectieve oplossing, welke niet noodzakelijkerwijs in werkelijkheid toepasbaar is bijvoorbeeld omdat een deel van de landgebruikers niet in voldoende mate willen of kunnen meewerken;
- er wordt aangenomen dat alle tot één bedrijfstype behorende bedrijven hetzelfde landgebruik (type en intensiteit) hebben. Zeker voor de huidige situatie en die in de nabije toekomst (zoals de variant ‘wettelijke verliesnorm 2008’) klopt deze aanname niet. De werkelijke kosten van aanpassing van een bepaald bedrijf kunnen dus van bedrijf tot bedrijf variëren, en soms (sterk) verschillen van de aangenomen kosten in de varianten. Het gemiddelde van de werkelijke kosten voor echte bedrijven is niet noodzakelijkerwijs hetzelfde als het berekende gemiddelde. De kans op een dergelijke afwijking is groter naarmate de regio kleiner is en er minder bedrijven zijn, en als er gespecialiseerde bedrijven zijn die gerangschikt worden bij een algemeen bedrijfstype. Dit is het geval in het beschreven voorbeeld waarbij bedrijven met gladiolenteelt samengevoegd zijn met varkenshouderijen en akkerbouwbedrijven in de categorie niet-melkveebedrijven. De kans op een (groot) verschil tussen werkelijke en berekende kosten kan verminderd worden door meer bedrijfstypen te onderscheiden en ook specifieke varianten te ontwikkelen voor gespecialiseerde bedrijven.

De methodiek gaat niet in op de inspanningen van beleidsmakers en -uitvoerders om de berekende financieel optimale oplossing werkelijkheid te laten worden. Er wordt dus geen rekening gehouden met overhead en organisatiekosten. Ook kan het zijn dat een berekende oplossing niet of nauwelijks toepasbaar is bijvoorbeeld omdat het onmogelijk of te duur is om te controleren of de vereiste inspanningen geleverd worden of de gewenste resultaten bereikt worden.

6.1.3 Belangenafweging

De belangen van diverse groeperingen in de maatschappij laten zich met betrekking tot de nitraatproblematiek gedeeltelijk vertalen in wensen ten aanzien van:

- de gemiddelde nitraatconcentratie op regionaal niveau,
- het mogelijk vóórkomen van gebieden met een (veel) hogere nitraatconcentratie dan gemiddeld en elders gebieden met een (veel) lagere nitraatconcentratie,
- de te maken kosten,
- de mogelijkheden voor landbouwbedrijven voor een financieel en technisch interessante bedrijfsvoering.

Het LP-model kan gebruikt worden om de gevolgen te bepalen van wensen met betrekking tot elk van deze kenmerken op de anderen. Deze gevolgen zijn kwantitatief met betrekking tot de te maken kosten en de gemiddelde nitraatconcentratie, die allebei voor de gehele regio, subregio's en bedrijfstypen berekend worden. De mogelijkheden die bij bepaalde wensen resteren voor de landbouwkundige bedrijfsvoering worden gegeven door de variantenkeuze per bedrijfstype. Als zodanig kan het model daarmee een eventuele discussie verhelderen door de consequenties van wensen/eisen van één belangengroepering duidelijk te maken op de mogelijkheden voor andere groeperingen.

6.1.4 Extrapolatie naar andere gebieden

De kosten die berekend worden door het LP-model gelden voor een specifiek gebied met de specifieke varianten die aangeboden worden. Het is echter mogelijk om een ruwe schatting te geven voor de totale kosten in andere gebieden door de per ha uitkomsten voor een specifiek gebied te vermenigvuldigen met het totale areaal van een andere regio (§ 5.3.1). Deze schatting geeft echter hoogstens de orde van grootte van de kosten aan. De 'werkelijke' kosten kunnen in andere gebieden behoorlijk verschillen van deze schatting vanwege verschillen in de verdeling van het areaal over Gt's en bodemeenheden, in het areaal van de verschillende bedrijfstypen, in de aan te bieden varianten, en eventueel in andere kenmerken (§ 6.2). De huidige situatie in 'de Abdij' is relatief gunstiger wat betreft de nitraatuitspoeling dan in veel andere gebieden met droge zandgronden. Dit komt door het relatief grote areaal aan gronden met een hogere grondwaterstand dan in Gt VII en door het gevoerde stimuleringsbeleid van de WOG. In andere gebieden zullen de werkelijke kosten dus zeer waarschijnlijk hoger zijn dan de indicatie die met de hierboven genoemde extrapolatie wordt gevonden. De methodiek is echter wel geschikt om ook voor andere gebieden een kosten-raming te maken. Wel moet dan de benodigde geografische informatie over dat gebied (in digitale vorm) bekend zijn: bodemeenheden, Gt, bedrijfstypen.

6.2 Gebiedskenmerken

In de methodiek wordt gebruik gemaakt van een aantal gebiedsspecifieke gegevens die er mede toe kunnen bijdragen dat uitkomsten verschillen per gebied:

- Areaal en ligging van bedrijfstypen: in de methodiek wordt voor elke gridcel via het betreffende bedrijfstype, per variant het gemiddelde areaal per gewas in die gridcel bepaald en de bij die gewassen behorende neerslag- en stikstofoverschot. Via de Gt (en eventueel bodemeenheid) van de gridcel wordt dit stikstofoverschot vertaald naar een nitraatconcentratie in het bovenste grondwater. Elke unieke bedrijfstype-bodemeenheid-Gt-combinatie geeft een andere uitkomst. Elk gebied heeft een andere verdeling van het areaal over deze unieke combinaties, hetgeen ertoe leidt dat dezelfde randvoorwaarde betreffende regionale nitraatconcentraties zich kan vertalen in een andere variantenkeuze per bedrijfstypen. Dit wordt geïllustreerd door de verschillende uitkomsten van subscenario's die verschillen in de verhouding van het areaal niet-landbouwkundige bedrijfstypen ten opzichte van de agrarische bedrijven. Hoe specifieker de verdeling van het areaal over de bedrijfstypen, hoe specifieker het te veranderen landgebruik (de varianten) toegedeeld kan worden in het LP-model en hoe lager de uit de veranderingen voortvloeiende kosten zullen zijn.
- Effect van bodemeenheid en Gt op denitrificatie in de bovengrond: in het gepresenteerde onderzoek is aangenomen dat bij eenzelfde neerslag- en stikstofoverschot de eruitvoorkomende reële nitraatconcentratie van verschillende plots alleen varieert door verschillen in de Gt. In werkelijkheid kunnen ook andere kenmerken van de bodem een rol spelen (zoals organisch stof gehalte, mate van anaërobie). Deze kenmerken kunnen het effect van de Gt beïnvloeden zodat de relatie tussen denitrificatie en bodemeenheid-Gt van regio tot regio kan verschillen.

- Neerslagoverschotten: deze studie gebruikt gemiddelde waarden voor geheel Nederland van neerslagoverschotten van gewassen en de andere landgebruiksvormen. In een specifiek gebied kunnen andere waarden gelden, omdat zowel regenval als temperatuur en hoeveelheid ingestraalde zonne-energie regionaal verschillen. In het LP-model zijn deze gebiedsverschillen mee te nemen door de standaardwaarden voor de neerslagoverschotten aan te passen en scenario's opnieuw door te rekenen.
- N-depositie: bij de berekening van het stikstofoverschot in de varianten is een N-depositie van $48 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ meegenomen. Deze waarde kan echter per regio verschillen, en bij grote regio's zelfs per subregio. Als de methodiek toegepast wordt voor een gebied met een heel andere N-depositie dan is aangenomen moeten de varianten opnieuw berekend worden voordat ze in het LP-model toegepast kunnen worden.

6.3. Varianten

6.3.1 Algemeen

De schattingen van de N-overschotten en uitspoeling zijn gebaseerd op een goede vochtvoorziening van de gewassen. Eventuele verschillen in neerslagoverschot tussen al dan niet beregenen zijn niet meegenomen. Het effect daarvan op de N-uitspoeling dient evenwel in samenhang te worden gezien met de N-benutting. In situaties op droge zandgronden is veelal berekening nodig om dat te bereiken. In sommige gebieden is het beleid gericht op beperking van berekening uit oogpunt van bestrijding van de verdroging. In de beschreven varianten is aangenomen dat in alle gevallen toch voldoende beregend wordt, bijvoorbeeld door het op maat berekenen naar behoefte van het gewas met behulp van de beregeningsplanner zodat overmatig beregenen wordt voorkomen.

Indien voor een specifieke regio of variant deze aanname niet geldig is, moeten de varianten voor die regio opnieuw berekend worden: een watertekort kan een geringere benutting van de N tot gevolg hebben, hetgeen, samen met een lager neerslagoverschot, kan leiden tot een hogere nitraatconcentratie in het bovenste grondwater dan in de huidige varianten beschreven is. Ook de kosten van varianten kunnen anders uitvallen. Bovendien zullen minder droogtegevoelige gewassen meegenomen dienen te worden. In principe wordt het neerslagoverschot ook bepaald door het management (meer gewasgroei bij hogere bemesting leidend tot meer verdamping en een lager neerslagoverschot) of andere kenmerken van het landgebruik (oude bossen verdampen meer dan bossen die pas aangeplant zijn). In deze studie is aangenomen dat dergelijke effecten te verwaarlozen zijn. Ze kunnen echter meegenomen worden door een schatting voor het neerslagoverschot op te nemen in de beschrijving van de varianten.

De beschrijving van de varianten en de daarin opgenomen maatregelen is gebaseerd op inter- en extrapolatie uit N-trajecten van ander onderzoek. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de maatregel 'zomerstalvoeding' voor de intensieve bedrijfstypen. Deze maatregel draagt daar voor een belangrijk deel bij aan de kosten in de varianten 'gebiedstaak' en 'grondwaternorm'. Nader onderzoek naar de omvang van deze kosten is nodig. Dit geldt ook voor andere (combinaties van) maatregelen, en we

bevelen dan ook aan om de kosten nader uit te werken voor de N-trajecten in het beschreven onderzoek.

Daarnaast is het nodig om een breder pakket van (combinaties van) maatregelen te beschrijven dan in het huidige onderzoek om te komen tot een groter aantal varianten, met kleinere verschillen in kosten tussen de varianten (zie ook § 6.3.2). Deze aanbeveling geldt voor de intensieve en gemiddelde melkveebedrijven, in mindere mate voor de extensieve melkveehouderij, en in zeer sterke mate voor de niet-melkveebedrijven. In het huidige onderzoek heeft dit laatste bedrijfstype maar 3 varianten ('wettelijke verliesnorm 2008', 'extensieve graanteelt' en 'verschraling tot heide/schraalgrasland'), die bovendien beter uitgewerkt dienen te worden.

De maatregelen en kosten die behandeld zijn in deze studie betreffen de overbrugging van de landelijke eindverliesnormen (2008) met de bijbehorende potentiële N-uitspoeling naar een geringere uitspoeling. In het LP-model is verondersteld dat de bedrijven in 2008 inderdaad de landelijke verliesnorm realiseren. Het is echter zeer wel mogelijk dat een aantal bedrijven in 2008 nog steeds hogere N-overschotten heeft, en dat die bedrijven dus hogere kosten moeten maken dan beschreven staat in de varianten.

Indien het gewenst is om kosten te schatten van versnelde invoering van de wettelijke normen voor 2008 (zodat die dus voor het jaar 2008 bereikt worden), zullen de kosten van de varianten anders berekend moeten worden, namelijk ten opzichte van bijvoorbeeld de huidige situatie. De varianten zoals die nu beschreven zijn wel geldig wat betreft de maatregelen en de daar op gebaseerde inschatting van de nitraatuitspoeling.

6.3.2 Gebiedstaak en Grondwaternorm

De variant 'gebiedstaak' beschrijft maatregelen om de regionale nitraatconcentratie op $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ te krijgen. Hierbij is aangenomen dat de lage nitraatuitspoeling van het niet-landbouwkundige grondgebruik de hogere uitspoeling van de landbouwgronden mag compenseren. Ook is aangenomen dat alle bedrijfstypen in alle subregio's maatregelen dienen te treffen om dit regionaal gemiddelde te halen. Het staat echter niet bij voorbaat vast of de beschreven combinatie van maatregelen het meest kosten-effectief is. Het verdient aanbeveling om per bedrijfstype een varianten te beschrijven waarmee een bepaald nitraatgehalte in het bovenste grondwater op dat bedrijfstype wordt gehaald. Een voorbeeld hiervan is de variant 'grondwaternorm', waarbij per bedrijfstype de nitraatconcentratie ongeveer $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ wordt. Daarnaast zouden zowel hogere als lagere doelstellingen voor de nitraatconcentratie gekozen moeten worden, bijvoorbeeld 30, 40, 50, 60 en $70 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Bij de bepaling van deze 'vaste-norm' varianten moet de gemiddelde Gt per bedrijfstype bekend of geschat zijn.

In het huidige onderzoek is deze gemiddelde Gt geschat op VII. De uitkomsten van de scenario's wijzen erop dat de variantenkeuze voor een belangrijk deel bepaald wordt door de Gt: het LP-model wijst aan de bedrijfstypen op droge gronden kiezen andere varianten toe dan aan bedrijfstypen op de natte gronden, en die weer andere varianten dan bedrijven in het 'onbekende' deel (met een gemiddeld hogere grondwaterstand (i.e. lagere Gt klasse) dan de natte bedrijven). Dit komt gedeeltelijk door het niet-lineaire effect van de Gt op de nitraatconcentratie. Om meer

mogelijkheden tot keuzedifferentiatie tussen bedrijfstypen aan het LP-model te geven en om de beschrijving van de varianten minder specifiek te maken voor een bepaalde regio, is het aan te bevelen om de 'vaste norm' varianten voor een aantal Gt's te berekenen: bijvoorbeeld V, VI en VII.

6.3.3 Biologische melkveehouderij

Er zijn nog nauwelijks gegevens over N-uitspoeling op biologische bedrijven. Om het effect van biologische landbouw op de potentiële N-uitspoeling beter te kunnen beoordelen is onderzoek nodig naar de relatie tussen verschillende vormen van bedrijfsvoering in de biologische melkveehouderij en N-overschot en N-uitspoeling. Aandachtspunten daarbij zijn o.a. het gebruik van dierlijke mest op extensieve bedrijven, en de N-binding door vlinderbloemigen.

De voor deze variant gehanteerde kosten van omschakeling betreffen ten aanzien van de gemiddelde en intensieve bedrijven voor een belangrijk deel de kosten van extensivering (uitbreiding grond). In de scenario's bleken deze bedrijven gezien de daardoor veroorzaakte ongunstige kosten-batenverhouding nooit voor de biologische variant te kiezen. Onduidelijk is nog in hoeverre biologische bedrijfsvoering op zandgronden mogelijk is bij een melkproductie van meer dan 9000 kg-ha⁻¹. Dit is een aandachtspunt gezien de krapte op de grondmarkt, met name op de zandgronden.

6.3.4 Natuur en aangepast grondgebruik

Het omzetten van landbouwgrond naar natuur (of andere vormen van grondgebruik waarbij grond wordt onttrokken aan de landbouw) staat op gespannen voet met de grondbehoefte van de landbouw ten behoeve van extensivering. Het draagvlak voor deze maatregel zal daardoor niet erg groot zijn. Eventueel kan door beloning van productie van natuur of via inkomsten uit andere bronnen dit probleem opgelost worden. Dit is met name belangrijk aangezien in veel gevallen het LP-model kiest voor de omzetting van landbouwgrond naar schraalgrasland of heide.

In de huidige opzet van varianten en LP-model is er behalve via de nitraatconcentraties, geen interactie tussen 'natuur' en landbouw. In werkelijkheid zou productie van hooi op schraalgraslanden gebruikt kunnen worden om (gedeeltelijk) te voorzien in de behoefte aan ruwvoer op melkveebedrijven. Indien dit een wenselijke optie is, dienen varianten voor melkveebedrijven beschreven te worden waarin de behoefte aan extern geproduceerd hooi (met een laag eiwitgehalte) gekwantificeerd is. Het LP-model dient dan aangepast te worden zodat de regionale balans van productie en gebruik van dit hooi bijgehouden kan worden.

6.4 LP-model

In het LP-model zitten impliciet een aantal aannames waarvan bekend is dat ze niet juist zijn:

- a. het landgebruik in het onderzoeksgebied heeft geen effect op de N-depositie.
- b. het nitraatgehalte in het bovenste grondwater geeft een goede indicatie van het (toekomstige) nitraatgehalte in het diepe grondwater.

- c. het areaal van een bepaald bedrijfstype heeft geen effect op de prijzen van de producten ervan.
- d. elke willekeurige fractie van het areaal van een bepaald bedrijfstype kan toegewezen worden aan een bepaalde variant.

Om de volgende redenen is het LP-model toch bruikbaar voor het bepalen van kosten en nitraatconcentraties:

- a. *Landgebruik in het onderzoeksgebied heeft geen effect op N-depositie:* In werkelijkheid is de N-depositie in een gebied gedeeltelijk afhankelijk van de N-emissies (elders) in dat gebied: de meeste ammoniak uit stallen komt bijvoorbeeld weer dicht bij de stal neer. Deze emissies zijn gedeeltelijk gerelateerd aan de intensiteit en vormen van landgebruik. Bij de berekening van het stikstofoverschot in de varianten is dezelfde waarde voor N-depositie gebruikt voor alle varianten. In het LP-model wordt de intensiteit en vorm van landgebruik veranderd (door het kiezen van varianten), waardoor in principe de N-depositie verandert en dus eigenlijk die constante N-depositie niet juist is. Dit probleem zal groter zijn naarmate het landgebruik sterker veranderd ten opzichte van de huidige situatie.

In feite zou de N-depositie in het LP-model aangepast moeten worden als functie van de variantenkeuze. Dit leidt tot niet lineaire relaties (de variantenkeuze wordt namelijk gedeeltelijk afhankelijk van zichzelf) die het gebruik van een LP-model onmogelijk maken. In principe kan een niet-lineair model gemaakt worden, waarmee het effect van deze niet-lineaire relaties wel te berekenen is. Niet-lineaire optimalisatiemodellen hebben echter nadelen: de uiteindelijke gevonden oplossing is niet per definitie optimaal en het vinden van een oplossing vraagt vaak erg veel tijd. Andere argumenten zijn dat de preciese relatie tussen landgebruik en N-depositie niet erg duidelijk, en dus moeilijk te kwantificeren is, en dat de N-depositie voor een groot deel gerelateerd is aan niet-agrarisch landgebruik, waaronder weg-transport. De aanname die impliciet in het LP-model zit verwerkt lijkt daarom de meest werkbare oplossing.

- b. *Het nitraatgehalte in het bovenste grondwater geeft een goede indicatie van het (toekomstige) nitraatgehalte van het diepe grondwater:* In veel gevallen moet het infiltrerende water een lange weg in tijd en afstand afleggen voordat het komt op de plek van winning. Een hoge nitraatconcentratie in het bovenste grondwater heeft niet noodzakelijkerwijs een hoge nitraatconcentratie in het diepe grondwater tot gevolg, omdat onderweg vaak nog een (groot) deel van het nitraat afgebroken wordt. Dit gebeurt bijvoorbeeld doordat nitraat in anaërobe situaties reageert met in de ondergrond aanwezig pyriet en/of organisch materiaal. Dit wordt hierbij afgebroken, en die afbraak is sneller naarmate er meer nitraat in het bodem- en/of grondwater zit. De nitraatafbrekkende capaciteit van de ondergrond is niet onbeperkt, aangezien pyrietvoorraden in de bodem eindig zijn en de organische stof in de ondergrond niet of nauwelijks aangevuld wordt vanuit de bovengrond. Het is daarom te verwachten dat een grote uitspoeling van nitraat na verloop van tijd zal leiden tot een verhoging van het nitraatgehalte in het diepe grondwater. De duur van de periode waarin nitraat nog (voldoende) afgebroken wordt is afhankelijk van de condities in de ondergrond, welke zeer regio-specifiek zijn. Met de beschreven methodiek zijn over de duur geen uitspraken te doen. Het aspect van de afbraakcapaciteit van de ondergrond is van belang voor het beantwoorden van

de vraag wat de verwachte nitraatconcentratie in het gewonnen water is op een bepaald aantal jaren na nu. Een dergelijke vraag kan met de beschreven methodiek niet beantwoord worden.

In feite wordt met de beschreven procedure een schatting gemaakt van de uiteindelijke nitraatconcentratie na uitputting van de ondergrondse afbraakcapaciteit. Hierbij wordt aangenomen dat de nitraatafbrekende capaciteit van de bovengrond in tegenstelling tot die van de ondergrond wél vernieuwbaar is, en alleen deze capaciteit meegenomen mag worden in een schatting van een uiteindelijke evenwichtssituatie van het nitraatgehalte in het diepe grondwater. Deze aanname is te motiveren met de conclusies van Laeven et al (1995) dat het voor waterwinbedrijven goedkoper is om de nitraatproblematiek preventief aan te pakken door de huidige nitraatconcentratie terug dan het curatief aanpakken ervan door middel van het schoonmaken van met nitraat vervuild opgepompt water.

c. *Het areaal van een bepaald bedrijfstype heeft geen effect op de prijzen van de producten ervan:* In de beschrijving van de variant 'biologische landbouw' is aangenomen dat de liter-prijs voor biologische melk f 0,10 hoger is dan van gangbare melk. Het is de vraag of deze hogere prijs gehandhaafd blijft bij een (flinke) uitbreiding van de productie van biologische melk. Het effect van aanbod op prijs is in een LP-model mee te nemen (Hazell & Norton, 1986). Een dergelijke aanpassing maakt het LP-model echter veel groter en ondoorzichtiger. Bovendien is het niet waarschijnlijk dat er voor biologische melk voldoende gegevens zijn om een betrouwbare kwantitatieve relatie vast te stellen tussen aanbod en prijs. Het effect van een lagere prijs voor biologische melk is te bekijken door in een aparte variant de kosten ten opzichte van de in dit onderzoek gebruikte biologische variant te verhogen met de verminderde financiële opbrengst die veroorzaakt wordt door de prijsverlaging. Deze variant moet dan in plaats van de originele variant aangeboden worden aan het LP-model om te zien in welke mate er nog steeds voor biologische melkveehouderij wordt gekozen.

d. *Elke willekeurige fractie van het areaal van een bepaald bedrijfstype kan toegewezen worden aan een bepaalde variant:* Met name voor melkveebedrijven zullen in de praktijk de beschreven varianten alleen toepasbaar zijn op gehele bedrijven, en niet op delen ervan. Het LP-model zou dus eigenlijk alleen varianten mogen toewijzen aan het areaal van gehele bedrijven. Dit kan alleen gerealiseerd worden indien in het LP-model niet met bedrijfstypen maar met individuele bedrijven wordt gewerkt. In EXCEL is dit gezien de limitaties van de software niet mogelijk, en in veel gebieden zal ook de benodigde informatie ontbreken. Door het toekennen van varianten aan delen van bedrijven onderschat het huidige LP-model de kosten die gemaakt dienen te worden. Gebruik maken van de onderschatte kosten is mogelijk wanneer de uitkomsten gezien worden als een indicatie van de minimaal te maken kosten.

7 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk staan conclusies vermeld (§ 7.1) die ingaan op de methodiek zoals in dit rapport beschreven. De aanbevelingen (§ 7.2) geven aan welke aanpassingen kunnen leiden tot een nuttige verdieping van de verkregen inzichten die van belang kan zijn bij een eventuele uitvoering van aanvullend stikstofbeleid. Aanbevelingen zijn steeds *cursief* weergegeven.

7.1 Conclusies

1. Hoofddoel van dit onderzoek was het ontwikkelen van een rekenprocedure die als instrument kan worden gebruikt om voor een gebied, binnen beleidsmatige randvoorwaarden, de meest kosten-effectieve combinatie van maatregelen te bepalen. Het ontwikkelde Lineaire Programmerings (LP)-model voldoet aan dit doel. Met het LP-model kunnen de minimale kosten worden bepaald voor het bereiken van een bepaalde gemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater in een gebied.
2. Daarbij kan in berekeningen met het model rekening worden gehouden met fysieke regio-specifieke factoren zoals denitrificatie in relatie tot grondwaterstand en bodemeenheid, neerslagoverschot en grondwateraanvulling.
3. Tevens kan rekening worden gehouden met de volgende beleidsmatige keuzes en randvoorwaarden:
 - Het al dan niet differentiëren van de normen voor de nitraatconcentratie per deel van het gebied.
 - Het al dan niet differentiëren of limiteren van de normen voor de nitraatconcentratie per bedrijfstype.
 - Het afzetten van de kosten van de veranderingen ten opzichte van een nader te bepalen referentiesituatie.
 - Het bepalen van de gebiedsomvang (met het oog op eventuele compensatie van te hoge N-uitspoeling onder agrarische delen van het gebied door geringe N-uitspoeling onder niet-agrarische delen van het gebied).
4. Het ontwikkelde LP-model is toegankelijk en bruikbaar voor de opdrachtgevers en voor beleidsmakers inzake grondwaterkwaliteit en gebiedsgericht beleid.
5. Binnen het LP-model is gebruik gemaakt van kennis uit verschillende disciplines. In de effectberekeningen zijn landbouwkundige, Gt- en bodemkundige gegevens samengevoegd. Een belangrijk onderdeel van de methodiek is de vertaling van bedrijfsresultaten in termen van stikstofoverschotten naar de nitraatconcentraties in het grondwater in de verschillende delen van het gebied. Als beslissingsondersteunend instrument biedt het model daardoor de mogelijkheid om meer integrale afwegingen te maken en te komen tot maatwerk voor een gebied.
6. De in dit rapport beschreven berekeningen zijn gemaakt voor een reëel, maar omwille van de werkbaarheid gesimplificeerd, gebied op zandgrond dat kwetsbaar is voor nitraatuitspoeling. Door de hoge nitraatbelasting door melkveebedrijven wordt de kwaliteit van de drinkwaterwinning in het gebied bedreigd. Met het LP-model zijn voor dit gebied drie scenario's doorgerekend, respectievelijk resulterend in een maximale concentratie van 50, 37,5 of 25 mg·l⁻¹ NO₃ in het freatische grondwater, gemiddeld over het hele gebied. De variantkeuze die door het model

als meest efficiënt wordt berekend verschilt per scenario en per bedrijfstype. In veel gevallen berekent het model voor de extensieve bedrijven omschakeling naar biologische bedrijfsvoering als het meest kosten-effectief. Voor de gemiddelde en intensieve bedrijven is die optie veelal te duur indien daartoe zoals in de gehanteerde varianten grond moet worden aangekocht. Op deze bedrijven lijkt het realiseren van de gebiedstaak of de grondwaternorm meer kosten-effectief. In geen enkel geval 'koos' het model voor aankoop van landbouwgrond ten behoeve van functieverandering; deze optie is blijkbaar onvoldoende kosten-effectief. Dit geldt ook voor de omzetting van naaldbos in gebruiksvormen met een lagere nitraatuitspoeling (loofbos en schraalgrasland/heide).

7. Het LP-model berekent vaak grote effecten van nitraatuitspoeling onder natuur op de regionale nitraatconcentratie en daarmee op de kosten die landbouwbedrijven moeten maken om de regionale nitraatconcentratie tot een vastgestelde norm te laten dalen. Onder het in het gebied aanwezige naaldbos wordt op basis van landelijke gegevens een relatief hoge N-uitspoeling en laag neerslagoverschot verwacht. Dergelijke niet-landbouwkundige belasting van het grondwater verzwart sterk de gebiedstaak voor de landbouw en de kosten van aanpassing van landgebruik in scenario's waarin 37,5 en 25 mg·l⁻¹ NO₃ moet worden bereikt ten opzichte van scenario's met 50 mg·l⁻¹. Aanwezigheid van vegetaties met een geringe N-uitspoeling en een hoog neerslagoverschot kan de taakstelling voor de landbouw daarentegen relatief verlichten en de kosten verlagen. Dit blijkt ook uit de resultaten van de scenario's voor gebieden met een van het proefgebied afwijkende verhouding tussen de arealen van landbouw en natuur: de totale kosten voor een gebied met relatief veel landbouw vallen hoger uit.
8. Wanneer de vereiste informatie is gegeven kan het LP-model ook voor andere situaties worden gebruikt, bijvoorbeeld voor gebieden met andere landbouwsectoren, andere intensiteit van landgebruik of met minder kwetsbare, nattere gronden.
9. De methodiek is bruikbaar om van een aantal mogelijke beleidsdoelstellingen op het gebied van de nitraatconcentratie in het grondwater de effecten op kosten en nitraatconcentraties te kwantificeren. De kwaliteit en hardheid van de uitkomsten zijn echter gerelateerd aan de kwaliteit en hardheid van de gebruikte gegevens. De in dit rapport gepresenteerde uitkomsten zijn op grond van de aannames en het beperkte aantal varianten daarom indicatief voor de te maken kosten en resulterende nitraatconcentraties, maar geven nog geen harde feiten weer.

7.2 Aanbevelingen

1. De gehanteerde varianten bevatten inschattingen van kosten en effecten van maatregelen om nitraatuitspoeling te verminderen. Deels zijn deze inschattingen onvoldoende met onderzoek onderbouwd. In veel gevallen zullen de gepresenteerde kosten een onderschatting geven van de werkelijk te maken kosten. Anderzijds zijn er nog andere maatregelen denkbaar die in deze studie niet meegenomen zijn.

** We bevelen aan om nader onderzoek te doen naar deze kosten-effectenrelaties, met name naar de reële mogelijkheden voor landbouwbedrijven voor verdere verlaging van het N-overschot (o.a. door inpassing van alternatieve teelten) en de sociaal-economische consequenties daarvan.*

2. Wegens gebrek aan gebiedspecifieke informatie is de in de varianten beschreven nitraatuitspoeling onder natuur gebaseerd op landelijke gegevens.
 - * *We bevelen aan om de huidige nitraatconcentratie onder verschillende typen natuur nader te onderzoeken voor een realistischer inschatting van de gebiedstaak voor de landbouw.*
3. De scenario's zijn doorgerekend met een beperkt aantal varianten (alternatieven voor landgebruiksvormen met daarbij behorende kosten). De uitkomsten van het model bieden daardoor een eveneens beperkt beeld van de mogelijke en meest aantrekkelijke combinaties van maatregelen.
 - * *We bevelen aan om de scenario's met meer, goed onderbouwde en op het gebied afgestemde varianten door te rekenen. Uitbreiding en nadere detaillering van varianten is nodig, met name op het gebied van alternatieve teelten (bij voorkeur met gebruikswaarde voor de landbouwbedrijven en passend binnen het bouwplan) en omschakeling naar biologische melkveehouderij (o.a. extensivering middels verleasen van melkquotum en met nader onderzoek naar de relatie tussen N-overschot en nitraatuitspoeling). Voorts dienen voor elk specifiek gebied in interactie met betrokkenen de nodige adequate, op het gebied en de bedrijven toegesneden varianten uitgewerkt te worden.*
4. In het LP-model is nu gewerkt met een indeling van landbouwbedrijven in 'bedrijfstypen', die elk een bepaald areaal beslaan. Bij de keuze van maatregelen voor delen van het gebiedsareaal is geen rekening gehouden met de specifieke situatie van de individuele bedrijven binnen dat bedrijfstype (zoals omvang).
 - * *Om het mogelijk te maken nauwkeuriger en meer gebiedspecifieke resultaten te berekenen, bevelen we aan om het LP-model aan te passen met de mogelijkheid om op het niveau van individuele bedrijven maatregelen te kiezen.*
5. Met de in dit rapport beschreven methodiek kunnen consequenties van verschillende beleidskeuzes kwantitatief in beeld worden gebracht. Daarbij worden echter niet-gekwantificeerde maar zeer belangrijke zaken als draagvlak onder de betrokkenen in het gebied en eventuele interactie met andere problemen dan nitraatuitspoeling niet meegewogen.
 - * *We bevelen aan om in een open en zorgvuldig proces met alle betrokkenen in het gebied gezamenlijk te zoeken naar passende en integrale oplossingen. Dit zou o.a. kunnen inhouden dat de methodiek uitgebreid wordt om ook problemen als fosfaat- en pesticidenuitspoeling mee te nemen. Eventueel zou ook vervuiling van het oppervlaktewater in de methodiek betrokken kunnen worden.*

Literatuur

- Bentum, M. van & N. Zuurdeeg 1996. 'Infiltratiesystemen in de landbouw: een haalbare toekomst?' Landinrichting 4: 9-13.
- Boumans, L.J.M. & W.H.J. Beltman 1991. Kwaliteit van het bovenste grondwater in de zandgronden in de zandgebieden van Nederland, onder bos en heideveld. RIVM, Bilthoven.
- Boumans, L.J.M., C.R. Meinardi & G.J.W. Krajenbrink, 1989. Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden. RIVM, Bilthoven.
- Buijze, S.T. & E.E. Biewinga, 1995. Boeren op goed grondwater. Normen voor landbouw vanuit grondwaterbescherming. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht. 64 pp. + bijlagen.
- Dijkstra, J.P., M.J.D. Hack-ten Broeke, F.G. Wijnands & B.M.A. Kroonen-Backbier, 1995. Stikstofemissie naar het grondwater van geïntegreerde en gangbare bedrijfssystemen in de akkerbouw op de proefboerderijen Borgerswold en Vredepeel. Simulatie van de vocht- en nitraat-huishouding op de proefboerderij Vredepeel voor de jaren 1990-1993. SC-DLO, Wageningen. Rapport 287.2.
- Dijkstra, J.P., Y. Hofmeester, M.J.D. Hack-ten Broeke & F.G. Wijnands, 1996. Stikstofemissie naar het grondwater van geïntegreerde en gangbare bedrijfssystemen in de akkerbouw op de proefboerderijen Borgerswold en Vredepeel. Simulatie van de vocht- en nitraat-huishouding op de proefboerderij Borgerswold voor de jaren 1990-1993. SC-DLO, Wageningen. Rapport 287.3.
- Doorgeest M., 1996. Skal: normen en verwachtingen. Ekoland 16(4): 12-13.
- Drecht, G. van, F.R. Goossensen, M.J.D. Hack-ten Broeke, E.J. Jansen & J.H.A.M. van Steenvoorden, 1991. Berekening van de nitraatuitspoeling met behulp van eenvoudige modellen. SC-DLO, Wageningen. Rapport 163.
- Gehrels, J.C. & A.J. Dolman 1996. Veluwe-modelberekeningen op basis van nieuwe bosverdampingsgegevens. H2O 25: 753-746.
- Goossensen, F.R. & P.C. Meeuwissen (red.), 1990. Advies van de Commissie Stikstof. Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen.
- Hazell, P.B.R. & R. D. Norton, 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture. MacMillan Publishing Company, New York. 399 pp.
- Holst, A.F., H.C. van Heesen & H. Makken, 1974. Waterwingebied 't Klooster (Hengelo Gld.). Toelichting op en verwerking van bodemkundige gegevens. STIBOKA, Wageningen. Rapport 1109.

- Kleinsman, W.B., A. Scholten & G. Rutten, 1973. Ruilverkavelingsgebied Hengelo-Zelhem. De bodemgesteldheid. STIBOKA, Wageningen. Rapport 959.
- Laeven, M.P., C.G.E.M. van Beek & C.M. Gommer, 1995. Aanpak verontreiniging bronnen voor de drinkwatervoorziening. Preventief of curatief? 1995. KIWA, Nieuwegein.
- Langelaan, I.S. 1997. Biologische melkveehouderij geen verkeerde keuze. *Agrimonitor* 3: 4-5.
- LNV, 1997. Ontwerp-Besluit stikstofcorrectie Meststoffenwet. *Staatscourant* 701: 11
- LNV & VROM, 1995. Integrale notitie mest- en ammoniakbeleid. Tweede Kamer der Staten Generaal, Vergaderjaar 1995-1996, 24445, nr. 1. Sdu, Den Haag.
- Nieuwenhuize, J., G.B.C. Backus, H. Havinga, J. Zijlstra, D.W. de Hoop, A.T. Krikke & F. Mandersloot 1995. Verkenning van sociaal-economische gevolgen van diverse rekenvarianten voor fosfaat- en stikstofverliesnormen - Rapport van de werkgroep 'Sociaal-economische gevolgen van P- en N-verliesnormen'. LNV, VROM, V&W, Landbouwschap, LTO-Nederland, Den Haag.
- Oosterveld, E.B. & P. Terwan, 1995. Kosten en baten van natuurbeheer - Naar een breed gedragen methodiek. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.
- Sluys, P. van der, 1990. Grondwatertrappen. In: W.P. Locher en H. Bakker. (ed), *Bodemkunde van Nederland. Deel 1. Algemene bodemkunde.* blz 167-180. Malmberg Den Bosch. Tweede druk.
- Stichting Natuur en Milieu, Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland & Waterpakt, 1996. Handreiking. Aanvullend (regionaal) stikstofbeleid voor de droge zand- en lössgronden. Stichting Natuur en Milieu, Utrecht. 27 pp.
- Thunnissen, H.A.M. & E. Noordman, 1996. Classification methodology and operational implementation of the land cover database of the Netherlands. SC-DLO, Wageningen. Report 124.
- Tjalker, I. 1996. Mineralenboekhouding biologische landbouw. Eerste verslag. DLV-biologische landbouw, Lelystad.
- Vogelaar, A.J., P.K. Baggelaar & C.G.E.M. van Beek, 1990. Het effect van mestbeperkende maatregelen in grondwaterbeschermingsgebied het Klooster. Vaststelling van de uitgangssituatie. KIWA, Nieuwegein. Rapport SWO 90.245.
- Vogelaar, A.J., P.K. Baggelaar & C.G.E.M. van Beek, 1992. Het effect van mestbeperkende maatregelen in grondwaterbeschermingsgebied het Klooster. Verslag van bemonsteringsronde 1991 en vergelijking met de uitgangssituatie. KIWA, Nieuwegein. Rapport SWO 92.274.
- Vogelaar, A.J., 1994. Het effect van mestbeperkende maatregelen in grondwaterbeschermingsgebied het Klooster. Verslag van de bemonsteringsronde 1993, verge-

- lijking met de uitgangssituatie en evaluatie van de steekproefopzet. Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA, Nieuwegein. Rapport SWO 94.356.
- Waterleidingmaatschappij Overijssel, 1997. Hennep experiment. Gezonde landbouw Goed Drinkwater - Nieuwsbrief 3: 4.
- Werff, P.A. van der, H. Kloen, G.J.M. Oomen, A. Baars, J.G. Bokhorst & M.J.H. van Dongen, 1992. Toetsing en nadere ontwikkeling van milieuvriendelijke bedrijfsvoering en beperking van milieuemissies van biologische bedrijven op zandgronden. Interim rapport 1 juli 1990-1juli 1991. LandbouwUniversiteit Wageningen.
- Wet, 1997. Wet van 2 mei 1997, houdende wijziging van de meststoffenwet. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden 1997, 360.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman & J. Stolte, 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. SC-DLO, Wageningen. Technisch Dokument 18.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1:250.000, ten behoeve van de PAWN-studie. STIBOKA, Wageningen. Rapport 2055.

Niet-gepubliceerde bronnen

- Boland, D. & H. van Zeijts 1997. Boeren op goed grondwater II - Concept. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.
- Joosten, L., 1997. Persoonlijke mededeling. Vereniging van exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN), Rijswijk.
- Middelkoop, N., 1996. Gevolgen voorstellen Integrale Notitie voor de potentiële stikstofuitspoeling op agrarische bedrijven. Notitie. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.
- Reuling, Th., 1997. Persoonlijke mededeling. Waterleidingmaatschappij Oostelijk Gelderland (WOG), Doetinchem.
- Water, K., 1997. Persoonlijke mededeling. DLV-team biologische landbouw, Lelystad.

Aanhangsel 1 Vertaalsleutel van GLG-verlaging naar GHG-verlaging

De voor ontwateringsmaatregelen vernieuwse grondwatertrappen (Gt) zijn vertaald in een GHG en GLG met behulp van regels van Van der Sluys (1990; Tabel 30). Van der Sluys heeft minder Gt's onderscheiden dan in het onderzoeksgebied bekend zijn. In twee gevallen levert dit problemen op en zijn andere gemiddelde waarden toegekend. Gt VIId heeft een GLG-klasse van meer van 180 cm - mv. terwijl Van der Sluys een gemiddelde GLG geeft van 155; Gt VIIo heeft een GLG-klasse tussen 80 en 140 cm - mv. terwijl Van der Sluys een gemiddelde GLG geeft van 190.

Vervolgens zijn gemiddelde GHG- en GLG-waarden gecombineerd met de

Tabel 30 Grondwatertrappen, GHG- en GLG-klassen (Ten Cate, 1995) en vertaling in een gemiddelde GHG en GLG (Van der Sluys, 1990).

Grondwater-trap	GHG-klasse (cm - mv.)	GLG-klasse (cm - mv.)	gemiddelde GHG (cm - mv.)	gemiddelde GLG (cm - mv.)
IIIb	25-40	80-120	32	102
Vb	25-40	>120	32	142
VI	40-80	>120	61	155
VIo	40-80	120-180	61	155
VIId	40-80	>180	61	180 (155)
VII	80-140	>120	101	190
VIIo	80-140	120-180	101	150 (190)
VIIId	80-140	>180	101	190
VIIIId	>140	>180	185	281

verlagingspatronen voor GHG en GLG. Deze patronen zijn gebaseerd op diverse onderzoeken naar de effecten van waterontrekking. Het definitieve verlagingspatroon voor de GLG, opgedeeld in klassen van 10 cm, is officieel vastgesteld door de droogteschadecommissie Oost-Gelderland (pers. med. Th. Reuling, 1997, WOG). Het verlagingspatroon voor de GHG is afgeleid van het verlagingspatroon van de GLG (Tabel 31). Uiteindelijk leveren bovenstaande acties een nieuwe GHG en GLG op met een bijbehorende Gt.

Tabel 31 Het verlagingspatroon voor de GHG zoals is afgeleid van het verlagingspatroon van de GLG (pers. mededeling Th. Reuling, 1997, WOG).

Verlaging GLG (cm)	Verlaging GHG (cm)
10	0
20	5
30	10
40	15
50	20
60	30
70	35
80	45
90	55
100	65
> 100	2/3 van GLG-verlaging.

Aanhangsel 2 Beschrijving bodemfysische eenheden

De bodemfysische eenheden zijn als volgt beschreven:

- kolom 1: horizontcode;
- kolom 2: bovengrens horizont (cm - mv.);
- kolom 3: ondergrens horizont (cm - mv.);
- kolom 4: bodemfysische bouwsteen Staringreeks (Wösten et al., 1994);
- kolom 5: droge bulkdichtheid (kg.dm^{-3});
- kolom 6: Al/Fe gehalte van de droge grond (mmol.kg^{-1});
- kolom 7: organische stof gehalte van de droge grond (gewichtsperscentage);
- kolom 8: lutumgehalte van de minerale delen (gewichtsperscentage);
- kolom 9: zuurgraad van de bodem - pH-KCl (-)

Bodemfysische eenheid 8 (podzolgronden in leemarm, fijn zand)

'A1'	0	15	'B01'	1,3	84,5	5,	3,	3,8
'B2'	15	35	'B01'	1,4	98,8	3,	3,	4,2
'B3'	35	50	'O01'	1,5	98,2	2,	3,	4,4
'C'	50	100	'O01'	1,6	52,5	0,5	3,	4,6
'Cx'	100	700	'O01'	1,6	52,5	0,5	3,	4,6

Bodemfysische eenheid 9 (podzolgronden in zwak lemig, fijn zand)

'Ap'	0	20	'B02'	1,3	66,4	5,	3,	4,8
'B2'	20	50	'B02'	1,5	66,2	3,	3,	4,4
'B3'	50	75	'O02'	1,6	45,9	2,	3,	4,4
'C1g'	75	100	'O02'	1,6	34,9	0,5	3,	4,6
'C1gx'	100	700	'O02'	1,6	34,9	0,5	3,	4,6

Bodemfysische eenheid 12 (enkeerdgronden in zwak lemig, fijn zand)

'Aanp'	0	25	'B02'	1,3	78,2	5,	3,	4,4
'Aan2'	25	75	'B02'	1,3	87,1	4,	3,	4,4
'B2'	75	100	'B02'	1,4	81,0	2,	3,	4,5
'Cx'	100	700	'O02'	1,5	70,5	0,5	3,	4,7

Bodemfysische eenheid 13 (beekeerdgronden in sterk lemig, fijn zand)

'Ap'	0	25	'B03'	1,3	85,3	6,	6,	4,9
'C11g'	25	50	'O03'	1,7	59,4	1,	6,	5,0
'C12'	50	100	'O02'	1,7	27,4	0,5	4,	5,2
'Gx'	100	700	'O02'	1,7	11,8	0,5	4,	5,4

Aanhangsel 3 GIS-bestanden

GT1 polygonen coverage met grondwatertrappen; item Gt_NEW

GRGT1 grid coverage met grondwatertrappen; item VALUE

- 1 onbekend
- 51 Gt Vb
- 61 Gt VI
- 71 Gt VII
- 81 Gt VIII

BODEM1 polygonen coverage met bodemfysische eenheden; item BFE

GRBODEM1 grid coverage met bodemfysische eenheden; item VALUE

- 1 onbekend
- 8 bodemfysische eenheid 8
- 9 bodemfysische eenheid 9
- 12 bodemfysische eenheid 12
- 13 bodemfysische eenheid 13

BEDR2 polygonen coverage met landgebruik; item SOORT

GRBEDR2 grid coverage met landgebruik; item VALUE

- 1 intensieve melkveebedrijven (nat)
- 2 gemiddelde melkveebedrijven (nat)
- 3 extensieve melkveebedrijven (nat)
- 4 bedrijven zonder melkvee (nat)
- 5 onbekende bedrijven
- 6 naaldbos
- 7 loofbos
- 8 open natuur
- 9 zandverstuiving
- 10 bebouwing
- 11 zoet binnen water
- 12 intensieve melkveebedrijven (droog)
- 13 gemiddelde melkveebedrijven (droog)
- 14 extensieve melkveebedrijven (droog)
- 15 bedrijven zonder melkvee (droog)

BEDR2 polygonen coverage met landgebruik; item LANDGEBRUIK

- 1 = gras
- 2 = maïs
- 3 = overig bouwland
- 4 = loofbos
- 5 = naaldbos
- 6 = open natuur
- 7 = zandverstuiving
- 8 = zoet binnen water
- 9 = bebouwing

PLOT grid coverage met unieke combinaties van de values GRGT1 (Gt's), GRBODEM1 (bodempysische eenheden) en GRBEDR2 (bedrijfstypen)

Aanhangsel 4 EXCEL versie van het LP-model: NITRAAT.XLS

Inleiding

De EXCEL-versie van het LP-model (Hoofdstuk 4), bevat de volgende onderdelen:

- de onderscheiden bodemeenheden-Gt-bedrijfstype-combinaties (in werkblad 'Land'),
- aannames betreffende het neerslagoverschot van de gewassen en de stikstofuitspoeling voor zover die niet afhankelijk is van de varianten (in werkblad 'Basis'),
- per variant voor elk bedrijfstype de kosten, potentiële nitraatuitspoeling, effect van bodemeenheden en Gt's op de nitraatuitspoeling en het neerslagoverschot (in werkbladen 'Var_huidig', 'Var_w2008', 'Var_nom', 'Var_gtaak', 'Var_normext', 'Var_gtaakext', 'Var_biol', 'Var_heide' en 'Var_loofb'),
- het optimalisatiemodel (werkblad 'Optimalisatie'),
- de bereikte gemiddelde nitraatconcentratie per bodemeenheden-Gt-bedrijfstype-combinatie (in werkblad 'Resultaten_bedrijf_bodem_gt'),
- MACRO's om in het optimalisatiemodel alle land te zetten op één van de varianten huidig, wettelijke verliesnorm 2008, grondwaternorm of gebiedstaak (werkblad 'Variantenkeuze'),
- een MACRO om resultaten te kopiëren naar een aparte uitvoerfile (werkblad 'Datacopy').

De inhoud en de onderlinge relatie tussen de diverse werbladen wordt hier beschreven. Aanhangsel 5 gaat in op het aanroepen van de optimalisatieprocedure in EXCEL.

Werkblad 'land'

Het areaal van elke bodemeenheden-Gt-bedrijfstype-combinatie wordt, met een identificatienummer, bepaald bij het maken van de overlay van bodem-, grondwatertrap- en bedrijfstypenkaart. Colom A bevat de codes van de bodemeenheden, colom B de codes van de Gt's, colom C geeft het identificatienummer, en colom D het areaal van de bodem-Gt-combinatie voor het bedrijfstype vermeld in colom C rij 1. Colommen E+F, G+H, etc. bevatten dezelfde informatie voor de andere bedrijfstypen.

De code -99 voor bodemeenheden betekent dat deze niet bekend is. Dezelfde code wordt gebruikt voor het aangeven van een onbekende Gt. Een identificatienummer gelijk aan 0 geeft aan dat de bijbehorende combinatie van bodemeenheden, Gt en bedrijfstype niet voorkomt in het onderzoeksgebied.

Voor andere gebieden dient dit werkblad handmatig aangepast te worden op basis van de uitkomsten van de overlay procedures. Momenteel worden 16 combinaties van bodemeenheden en Gt onderscheiden. Indien in andere gebieden meerdere combinaties bestaan, dienen alle combinaties in dit werkblad ingevuld worden. De werbladen 'optimalisatie' en 'resultaten_bedrijf_bodem_gt' moeten dan aangepast worden (zie onder).

Werkblad 'basis'

De volgende gegevens/aannames staan in dit werkblad:

- stikstofuitspoeling en neerslagoverschot per landgebruiksvorm,
- verdeling van het areaal van het onbekende gebied over de bedrijfstypen,
- fractie van het areaal per bedrijfstype dat ingenomen wordt door bebouwing en water,
- factoren om de verhouding van het areaal landbouw ten opzichte van de arealen van de verschillende andere landgebruiksvormen aan te passen.

De stikstofuitspoeling van bepaalde vormen van landgebruik is in het huidige model constant, dus onafhankelijk is van het scenario. Dit betreft naaldbos, loofbos, heide of schraalgrasland, bebouwing, water en extensieve graanteelt. Voorts is het neerslagoverschot voor elke vorm van landgebruik onafhankelijk gesteld van het scenario. Voor het landgebruik in colom A staan de aannames van de waarde voor neerslagoverschot in colom C, voor stikstofuitspoeling in colom D, en, voor zover er een waarde voor de stikstofuitspoeling is gegeven, de berekende potentiële nitraatconcentratie in colom E. In werkblad 'optimalisatie' en de werkbladen voor de varianten ('var...'), wordt aan deze getallen gerefereerd via een naam die aan elk getal gegeven is. De neerslagoverschotten hebben de naam 'nso_xxx', waarbij xxx refereert aan het gewas: gras, maïs, ovlb (overige landbouw), graan, heide (+schraalgrasland), dnldb (donker naaldbos), loofb (loofbos), erf en water. Eenzelfde type naamgeving geldt voor de stikstofoverschotten (sso_xxx) en de potentiële nitraatconcentratie (no3_pot_xxx). Indien andere waarden ingevuld worden in de cellen die nu in gebruik zijn, zal deze verandering direct effect hebben op de uitkomsten in de andere werkbladen. Als meerdere gewassen onderscheiden worden, moeten nieuwe rijen en nieuwe namen toegevoegd worden en dienen de werkbladen waarin gerefereerd wordt aan de inhoud van het werkblad 'basis' aangepast te worden (zie onder).

In het huidige model is aangenomen dat het onbekende gebied eenzelfde relatieve verdeling van het areaal over de bedrijfstypen heeft. In regel 15 staat de fractie van het areaal in het onbekende gebied ingenomen door elke in regel 14 genoemd bedrijfstype. In werkblad 'optimalisatie' worden deze getallen gebruikt door te refereren aan de naam van de cellen waarin de getallen staan: fr_ex (voor het extensieve bedrijfstype), fr_gem (gemiddelde bedrijfstype), fr_in (intensieve bedrijfstype) en fr_zonder (bedrijven zonder melkvee). Indien andere verhoudingen gewenst zijn kunnen deze hier handmatig ingevuld worden. De verandering heeft direct effect op de uitkomsten.

Per bedrijfstype wordt aangegeven welke fractie van het totale areaal wordt ingenomen door water (Cellen D18-O18) en bebouwing (Cellen D19-O19). Dit heeft effect op de nitraatuitspoeling (zie ook de aannames over stikstofuitspoeling per landgebruiksvorm). Bij de (handmatige) berekening van de totale kosten en de kosten per ha zoals vermeld in de werkbladen voor de varianten moet voor de landbouwbedrijven met het areaal aan erf rekening gehouden worden: subsidies e.d. gelden alleen voor ha die werkelijk onder een bepaalde landgebruiksvorm liggen, bij de aankoop van extra grond moet niet uitgegaan worden van het totale areaal per bedrijfstype, maar van het areaal bouwland. In het LP-model worden de kosten per ha omgerekend tot totale kosten voor de hele regio via een vermenigvuldiging met het totaal aantal ha (met inbegrip van erf e.d.). Daarom moeten de pa ha kosten in de

werkbladen voor de varianten berekend worden als de totale kosten per bedrijfstype gedeeld door het totale areaal van dat bedrijfstype.

Vermenigvuldingsfactoren (rij 19-22 voor de niet landbouwsystemen in rij 18) maken de verhouding landbouwgrond ten opzichte van andere vormen van landgebruik (naaldbos, loofbos, open natuur, bebouwing en water) gelijk aan de gemiddelden die gelden voor een aantal grotere gebieden binnen de provincie Gelderland. Deze factoren zijn berekend op basis van gegevens aangeleverd door Paul van der Voet (Provincie Gelderland) over totale arealen van de verschillende vormen van landgebruik in de verschillende deelgebieden van Gelderland.

Werkbladen 'var_huidig', 'var_w2008', 'var_nom', var_gtaak', 'var_normext', 'var_gtaakext', 'var_biol', 'var_heide' en 'var_loofb'

Voor elke variant is een werkblad gecreëerd waarin

- a) Aanduiding van naam van variant: cel A1.
- b) Namen van bedrijfstypen: cellen D1-V1, refererend aan cellen D37-V37 in werkblad 'Optimalisatie'.
- c) Geldigheid van variant (0 = nee; 1 = ja) voor aangeduide bedrijfstype: cellen D2-V2; refererend aan cellen D50-V58 in werkblad 'Optimalisatie', afhankelijk van variant.
- d) Een schatting van de éénmalige kosten als gemiddelde per ha van het gehele bedrijf (dus niet alleen van het bouwland; in werkblad 'Optimalisatie' worden deze getallen weer met het totaal aantal ha voor elk bedrijfstype vermenigvuldigd): cellen D3-V3; deze getallen moeten handmatig ingevuld worden. Indien de variant voor een bepaald bedrijfstype niet geldt hoeft hier niets te zijn ingevuld.
- e) Variabele kosten, gemiddeld per ha van het gehele bedrijf (dus niet alleen van het bouwland; in werkblad 'Optimalisatie' worden deze getallen weer met het totaal aantal ha voor elk bedrijfstype vermenigvuldigd): cellen D4-V4; deze getallen moeten handmatig ingevuld worden. Als de variant niet geldt voor een bepaald bedrijfstype hoeft niets te zijn ingevuld.
- f) Potentiële jaarlijkse stikstofuitspoeling per ha maïs: cellen D5-V5; deze getallen moeten handmatig ingevuld worden. Geldt de variant niet voor een bepaald bedrijfstype dan hoeft niets te zijn ingevuld.
- g) Berekende potentiële nitraatconcentratie onder maïs: cellen D6-V6; niet veranderen! Als de variant niet geldt voor een bepaald bedrijfstype hoeft hier niets te zijn ingevuld.
- h) Als f voor gras: cellen D7-V7.
- i) Als g voor gras: cellen D8-V8.
- j) Als f voor overige landbouw: cellen D9-V9.
- k) Als g voor overige landbouw: cellen D10-V10.
- l) Berekend areaal gras als fractie van totaal areaal bouwland: D12-V12; niet veranderen! Als de variant voor een bepaald bedrijfstype niet geldt hoeft hier niets te zijn ingevuld.
- m) Areaal maïs als fractie van totaal areaal bouwland: D13-V13; deze getallen moeten handmatig ingevuld worden. Als de variant voor een bepaald bedrijfstype niet geldt hoeft hier niets te zijn ingevuld.
- n) Als m voor areaal overige landbouw: D14-V14.
- o) Berekening van de 'reële' hoeveelheid uitgespoelde nitraat: cellen A17-V35. De inhoud van deze cellen alleen veranderen indien er andere landgebruiksvormen in

de specifieke variant bijkomen of indien een andere berekeningsmethode gewenst is. Indien de variant voor een bepaald bedrijfstype niet geldt kan het zijn dat de inhoud van de betreffende cellen leeg is. In colom A, B en C wordt gerefereerd naar de cellen A en B 85-103 en C106-124 waarin de codes staan voor bodemeenheid, Gt en effect van bodem en Gt op de reductie van de potentiële uitspoeling. In colommen D-V rijen 18-34 wordt voor elke combinatie van bodemeenheid en Gt de reële hoeveelheid uitgespoelde nitraat uitgerekend (in $\text{kg}\cdot\text{jr}^{-1}$ uit het areaal van die combinatie) op basis van het relatieve voorkomen van de verschillende landgebruiksvormen en de nitraatuitspoeling per landgebruiksvorm. Let wel dat in colommen D-O (waarin de landbouwbedrijven staan) gegevens betreffende de landgebruiksvormen maïs, gras en overige landbouw gebruikt worden, terwijl in de colommen R-V (waarin de overige landgebruiksvormen) gerefereerd wordt aan de gegevens van de specifieke landgebruiksvormen die voor die 'bedrijfstypen' gelden. Een uitzondering hierop vormen de werkbladen 'var_loofb' en 'var_heide' waarin de landbouwbedrijven omgezet worden in loofbos respectievelijk schraalgrasland/heide, zodat dan ook de gegevens van die landgebruiksvormen gebruikt dienen te worden. Bij meer dan 16 combinaties van bodemeenheid en Gt dient in elk van deze werkbladen deze berekening uitgebreid te worden door regels toe te voegen tussen rijen 34 en 35 en de inhoud van rij 34 te kopiëren naar de nieuwe rijen. Rij 35 geeft de totale reële nitraatuitspoeling per bedrijfstype (kg per jaar per bedrijfstype) indien alle grond van het bedrijf als landbouwgrond gebruikt wordt. De reden om dit op deze manier te doen is dat per bedrijfstype wel een schatting gemaakt is hoe groot het areaal aan erf en bebouwing is, maar dat niet bekend is op welke bodemeenheid-Gt-combinatie dit areaal ligt. Als er nieuwe rijen zijn toegevoegd om met meer bodemeenheden en Gt's rekening te houden, dient de berekening in deze rij aangepast te worden zodat hierin het totaal wordt bepaald over alle voorkomende bodemeenheid-Gt-combinaties.

- p) Berekening van het totale neerslagoverschot (m^3 per jaar per bedrijfstype): rij 38, colommen D-V. Net als bij de berekening van de nitraatuitspoeling (zie o) wordt hier het totaal uitgerekend op basis van het relatieve voorkomen van de verschillende landgebruiksvormen, en worden in colommen D-O alleen de gegevens van de landbouwgewassen gebruikt en in colommen R-V de gegevens van de overige landgebruiksvormen. Een uitzondering hierop vormen de werkbladen 'var_loofb' en 'var_heide' waarin landbouwbedrijven omgezet worden in loofbos respectievelijk schraalgrasland of heide, zodat dan ook de gegevens van die landgebruiksvormen gebruikt dienen te worden.

Indien er een nieuwe variant beschreven moeten worden, kan elk van de hier vermelde variant-werkbladen gekopieerd worden naar een nieuw werkblad. Dit moet een naam krijgen, en de gegevens (en eventueel berekeningswijze) moeten aangepast worden aan de kenmerken van de nieuwe variant. Het werkblad 'Optimalisatie' dient aangepast te worden (zie onder) om ook de gegevens van deze nieuwe variant beschikbaar te stellen aan de optimalisatieprocedure en de berekening van kosten en nitraatconcentratie.

Werkblad 'Optimalisatie'

In dit werkblad wordt het feitelijke optimalisatiemodel uitgewerkt. Het werkblad bestaat uit de volgende onderdelen:

— *Uitkomsten*: het LP-model berekent de waarde van verschillende variabelen op verschillende niveaus in het systeem. Tabel 32 beschrijft in welke cellen van het werkblad 'Optimalisatie' deze uitkomsten te vinden zijn. Daarnaast heeft het model als uitkomst de uiteindelijke verdeling van varianten over de bedrijfstypen zoals optimaal is voor het scenario. Deze uitkomsten staan in cellen D61-V69 (niet veranderbaar door de gebruiker), waarin een vermenigvuldiging gebeurt van de door het model gekozen fracties van het areaal (cellen D39-V47; niet veranderbaar door de gebruiker) en de indicatie of een variant wel (1) of niet (0) mogelijk is voor een bepaald bedrijfstype (cellen D50-V58; veranderbaar door de gebruiker). Indien meer varianten beschreven gaan worden dan de 9 die momenteel gebruikt worden, dienen de hier genoemde cellen-ranges uitgebreid te worden. Hierbij moet in de gaten gehouden worden dat in de cellen D39-V39 de resulterende fractie berekend wordt (i.e. 1 min de som van de fractie ingenomen door andere varianten). Deze berekening zal aangepast moeten worden indien er meer varianten zijn. Rij 40 betreft de variant 'huidig', i.e. de ingeschatte huidige situatie. Deze variant mag niet door het LP-model gekozen worden, aangezien alle bedrijven minstens moeten voldoen aan de variant 'wettelijke verliesnorm 2008'. De fractie ingenomen door deze variant is dan ook niet veranderbaar door het LP-model. De door het LP-model te kiezen fracties voor de varianten staan in rijen 41-47. Nieuwe rijen (voor nieuwe varianten) moeten onder rij 41 ingevoerd worden. Daarbij moet de range van door het LP veranderbare cellen de juiste naam behouden en dient de naam alle veranderbare cellen te omvatten: de huidige cellen-range D41-O47 (de veranderbare fracties voor de landbouwbedrijven) heet 'variant_lndb' en de cel Q47 (de veranderbare fractie voor de niet-landbouwbedrijven) heet 'var_nldb'. Deze namen worden in de optimalisatieprocedure gebruikt om aan te geven welke cellen eventueel door de optimalisatieprocedure veranderd mogen worden.

Tabel 32 Locaties, dimensies en namen van specifieke uitkomsten in werkblad 'Optimalisatie'

niveau	variabele	totale jaarlijkse kosten ($f \cdot \text{jr}^{-1}$)	jaarlijkse kosten per ha ($f \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$)	eenmalige kosten (f)	nitraat-uitspoeling ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$)	neerslag-overschot ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$)	nitraatconcentratie ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)
	detail						
regio	locatie naam	B4 totale_ kosten	E4 (I17) kosten_ bereikt_ gebied	G4 (K17) eenmkost_ bereikt_ gebied	C17 NO3_ bereikt_ gebied	E17 nso_ bereikt_ gebied	G17 nvt
	opmerking	doelfunctie	randvoorwaarde	randvoorwaarde	randvoorwaarde	randvoorwaarde	indirecte randvw
sub-regio	locatie naam	nvt	I18-I21 kosten_ bereikt_ subgebied	K18-K21 eenmkost_ bereikt_ subgebied	C18-C21 NO3_ bereikt_ subgebied	E18-E21 nso_ bereikt_ subgebied	G18-G21 nvt
	opmerking	nvt	randvoorwaarde	randvoorwaarde	randvoorwaarde	randvoorwaarde	indirecte randvw
bedrijfstype	locatie naam	nvt	I22-I33 kosten_ bereikt_ bedrijf	K22-K33 eenmkost_ bereikt_ bedrijf	C22-C33 NO3_ bereikt_ bedrijf	E22-E33 nso_ bereikt_ bedrijf	G22-G23 nvt
	opmerking	nvt	randvoorwaarde	randvoorwaarde	randvoorwaarde	randvoorwaarde	indirecte randvw

- *Randvoorwaarden*: uitkomsten van het LP-model dienen te voldoen aan randvoorwaarden. De limiet van elke randvoorwaarde kan op twee manieren gezet worden. Indien voor alle subeenheden binnen een gebiedsdeel eenzelfde limiet geldt (i.e. voor alle subregio's en/of voor alle bedrijfstypen) kan dit door in de cellen met de 'standaard-waarde' (Tabel 33) de gewenste waarde te zetten. Gelden voor bepaalde subgebieden of bedrijfstypen specifieke limieten, dan moeten de specifieke cellen met de individuele limieten voor de randvoorwaarde aangepast worden.

- *Gebiedsdefinitie*: de regio waarvoor berekend wordt is niet geheel vastgezet. Er kan gekozen worden om voor alleen melkveebedrijven te rekenen, of het hele proefgebied. Bij dat laatste kan de verhouding landbouw variëren ten opzichte van ander landgebruik (naaldbos, loofbos, open natuur, bebouwing en water). Hierbij blijft het oppervlak aan landbouwgrond constant, en worden de in het gebied voorkomende arealen van het andere landgebruik vermenigvuldigd met een factor zodat de verhouding die van een bepaalde regio benaderd. De vermenigvuldigingsfactoren staan in werkblad 'basis' (zie boven). In het werkblad 'optimalisatie' hoeft alleen aangegeven te worden welke van de mogelijkheden gekozen dient te worden. Hiertoe moet in cellen B9-B12 aangegeven worden met een 1 of de verdeling van landgebruik volgens de in A9-A12 beschreven regio's moet zijn, en met een 0 dat dit niet het geval is. Er kan maar voor één regio gekozen worden. Indien er geen enkele regio gekozen wordt, komt in Cel C9 automatisch een 1 te staan om aan te geven dat alleen met de melkveebedrijven wordt gerekend.

- Na keuze van de regio komen in de cellen D78-V78 de factoren waarmee voor elk bedrijfstype de arealen van elke bodemeenheid-Gt-combinatie worden vermenigvuldigd om tot de gewenste verdeling van landgebruiksvormen te komen. Deze factoren zijn voor de melkveebedrijven altijd gelijk aan 1, die voor de niet-melkvee bedrijven (zowel landbouwkundig als natuur en bebouwing) worden 0 als de berekeningen alleen voor melkveebedrijven dienen te gebreuren, en die voor de niet landbouwbedrijven krijgen een specifieke waarde niet gelijk aan 0 als voor de verdeling voor een andere regio dan het proefgebied gekozen wordt. Cellen D80-V96 bevatten het resulterende areaal voor elke bodemeenheid-Gt-bedrijfstype-combinatie, en D97-V97 de totalen per bedrijfstype. De getallen in D80-V96 worden in de werkbladen van de varianten gebruikt. Indien meer bodemeenheden en/of Gt's worden onderscheiden moeten er rijen toegevoegd worden in de range D80-V96 en moet de sommatie in D97-V97 aangepast worden. Ook moet dan in alle variant-werkbladen de berekening waarin de arealen gebruikt worden (zie boven) aangepast worden.

Tabel 33 Locatie van randvoorwaarde, eenheid van meting (dimensie), naam, soort en locatie van standaard waarde van specifieke randvoorwaarden in werkblad 'Optimalisatie'

variabele	jaarlijkse kosten per ha	eenmalige kosten	nitraat-uitspoeling	neerslag-overschot	nitraat-concentratie	
dimensie	(f ha ⁻¹ .jr ⁻¹)	(f)	(kg·ha ⁻¹ .jr ⁻¹)	(m ³ ·ha ⁻¹ .jr ⁻¹)	(mg·l ⁻¹)	
niveau	soort	maximum	maximum	maximum	minimum	indirect
regio	locatie	J17	L17	D17	F17	nvt
	naam	kosten_	eenmkost_	NO3_	nso_	nvt
		maximum_	maximum_	maximum_	maximum_	
		gebied	gebied	gebied	gebied	
	standaard waarde	F10	F11	wordt berekend	F9	F8
sub-regio	locatie	J18-J21	L18-L21	D18-D21	F18-F21	indirect
	naam	kosten_	eenmkost_	NO3_	nso_	nvt
		maximum_	maximum_	maximum_	maximum_	
		subgebied	subgebied	subgebied	subgebied	
	standaard waarde	G10	G11	wordt berekend	G9	G8
bedrijf-type	locatie	J22-J33	L22-L33	D22-D33	F22-F33	indirect
	naam	kosten_	eenmkost_	NO3_	nso_	nvt
		maximum_	maximum_	maximum_	maximum_	
		bedrijf	bedrijf	bedrijf	bedrijf	
	standaard waarde	H10	H11	wordt berekend	H9	H8

d. *Berekeningen*: het model berekent:

1. De totale jaarlijkse kosten per ha (cellen D74-V74), de eenmalige kosten per ha (D75-V75) en de variabele jaarlijkse kosten per ha (D76-V76),
2. De totale hoeveelheid nitraat die jaarlijks uitspoelt: per bodemeenheid-Gt-bedrijfstype-combinatie (D101-V117) en het totaal per bedrijfstype (D118). Wanneer meer bodemeenheden en/of Gt's onderscheiden worden dienen er rijen toegevoegd te worden in de range D110-V117, en de sommatie (D118) dient aangepast te worden.
3. Het totaal neerslagoverschot per bedrijfstype (D121-V121).

— *Additionele parameters*: bij de berekening van de totale jaarlijkse kosten wordt een deel van de eenmalige (investerings)kosten opgeteld bij de variabele jaarlijkse kosten. Het percentage van de eenmalige kosten is in het huidige model op 10% gezet. Dit getal is aan te passen in cel E13.

Werkblad 'Resultaten_bedrijf_bodem_gt'

Voor elke combinatie van bedrijfstype, bodemeenheid en Gt wordt een gemiddelde verwachte nitraatconcentratie uitgerekend. Deze informatie kan via een GIS in kaartvorm gebracht worden, door middel van het maken van een 'link' op basis van de identiteitscode van elke combinatie. Deze code staat in colom A, terwijl colom B de code bevat voor het bedrijfstype, colom C voor de Gt, en in colom D de berekende nitraatconcentratie (mg·l⁻¹). De eerste rij bevat de namen van elke variabele. Al de cellen bevatten formules die verwijzen naar cellen in het werkblad 'Optimalisatie'. Door middel van een export uit EXCEL van dit werkblad in DBASE format kan bijvoorbeeld in ARCVIEW de informatie ingelezen worden. Indien er meer dan de 16 combinaties van bodemeenheid en Gt onderscheiden worden, dient dit werkblad aangepast te worden.

Werkblad 'Variantenkeuze'

Om het makkelijk te maken om de effecten van een aantal varianten te bekijken, zijn er MACRO's gemaakt die het mogelijk maken om met 'short-cut keys' de variantekeuze voor elk bedrijfstype te zetten op een bepaalde variant: CTRL-b voor de variant 'huidig'; CTRL-w voor de 'wettelijke verliesnorm 2008', CTRL-g voor 'gebiedstaak' en CTRL-n voor de 'grondwaternorm'.

Werkblad 'Datacopy'

Indien er meerdere scenario's doorgerekend worden is het handig om een aparte file te hebben waarin alle relevante uitkomsten worden verzameld, waarbij uitkomsten die in formulevorm in de cellen staan vertaald worden naar cijfers. Deze cijfers zijn dan te gebruiken om figuren en tabellen te maken om zodoende de uitkomsten van de verschillende scenario's makkelijker te kunnen interpreteren en tegen elkaar af te zetten. De MACRO DATCOP, met short-cut key CTRL-e, kopieert de uitkomsten naar de file SCENARIO.XLS. Deze file moet geopend moet zijn voordat de MACRO aangeroepen wordt. De verschillende soorten uitkomsten worden gezet in verschillende werkbladen van de file, waarbij het beginpunt van de gekopieerde data de active cel is. Deze MACRO is zeker niet volmaakt, maar kan redelijk makkelijk aangepast worden aan specifieke wensen van de gebruiker (mits deze de EXCEL MACRO taal kent).

Aanhangsel 5 Aanroepen optimalisatie procedure OPLOSSER [SOLVER]

Inleiding

Om het LP-model een scenario te laten doorrekenen moet in EXCEL de file met het LP-model (Aanhangsel 4) geopend worden en de ADD-IN 'OPLOSSER' [SOLVER] aangeroepen worden. Dit is een standaard LP-procedure waarbij de gebruiker alleen hoeft aan te geven in welke cel de doelfunctie staat, of deze geminimaliseerd of gemaximaliseerd dient te worden, en wat de veranderbare cellen en de randvoorwaarden zijn. Hieronder worden de benodigde commando's beschreven.

In dit aanhangsel wordt tekst die standaard in het scherm verschijnt geprint in *cursief*; antwoorden door de gebruiker te geven zijn **vet** aangegeven. De namen en termen die in de OPLOSSER [SOLVER] gebruikt worden zijn weergegeven voor de Nederlandse versie van EXCEL met die van de Engelse versie tussen [] erachter. Onderstreepte letters geven aan dat het menuonderdeel te selecteren is via het typen van die letter. Een dubbele onderstreping geeft aan dat dit moet gebeuren in combinatie met de ALT-toets. Als alternatief is het mogelijk om via de muis (of key-pad, e.d.) het betreffende menu-onderdeel aan te klikken.

Procedures

Na het instellen van de regio en de waardes voor de randvoorwaarden (Aanhangsel 4) wordt het werkblad 'Optimalisatie' geactiveerd. Van het menu wordt EXTRA [TOOLS] geselecteerd, en daarbinnen het onderdeel OPLOSSER [SOLVER]. Er verschijnt een scherm met een aantal keuzemogelijkheden. In dit scherm is het af te raden om de pijl-toetsen te gebruiken voor het bewegen van de cursor. Dit is namelijk niet mogelijk, en in plaats daarvan wordt de inhoud veranderd van de keuzemogelijkheid die actief is. Pas hiervoor op. In geval van ongewenste veranderingen is het vaak het makkelijkste om via CANCEL of ESC weer terug te gaan naar het werkblad 'Optimalisatie' om OPLOSSER [SOLVER] opnieuw op te starten.

a. Cel bepalen: [Set Target Cell:] **totale_kosten**

In het LP-model is de doelfunctie de totale kosten in cel B4.

b. Gelijk aan: 0 Max • Min Waarde • [Equal to: 0 Max • Min Value of •]

De totale kosten moeten geminimaliseerd worden. Het rondje voor Min moet daarom geselecteerd (zwart) zijn.

c. Door verandering cel: [By Changing Cells:]

variant_lndb,Var_nldb

Dit zijn de veranderbare fracties van het totaal areaal dat ingenomen kan worden door de verschillende varianten voor landbouw (variant_lndb) en voor naaldbossen (Var_nldb). Voor de overige landgebruiksvormen zijn geen varianten beschreven.

d. Schatting [Guess]

Indien dit menuonderdeel gekozen wordt gaat EXCEL zelf zoeken naar de cellen die waarschijnlijk veranderd moeten worden. GEBRUIK DEZE KNOP NIET, de meest vreemde cellen kunnen gekozen worden!

e. Restricties: [Subject to the Constraints:]

eenmkost_bereikt_bedrijf <= eenmkost_maximum_bedrijf
eenmkost_bereikt_gebied <= eenmkost_maximum_gebied
eenmkost_bereikt_subgebied <= eenmkost_maximum_subgebied
kosten_bereikt_bedrijf <= kosten_maximum_bedrijf
kosten_bereikt_gebied <= kosten_maximum_gebied
kosten_bereikt_subgebied <= kosten_maximum_subgebied
NO3_bereikt_bedrijf <= NO3_maximum_bedrijf
NO3_bereikt_gebied <= NO3_maximum_gebied
NO3_bereikt_subgebied <= NO3_maximum_subgebied
nso_bereikt_bedrijf <= nso_maximum_bedrijf
nso_bereikt_gebied <= nso_maximum_gebied
nso_bereikt_subgebied <= nso_maximum_subgebied
Var_nldb <= 1
Var_nldb >= 0
Var_nldb_rest <= 1
Var_nldb_rest >= 0
variant_lndb <= 1
variant_lndb >= 0
variant_lndb_rest <= 1
variant_lndb_rest >= 0

Hierbij staat altijd de berekende uitkomst links en de limiet waaraan zij moet voldoen rechts van het kleiner of gelijk (<=) of groter of gelijk (>=) teken. Indien niet alle tekst zichtbaar is kan met de pijltjes (rechts van de tekst) naar boven of beneden bewogen worden. Het is niet mogelijk om in het venster naar links of rechts te bewegen.

f. Toeyoegen: [Add:]

Hiermee is het mogelijk om in een menu te komen waarmee nieuwe constraints (randvoorwaarden) toegevoegd kunnen worden. Dit menu wijst zich vanzelf

g. Wijzigen: [Change:]

Via deze menu-optie komt men in een menu waarmee de geselecteerde constraint (met blauwe achtergrond aangegeven) veranderd kan worden.

h. Verwijderen: [Delete:]

Het selecteren van deze optie resulteert in het verdwijnen van de gekozen constraint (blauwe achtergrond) uit het LP-model.

i. Help: [Help:]

Geeft specifieke hulp over OPLOSSER [SOLVER]

j. Beginwaarde alles: [Reset All:]

Met deze knop worden alle keuzes in het OPLOSSER [SOLVER] menu scherm leeggemaakt. Het is beter om deze knop niet te gebruiken.

k. Opties: [Options:]

Via deze knop wordt het OPTIES OPLOSSER [SOLVER OPTIONS] menu aangeroepen. Van de keuzemogelijkheden die hierin staan is het belangrijkste dat de volgende twee opties geselecteerd zijn:

Uitgaan van lineair model: [Assume Linear Model]

Schaal automatisch aanpassen: [Use Automatic Scaling]

Als het lineaire model niet geselecteerd is wordt een niet-lineaire optimalisatieprocedure gevolgd. Deze duurt over het algemeen langer en geeft niet noodzakelijkerwijs de beste oplossing. De automatische schaal aanpassing zorgt voor kleinere afrondingsfouten wanneer variabelen in grootte veel van elkaar verschillen.

l. Oplossen: [Solve:]

Na het selecteren van deze optie gaat OPLOSSER [SOLVER] van start. Eerst wordt het model opgezet, hetgeen zichtbaar wordt linksonder in het WINDOW van EXCEL (*Het probleem wordt opgezet....* [*Setting Up Problem...*]). De duur van deze fase hangt af van de snelheid van de PC en de grootte van het interne geheugen ervan en varieert van een paar seconden tot tientallen minuten. Is het model opgezet, dan worden verschillende combinaties van varianten doorgerekend (*Het probleem wordt opgezet....* [*Setting Up Problem ...*]) is verdwenen en er verschijnen enkele getallen; Deze stap kan zo kort duren dat op snelle PC's de getallen nauwelijks te zien zijn). Uiteindelijk verschijnt het scherm met de OPLOSSING [SOLVER RESULTS]. Wanneer er een oplossing is gevonden verschijnt de boodschap: *De Oplosser heeft een oplossing gevonden. Aan alle restricties en voorwaarden is voldaan.* [SOLVER found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied.] Het kan zijn dat de constraints te strak zijn gezet bijvoorbeeld door de maximale nitraatconcentratie op nul te zetten, terwijl geen landgebruiksoptie daaraan voldoet. In dat geval verschijnt de mededeling: *De Oplosser heeft geen werkbare oplossing gevonden.* [No feasible solution found.] Ook is het mogelijk dat het model niet lineair meer is vanwege een door de gebruiker aangebrachte verandering. OPLOSSER [SOLVER] berekent dan geen oplossing en geeft de boodschap: *De voorwaarden om uit te gaan van Lineair Model gelden niet* [The conditions for assume Linear Module are not satisfied]

Wanneer er een oplossing is gevonden kan de gebruiker kiezen: Oplossing behouden [Keep Solver Solution] of Oorspronkelijke waarden herstellen [Restore Original Values], om de berekende oplossing te vervangen met de waardes waarmee de optimalisatie is gestart. Meestal wordt er voor gekozen om de oplossing te behouden.

Ook kunnen er door OPLOSSER [SOLVER] rapporten worden gemaakt, waarin o.a. schaduwrijzen berekend worden. Indien deze rapporten gewenst zijn moeten in het scherm Rapporten [Reports] de gewenste rapporten geselecteerd worden (aanklikken van een rapport; toevoegen van ander rapport tot selectie door SHIFT in te drukken bij het klikken). De rapporten komen in aparte werkbladen (Antwoord [Answer Report] *nn*, Gevoeligheid [Sensitivity] *nn*, Limieten *nn*, waarbij *nn* een nummer is) in de file waaruit OPLOSSER [SOLVER] is aangeroepen. Het vullen van de werkbladen kan een langdurig proces zijn (langer dan het opzetten van het model). Is het benodigde rekenwerk klaar, dan zijn de rapporten te gebruiken als andere werkbladen. Ze kunnen dus geprint worden, weggegooid e.d. Als de rapporten niet

gewenst zijn (wat meestal het geval is) wordt door op NIEUWE REGEL [ENTER] te drukken de OPLOSSER [SOLVER] procedure beëindigd.