



Nutmatch: een mixed integer LP-model voor het berekenen van integrale bemestingsplannen voor de open teelt sectoren

Jules Bos, Hein ten Berge & Peter de Willigen





Nutmatch: een mixed integer LP-model voor het berekenen van integrale bemestingsplannen voor de open teelt sectoren

Jules Bos, Hein ten Berge & Peter de Willigen

© 2007 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Beschrijving van Nutmatch	5
2.1 Het MILP-model Nutmatch in kort bestek	5
2.2 Activiteiten	7
2.3 Beperkingen	9
2.3.1 Weergave	9
2.3.2 N-huishouding	10
2.3.2.1 Conceptuele benadering	10
2.3.2.2 Vraag en aanbod werkzame N	11
2.3.2.3 Werkzame N uit organische mestgiften in eerste jaar na toediening	13
2.3.2.4 Actuele achtergrondmineralisatie en correctie van referentie-N-behoeften	16
2.3.2.5 Totale bodem-N-verlies en nitraatgehalte in grondwater	18
2.3.3 PK-voorziening van gewassen en bouwplan	20
2.3.3.1 Conceptuele benadering	20
2.3.3.2 Bodemgerichte PK-adviezen	20
2.3.3.3 Gewasgerichte PK-adviezen	22
2.3.3.4 Agronomische PK-overschotten op rotatieniveau	24
2.3.4 Minimale giften van organische meststoffen en maximaal aantal organische mestgiften per gewas	26
2.3.5 Maximaal aantal organische mestsoorten op bedrijfsniveau.	31
2.3.6 Minimale giften kunstmest-N	31
2.3.7 Maximale hoeveelheid werkzame N uit organische meststoffen per gewas	33
2.3.8 Het Gebruiksnormenstelsel	35
2.3.9 Maximaal aantal N-niveau's per gewas	36
2.3.10 Overige beperkingen	38
2.3.10.1 Arealen van gewassen	38
2.3.10.2 Effectieve organische stof	39
2.3.10.3 Verandering van de Pw	39
2.3.11 Doelstellingsfunctie	41
3. Opbouw en afbraak van organische stof	43
3.1 Algemeen	43
3.2 Organische-stofbalans in Nutmatch	44
3.2.1 Effect van textuur	45
3.2.2 Effect van temperatuur	45
3.3 Mineralisatie en immobilisatie van stikstof	46
4. Bouwplangegevens, werking van N uit organische bronnen en overige technische coëfficiënten	51
4.1 Werkingscoëfficiënten van N in organische meststoffen en overig organisch materiaal	51

	pagina
5. Case-study: lange termijn bodemvruchtbaarheid NON1 en vgg4	53
5.1 Inleiding	53
5.2 Modelbedrijven en inzet dierlijke mest	53
5.3 'Korte termijn berekeningen' voor NON1 en vgg4	54
5.4 Nutmatch berekeningen voor NON1 en vgg4	54
5.4.1 Resultaten NON1	55
5.4.2 Resultaten vgg4	55
5.5 Conclusies case study	58
Referenties	59
Appendix I	2 pp.
Appendix II	2 pp.

Samenvatting

In dit rapport wordt het model Nutmatch beschreven. Nutmatch is een wiskundige rekenmodule waarmee economisch optimale bemestingsplannen berekend kunnen worden voor rotaties van open teelt bedrijven, rekening houdend met effecten op de bodemvruchtbaarheid op korte en lange termijn, het Gebruiksnormenstelsel en bedrijfs-economie. Meer formeel is Nutmatch een mixed integer lineair programmerings model dat integrale bemestingsplannen voor rotaties van akkerbouw- en/of vollegrondsgroentegewassen optimaliseert, gegeven een doelstellingsfunctie, een set van ter keuze staande (bemestings)activiteiten en een set van randvoorwaarden. Als het Gebruiksnormenstelsel noodzaakt tot het korten van de N-gift van een of meer gewassen in de rotatie, dan berekent Nutmatch welke gewassen binnen de rotatie het beste gekort kunnen worden en welke het beste ontzien, zodanig dat dat gepaard gaat met de minste financiële derving. Nutmatch houdt daarbij rekening met de kosten van de inzet van meststoffen, de prijzen van gewasproducten en het verloop van de N respons van elk gewas. Nutmatch berekent bij elk bemestingsplan tevens de bijbehorende NPK-overschotten, verandering van de Pw, bodem-N-verlies en nitraatgehalte in grond- en/of drainwater. Bij het berekenen van optimale bemestingsplannen kan Nutmatch kiezen uit negen organische meststoffen (3 drijfmesten, 3 vaste mesten, 3 composten). Nutmatch rekent op jaarbasis. Het model is geschreven in Xpress-Mosel.

1. Inleiding

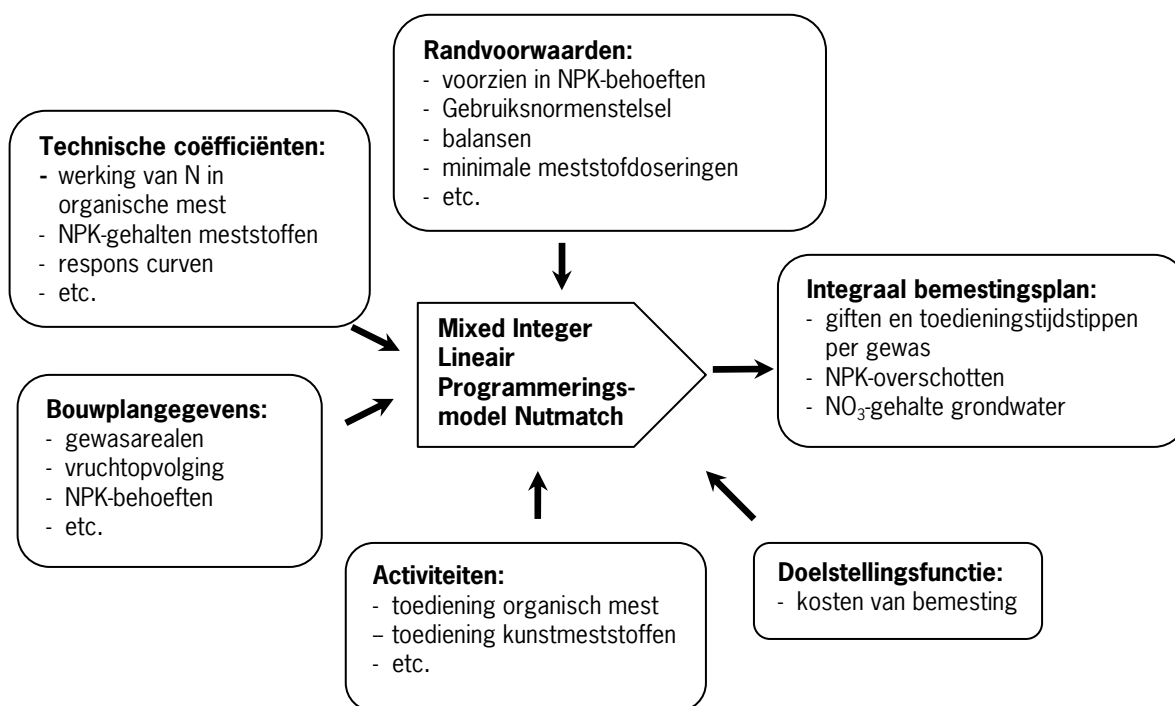
Binnen het LNV-mineralenprogramma staat de ontwikkeling van maatregelen om mineralenverliezen te beperken centraal. De meeste thema's binnen dit programma zijn gericht op deelaspecten van bemestingsstrategieën en leveren afzonderlijke maatregelen op waarmee N-verliezen kunnen worden verminderd. Voor telers is het belangrijk te weten welke maatregelen uiteindelijk gekozen moeten worden om voor hun bedrijfsspecifieke situatie tegen zo weinig mogelijk kosten te voldoen aan de gestelde normen. Binnen het programma richt het thema 'Ontwikkeling van geïntegreerde maatregelenpakketten' zich op de ontwikkeling van maatregelenpakketten voor de diverse AT-sectoren waarmee voldaan kan worden aan door de overheid gestelde normen en/of waterkwaliteitsdoelstellingen onder de randvoorwaarde van een 'duurzaam' bodembeheer (zie o.a. Smit, 2005; van der Schoot *et al.*, 2004; Kater *et al.*, 2004; Smit *et al.*, 2003). Per sector is een aantal representatieve modelbedrijven gedefinieerd en voor elk modelbedrijf zijn voor diverse scenario's maatregelenpakketten ontwikkeld. Het vaststellen van maatregelenpakketten per modelbedrijf is een arbeidsintensief proces, doordat met veel aspecten tegelijkertijd rekening moet worden gehouden en doordat de randvoorwaarden waarbinnen de pakketten moeten worden vastgesteld snel kunnen veranderen. Een voorbeeld van dit laatste vormt de beleidsvorming en implementatie van het Gebruiksnormenstelsel, dat per 1 januari 2006 het MINAS-stelsel vervangt. Op grond van het bovenstaande zou onderzoek, praktijk en beleid gebaat kunnen zijn met een tool waarmee het vaststellen van maatregelenpakketten kan worden geautomatiseerd. Voor de business unit Agrosysteemkunde (onderdeel van Plant Research International) vormde dit de aanleiding te investeren in een dergelijke tool. Het in deze nota beschreven model Nutmatch beoogt die tool te zijn.

Feitelijk is Nutmatch niets anders dan een wiskundig rekenprogramma waarmee 'optimale' bemestingsplannen berekend kunnen worden voor open teelt bedrijven, rekening houdend met effecten op de bodemvruchtbaarheid op korte en lange termijn, het Gebruiksnormenstelsel en bedrijfseconomie. In meer formele bewoordingen is Nutmatch een mixed integer linear programmerings (MILP) model dat integrale bemestingsplannen voor rotaties van akkerbouw- en/of vollegrondsgroentegewassen optimaliseert, gegeven een doelstellingsfunctie, een set van ter keuze staande (bemestings)activiteiten en een set van randvoorwaarden (Figuur 1.1). Het model is geschreven in Xpress-Mosel, een omgeving voor het formuleren en oplossen van (MI)LP-problemen (zie Colombani & Heipcke, 2005). De met Nutmatch geoptimaliseerde integrale bemestingsplannen houden rekening met de NPK-behoeften van gewassen en rotatie, organische stofvoorziening, lange termijn bodemvruchtbaarheid en het Gebruiksnormenstelsel. Binnen Nutmatch zijn voor elk afzonderlijk gewas van de rotatie opbrengstcurven als functie van de N-gift gedefinieerd. Deze opbrengstcurven (Van Dijk *et al.*, 2007) beschrijven opbrengsten in het traject tussen opbrengst bij 100% van de economisch optimale N-gift volgens het Bemestingsadvies en opbrengst bij 50% van de economisch optimale N-gift. Als het Gebruiksnormenstelsel noodzaakt tot het korten van de N-gift van een of meer gewassen tot beneden de economisch optimale N-gift, dan berekent Nutmatch, op grond van de kosten van bemesting en de financiële opbrengst van elk gewas bij elk gedefinieerde opbrengstniveau, welke gewassen het beste gekort kunnen worden. Simpel gezegd, Nutmatch berekent 'automatisch' welke gewassen binnen de rotatie het beste gekort kunnen worden en welke het beste ontzien kunnen worden, en wel zodanig dat dat gepaard gaat met de minste financiële derving. Nutmatch houdt daarbij rekening met de kosten van de inzet van meststoffen, de prijzen van gewasproducten en het verloop van de opbrengstcurve van elk gewas. Afhankelijk van de specificaties van de rotatie kan het gericht korten van sommige (lees: laag salderende) gewassen en het juist ontzien van andere (lees: hoog salderende) op bedrijfsniveau een verschil van honderden euro's per ha uitmaken. Nutmatch berekent bij elk bemestingsplan de bijbehorende NPK-overschotten, verandering van de Pw, bodem-N-verlies en nitraatgehalte in het grond- en drainwater. Nutmatch rekent op jaarbasis. De ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid in de tijd wordt gekwantificeerd, in afhankelijkheid van wat er jaarlijks aan organische meststoffen en gewasresten wordt toegediend. Daarbij wordt de N-behoefte van gewassen gecorrigeerd voor afwijkingen van de berekende bodemvruchtbaarheid ten opzichte van een referentie-bodemvruchtbaarheid.

Nutmatch wordt via Excel files gevoed met een groot aantal technische coëfficiënten (Figuur 1.1), met name over de werking van N in organische meststoffen en bouwplangegevens als onder meer de gewassen en hun arealen, vruchtopvolging, initiële bodemvruchtbaarheidstoestand, NPK-behoeften van gewassen bij verschillende opbrengstniveaus, NPK-afvoer via gewasproducten bij verschillende opbrengstniveaus en bijdragen van gewasresten en

groenbemesters aan de organische stofvoorziening. Technische coëfficiënten over de werking van N in organische meststoffen geven aan wat de werking is van de minerale N-fractie als functie van toedieningstijdstip en -techniek en wat de werking is van de organische N-fractie als functie van afbraakkarakteristieken, toedieningstijdstip en begin en eind van N-opname van het bemeste gewas. De in Nutmatch opgenomen doelstellingsfunctie maximaliseert de financiële opbrengsten van gewassen minus de kosten van bemesting, bestaande uit meststofkosten en loonwerk-kosten voor toediening. Op grond van alle technische coëfficiënten en randvoorwaarden (waaronder die gesteld door het Gebruiksnormenstelsel), rekt Nutmatch een bij de doelstellingsfunctie horend optimaal bemestingsplan uit. Dit optimale bemestingsplan geeft aan welke gewassen op welk N-niveau geteeld moeten worden en welke meststoffen in welke hoeveelheden met welke toedieningstechniek op welk toedieningsmoment aan welk gewas gegeven moeten worden. Bij het berekenen van optimale bemestingsplannen kan Nutmatch kiezen uit elf N-niveau's per gewas, negen organische meststoffen (3 drijfmesten, 3 vaste mesten, 3 composten) en vier enkelvoudige kunstmeststoffen. De organische meststoffen kunnen op alle wettelijk toegestane toedieningstijdstippen via verschillende toedienings-technieken worden toegediend.

De opbouw van dit rapport is als volgt. De in Nutmatch gedefinieerde activiteiten, randvoorwaarden en doelstellingsfunctie worden gedetailleerd beschreven in Hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 beschrijft de kwantificering van technische coëfficiënten op basis waarvan de organische stofhuishouding, stikstofmineralisatie en -immobilisatie binnen Nutmatch beschreven worden. Daarbij wordt grotendeels gebruik gemaakt van door Janssen (2000; 1984) afgeleide rekenregels. Hoofdstuk 4 gaat nader in op de overige in Nutmatch gebruikte technische coëfficiënten. Dit betreft met name de berekening van de werking van N in toegediende organische meststoffen. Het laatste hoofdstuk is een case-study waarin enkele berekeningen met Nutmatch worden gepresenteerd.



Figuur 1.1. Schematisch overzicht van Nutmatch.

2. Beschrijving van Nutmatch

2.1 Het MILP-model Nutmatch in kort bestek

Nutmatch integreert alle gedefinieerde activiteiten, randvoorwaarden, bouwplangegevens en technische coëfficiënten in een optimaliseringsmatrix. Deze matrix bestaat uit rijen en kolommen. De rijen zijn lineaire wiskundige vergelijkingen, die de randvoorwaarden beschrijven ten aanzien van (1) de NPK-voorziening van gewassen en bouwplan, (2) NPK-balansen en N-verlies op bedrijfsniveau, (3) minimale hoeveelheden meststoffen die per toediening gegeven moeten worden, (4) maximale hoeveelheden van organische meststoffen die op gewasniveau gegeven kunnen worden, (5) maximaal aantal soorten organische mest die op gewas- cq. bedrijfsniveau gegeven kunnen worden, (6) het Gebruiksnormenstelsel, (7) de aanvoer van organische stof en (8) de doelstellingsfunctie. Alle randvoorwaarden worden systematisch beschreven in par. 2.3. De kolommen zijn de ter keuze staande hoofdactiviteiten, zoals toedieningen van kunstmeststoffen en organische meststoffen aan gewassen, en afgeleide activiteiten, zoals NPK-overschotten en bodem-N-verlies¹ (par. 2.2). Elke activiteit wordt gekenmerkt door technische coëfficiënten die de bijdragen aan de vergelijkingen in de rijen in kwantitatieve zin uitdrukken. Alle vergelijkingen moeten voldoen aan een 'right hand side' vector die de systeemgrenzen beschrijft en de vergelijkingen aan een maximum of minimum bindt. Aan alle gedefinieerde activiteiten (in LP-jargon: beslissingsvariabelen, decision variables) wordt een waarde toegekend door de matrix via numerieke optimalisatie op te lossen voor de doelstellingsfunctie. De gehele set van activiteiten waaraan een waarde afwijkend van 0 wordt toegekend beschrijft vervolgens het optimale bemestingsplan met bijbehorende overschotten en bodem-N-verlies.

In navolgende paragrafen zullen de verschillende onderdelen van Nutmatch nader worden toegelicht. Dit gebeurt aan de hand van een modelbedrijf genaamd vgg3. Dit modelbedrijf betreft een spruitkoolbedrijf gesitueerd in zuidwest Nederland. De rotatie van het modelbedrijf is weergegeven in Tabel 2.1 en bestaat uit vier blokken van elk 7.5 ha, waarop achtereenvolgens spruitkool, wintertarwe + bladrammenas, consumptieaardappel en peen + witlof worden geteeld. Daarnaast wordt spruitkool geteeld op 20 ha gehuurd land.

Ten behoeve van de wiskundige formulering in Nutmatch zijn gewassen en percelen genummerd. Voor modellering in Nutmatch is ook het onderscheid tussen eerste gewasteelten en tweede gewasteelten binnen een groeiseizoen belangrijk. In modelbedrijf vgg3 komt maar een tweede gewasteelt voor, nl. de teelt van bladrammenas na wintertarwe.

In Nutmatch worden activiteiten en technische coëfficiënten gekarakteriseerd aan de hand van indexen. Gebruikte indexen en hun betekenis zijn weergegeven in Tabel 2.2, geïllustreerd aan de hand van modelbedrijf vgg3.

¹ Het mag bevreemden dat NPK-overschotten en N-verlies hier als activiteiten zijn gedefinieerd; overschot en verlies zijn immers resultanten van (bemestings)activiteiten. LP-technisch gezien is definiëring als activiteit echter noodzakelijk om eisen te kunnen stellen aan maximale waarden van overschot en/of verlies.

Tabel 2.1. Rotatie van modelbedrijf vgg3, spruitkoolbedrijf zuidwest Nederland.

Blok	Gewasnummer g	Perceelnummer s	Gewas	Teeltwijze	Oppervlak (ha)	
					1 ^e teelt	2 ^e teelt
<i>Gewasteelten in de rotatie</i>						
Blok 1	g=1	s=1	Spruitkool	Zeer vroeg	4	-
	g=1	s=2	Spruitkool	Vroeg	3.5	-
Blok 2	g=2	s=1	Wintertarwe		7.5	-
	g=3	s=1	Bladrammenas			7.5
Blok 3	g=4	s=1	Consumptieaardappel		7.5	-
Blok 4	g=5	s=1	Peen	Grove (B-peen)	3.75	-
	g=6	s=1	Witlofwortel	Jan-aug trek	1.875	-
	g=6	s=2	Witlofwortel	Okt-dec trek	1.875	-
<i>Gewasteelten op gehuurd land</i>						
	g=1	s=3	Spruitkool	Vroeg	2	-
	g=1	s=4	Spruitkool	Midden	7	-
	g=1	s=5	Spruitkool	Laat	6	-
	g=1	s=6	Spruitkool	Zeer laat	5	-

Tabel 2.2. Indexen van activiteiten en technische coëfficiënten in Nutmatch.

1. Perceelnummers s en p (maxs/maxp verschillen per modelbedrijf; voor vgg3 maxs/maxp=6)
s=1 en p=1: perceelnummer 1
s=2 en p=2: perceelnummer 2
s=3 en p=3: perceelnummer 3
s=4 en p=4: perceelnummer 4
s=5 en p=5: perceelnummer 5
s=6 en p=6: perceelnummer 6
2. Gewasnummers g en z (maxg/maxz verschillen per modelbedrijf; voor vgg3 maxg/maxz=6)
g=1 en z=1: spruitkool
g=2 en z=2: wintertarwe
g=3 en z=3: bladrammenas
g=4 en z=4: consumptieaardappel
g=5 en z=5: peen
g=6 en z=6: witlofwortel
3. N-niveau's n (maxn=11)
n=1: 100% van economische optimale N-gift
n=2: 95% van economische optimale N-gift
n=3: 90% van economische optimale N-gift
n=4: 85% van economische optimale N-gift
n=5: 80% van economische optimale N-gift
n=6: 75% van economische optimale N-gift
n=7: 70% van economische optimale N-gift
n=8: 65% van economische optimale N-gift
n=9: 60% van economische optimale N-gift
n=10: 55% van economische optimale N-gift
n=11: 50% van economische optimale N-gift

Vervolg Tabel 2.2. Indexen van activiteiten en technische coëfficiënten in Nutmatch.

4. Organische meststoffen o (maxo=9)

- o=1: rundveedrijfmest
- o=2: vleesvarkensdrijfmest
- o=3: kippendrijfmest
- o=4: GFT-compost
- o=5: champost
- o=6: natuurcompost
- o=7: vleeskuikenmest
- o=8: vaste rundveemest (potstal)
- o=9: kippenstrooiselmest (vaste leghennenmest)

5. Toedieningstechnieken x (maxx=3)

- x=1: bouwland injecteur
- x=2: vaste mest verspreider
- x=3: zodebemester of sleufkouter (tbv emissie-arme aanwending in granen in voorjaar)

6. Maanden van mesttoediening w (maxw verschilt per modelbedrijf; voor vgg3 maxw=4)

- w=1: september
- w=2: april
- w=3: mei
- w=4: juni

7. Kunstmeststoffen m (maxm=4)

- m=1: enkelvoudige N meststof, kalkammonsalpeter
- m=2: enkelvoudige P meststof, superfosfaat
- m=3: enkelvoudige K meststof, patentkali
- m=4: enkelvoudige K meststof, chloorkali

8. Trajecten d van het P-overschot (maxd=2)

- d=1: positief traject (P-overschot ≥ 0)
- d=2: negatief traject (P-overschot < 0)

2.2 Activiteiten

Een overzicht van alle in Nutmatch ter keuze staande activiteiten is opgenomen in Appendix 1. De belangrijkste worden hieronder kort toegelicht.

$X1_TEELT(g, s, n)$ (eenheid: ha): staat voor de teelt van *eerste gewasteelt* g op perceel s op N-niveau n.

$X2_TEELT(g, s, n)$ (eenheid: ha): staat voor de teelt van *tweede gewasteelt* g op perceel s op N-niveau n.

$X1ORG(g, s, n, o, w, x)$ (eenheid: kg product) staat voor de toediening van organische mestsoort o toegediend op tijdstip w volgens methode x aan *eerste gewasteelt* g op perceel s op N-niveau n. Elke activiteit $X1ORG$ draagt onder meer bij aan de NPK-voorziening van de desbetreffende eerste gewasteelt, met eventueel een N-nawerking in volgteelten. Gedefinieerde toedieningstijdstippen w van organische mestsoorten o zijn afhankelijk van regelgeving, van de grondsoort waarop het modelbedrijf is gelegen en van zaai- of pootdatum van het te bemesten gewas. Met uitzondering van graangewassen is toediening van organische meststoffen na zaaien of poten niet mogelijk. In staande graangewassen kan in het voorjaar (april en mei) middels zodebemesting of sleufkouter drijfmest worden toegediend. Op eventueel aanwezige braakgelegde percelen kan geen mest worden toegediend. Voor modelbedrijven op zand is, conform vigerende regelgeving, toediening van organische meststoffen na 1 september niet

gedefinieerd. In het voorjaar is mesttoediening mogelijk vanaf 1 februari. Voor modelbedrijven op kleigronden is toediening van organische meststoffen gedefinieerd voor de nazomer na vroege ruimende gewassen (september) en voor vroege en late voorjaar (april, mei, juni). Mesttoediening op kleigronden na september is uitgesloten omdat dat op termijn wettelijk verboden wordt. Mesttoediening op kleigronden in het vroege voorjaar (februari, maart) is uitgesloten omdat dat in de meeste jaren gepaard kan gaan met structuurschade.

$X_{2ORG}(g, s, n, o, w, x)$ (eenheid: kg product) staat voor de toediening van organische mestsoort o toegediend op tijdstip w volgens methode x aan *tweede gewasteelt* g op perceel s op N-niveau n . Elke activiteit X_{2ORG} draagt onder meer bij aan de NPK-voorziening van de desbetreffende tweede gewasteelt, met eventueel een N-nawerking in volgteelten. Toediening van organische meststoffen o ten behoeve van tweede gewasteelten is alleen mogelijk in het tijdsbestek tussen oogst van de voorafgaande eerste gewasteelt en zaaien of poten van de tweede gewasteelt. Dit tijdsbestek valt meestal in het late voorjaar (mei, juni) en/of vroege en late zomer (juli, augustus). Een uitzondering is de toediening van organische meststoffen ten behoeve van groenbemesters als tweede teelt, waarbij mesttoediening plaatsvindt na de oogst van een voorgaand hoofdgewas in de nazomer (september).

$X_{MIN1}(g, s, n, m)$ (eenheid: kg product) staat voor de toediening van kunstmeststof m aan *eerste gewasteelt* g op perceel s op N-niveau n . Er zijn vier enkelvoudige kunstmeststoffen gedefinieerd: kalkammonsalpeter, superfosfaat, patentkali en chloorkali. Voor de toediening van kunstmest is geen toedieningstijdstip gespecificeerd. Er wordt impliciet vanuit gegaan dat kunstmest in het groeiseizoen wordt gegeven.

$X_{MIN2}(g, s, n, m)$ (eenheid: kg product) staat voor de toediening van kunstmeststof m aan *tweede gewasteelt* g op perceel s op N-niveau n . Voor X_{MIN2} geldt verder hetzelfde als voor X_{MIN1} .

$X_{1EFFORG}(g, s, n, o, w, x)$ (eenheid: kg N) staat voor werkzame N in *eerste gewasteelt* g op perceel s op N-niveau n uit organische mest ten gevolge van een mestgift in diezelfde *eerste gewasteelt* g in perceel s op N-niveau n bij mestsoort o , toedieningstijdstip w en toedieningstechniek x . Waarden van $X_{1EFFORG}$ -activiteiten worden berekend uit waarden van X_{1ORG} -activiteiten, gebruik makend van N-werkingscoëfficiënten. De N-werkingscoëfficiënten zijn daarbij afhankelijk van toedieningstechniek en -tijdstip, afbraak karakteristieken van de organische meststof en begin en eind van N-opname van het bemeste gewas (zie Hoofdstukken 3 en 4).

$X_{EFF12ORG}(g, s, n, o, w)$ (eenheid: kg N) staat voor werkzame N in *tweede gewasteelt* g op perceel s op N-niveau n uit organische mest ten gevolge van een mestgift in voorgaande *eerste gewasteelt* g in perceel s bij mestsoort o en toedieningstijdstip w . $X_{EFF12ORG}$ -activiteiten betreffen dus de N-nawerking van organische mestgiften ten behoeve van eerste gewasteelten in eventuele opvolgende tweede gewasteelten. Hun waarden worden berekend uit waarden van X_{1ORG} -activiteiten en N-werkingscoëfficiënten.

$X_{EFF13ORG}(g, s, o, w, z, p, n)$ (eenheid: kg N) staat voor werkzame N in *eerste gewasteelt* z op perceel p op N-niveau n uit organische mest ten gevolge van een mestgift in *voorafgaande eerste gewasteelt* g in perceel s bij mestsoort o en toedieningstijdstip w . $X_{EFF13ORG}$ -activiteiten betreffen dus de N-nawerking van organische mestgiften ten behoeve van eerste gewasteelten in opvolgende eerste gewasteelten. De waarden worden berekend uit waarden van X_{1ORG} -activiteiten en N-werkingscoëfficiënten.

$X_{2EFFORG}(g, s, n, o, w, x)$ (eenheid: kg N) staat voor werkzame N in *tweede gewasteelt* g in perceel s op N-niveau n uit organische mest ten gevolge van een mestgift in *tweede gewasteelt* g in perceel s bij mestsoort o , toedieningstijdstip w en toedieningstechniek x . Waarden van $X_{2EFFORG}$ -activiteiten worden berekend uit waarden van X_{2ORG} -activiteiten en N-werkingscoëfficiënten.

$X_{23EFFORG}(g, s, o, w, z, p, n)$ (eenheid: kg N) staat voor werkzame N in *eerste gewasteelt* z in perceel p op N-niveau n uit organische mest ten gevolge van een mestgift in *voorafgaande tweede gewasteelt* g in perceel s bij mestsoort o en toedieningstijdstip w . $X_{23EFFORG}$ -activiteiten betreffen dus de N-nawerking van organische mestgiften ten behoeve van tweede gewasteelten in opvolgende eerste gewasteelten. De waarden worden berekend uit waarden van X_{2ORG} -activiteiten en N-werkingscoëfficiënten.

2.3 Beperkingen

2.3.1 Weergave

De wiskundige vergelijkingen die de in Nutmatch opgenomen beperkingen beschrijven worden in het navolgende weergegeven volgens het in Figuur 2.1 gegeven generieke model. De betekenis van de gebruikte wiskundige symbolen wordt uitgelegd in Tabel 2.3. Na weergave van de wiskundige vergelijking volgt telkens de omschrijving van de in de vergelijking voorkomende activiteiten, coëfficiënten, right hand side parameters en functie-arrays. De functie-arrays zijn gevuld met nullen en enen en geven aan voor welke combinaties van indexen de betreffende vergelijking geldt.

Overigens wordt in deze paragraaf alleen de generieke vorm van de vergelijkingen gegeven. Uitgaande van deze generieke vergelijkingen zijn deze voor afzonderlijke modelbedrijven nader gespecificeerd, zodat er voor elk afzonderlijk modelbedrijf een aparte versie van het Nutmatch model bestaat. De specificatie van de vergelijkingen voor afzonderlijke modelbedrijven heeft vooral betrekking op gewasopvolgingen en oppervlakteverhoudingen tussen gewassen en volggewassen.

$$\sum_{i,j,k,l} tc_var_a(i,j,k,l) * XVAR_A(i,j,k,l) + \sum_{j,k,l,m} tc_var_b(j,k,l,m) * XVAR_B(j,k,l,m) \leq RHS_voorbeeld$$

$$i, j \ni (FUNCTIE_voorbeeld(i,j) = 1)$$

$$\forall k, l$$

Activiteiten

XVAR_A(i,j,k,l): Beschrijving van variabele XVAR_A [eenheid]

XVAR_B(j,k,l,m): Beschrijving van variabele XVAR_B [eenheid]

Coëfficiënten

tc_var_a(i,j,k,l): Beschrijving van coëfficiënt tc_var_a [eenheid]

tc_var_b(j,k,l,m): Beschrijving van coëfficiënt tc_var_b [eenheid]

RHS

RHS_voorbeeld: Beschrijving van parameter RHS_voorbeeld [eenheid]

Functies

FUNCTIE_voorbeeld(i,j): Beschrijving van de functie FUNCTIE_voorbeeld

Figuur 2.1. Voorbeeld van de weergave in dit rapport van in Nutmatch opgenomen vergelijkingen.

Tabel 2.3. Gebruikte symbolen en notatie.

Symbool	Betekenis
$\sum_{i,j} Xvar(i,j)$	sommatie over indexen i en j
\ni	zodanig dat
$\forall k, l$	voor alle combinaties van indexen k en l

2.3.2 N-huishouding

2.3.2.1 Conceptuele benadering

In Nutmatch moet voldaan worden aan de behoefte aan werkzame N van alle afzonderlijke eerste en tweede gewasteelten. Het officiële Bemestingsadvies (van Dijk, 2003) specificeert wat de economisch optimale behoefte aan werkzame N is van gewasteelten (hoogste N-niveau; $n=1$), meestal in afhankelijkheid van de Nmin-voorraad in de bodem. Deze stikstofbehoefte volgens het Bemestingsadvies wordt hier verder aangeduid als de *referentie-N-behoefte*. Op basis van deze referentie-N-behoefte zijn per gewas de N-behoeften bij de elf gedefinieerde N-niveaus (Tabel 2.2) gedefinieerd.

Aan de referentie-N-behoefte van gewassen ligt impliciet een bepaalde achtergrondmineralisatie ten grondslag, namelijk de achtergrondmineralisatie zoals die aanwezig was in de veldproeven waarop het advies voor elk gewas is gebaseerd. Met achtergrondmineralisatie wordt bedoeld de mineralisatie uit organische bronnen die langer dan een jaar geleden werden toegediend; dit in tegenstelling tot de 'eerstejaars-mineralisatie' uit bronnen in het eerste jaar na toediening. Helaas is de achtergrondmineralisatie in de veldproeven waarop de referentie-N-behoefte is gebaseerd veelal onbekend. Dat neemt niet weg dat het wel nodig is deze te kennen, teneinde het effect van bemestingsstrategieën op termijn te kunnen evalueren. Daarom wordt in Nutmatch voor deze achtergrondmineralisatie een waarde aangenomen. Deze aangenomen achtergrondmineralisatie wordt hier verder aangeduid als de *referentie-achtergrondmineralisatie*. Dat is dus de achtergrondmineralisatie waarvan verondersteld wordt dat die aanwezig was in de veldproeven waarop het Bemestingsadvies is gebaseerd en waarbij volgen van het Bemestingsadvies (hoogste N-niveau) dus resulteert in economisch optimale giften.

Zoals bekend is de jaarlijkse achtergrondmineralisatie de resultante van een jarenlang bodembeheer, dus mede van de gevolgde bemestingsstrategie. Omdat in Nutmatch deze bemestingsstrategie door het model zelf moet worden vastgesteld, is ook de jaarlijkse achtergrondmineralisatie een uitkomst van de modelberekeningen, en niet een van tevoren aan te nemen grootheid. Het staat immers niet bij voorbaat vast dat een met Nutmatch berekend bemestingsplan 'past' bij zo'n aangenomen niveau, zoals bijvoorbeeld de referentie-achtergrondmineralisatie. Het kan zijn dat inputs van organische N – als onderdeel van het bemestingsplan – op termijn leiden tot een jaarlijkse achtergrondmineralisatie die hoger is dan de referentie-achtergrondmineralisatie. In dat geval zou bespaard kunnen worden op het gebruik van kunstmest-N zonder dat dat ten koste gaat van de opbrengst, omdat er meer N uit de bodem geleverd wordt. Omgekeerd kunnen relatief lage inputs van organische N op termijn leiden tot een verlaagde jaarlijkse achtergrondmineralisatie. In dat geval zijn de N-giften volgens het Bemestingsadvies onvoldoende voor economisch optimale opbrengsten en zal er meer N via kunstmest en/of dierlijke mest moeten worden gegeven dan het Bemestingsadvies voorschrijft.

De achtergrondmineralisatie wordt in Nutmatch berekend in afhankelijkheid van wat er jaarlijks aan organische meststoffen en gewasresten wordt toegediend, volgens het berekende optimale bemestingsplan. Om dit mogelijk te maken moet de gebruiker specificeren op welke looptijd de berekeningen betrekking hebben. Wordt deze bijvoorbeeld op 25 jaar gesteld, dan 'past' het door Nutmatch geoptimaliseerde bemestingsplan bij de achtergrondmineralisatie welke ontstaat nadat de rotatie met het als optimaal vastgestelde bemestingsplan gedurende 25 jaar is volgehouden. Het lange termijn effect van een bemestingsstrategie op de bodemvruchtbaarheid wordt op deze wijze in rekening gebracht. Nutmatch kan daarbij rekenen voor 5, 10 of 25 jaar 'volhouden' van een bemestingsplan en voor de evenwichtssituatie die ontstaat na zeer lange looptijd ('oneindig'). De bedoelde 'looptijd' wordt overigens niet dynamisch doorlopen, zoals in dynamische simulatiemodellen gebeurt, maar wordt in de technische coëfficiënten verdisconteerd die als invoer dienen voor Nutmatch (zie Figuur 1.1). De met Nutmatch berekende achtergrondmineralisatie wordt verder aangeduid als de *actuele achtergrondmineralisatie* en hieronder nader gedefinieerd.

De totale stikstofmineralisatie wordt in Nutmatch berekend op grond van vrijkomende N uit een initiële pool 'oude organische stof', die vóór de start van de rotatie met het geoptimaliseerde bemestingsplan reeds aanwezig was, en uit nieuw toegevoegde organische stof, dus organische mest en gewasresten die ingebracht worden gedurende de looptijd. Voor de beschrijving van de afbraak van organische stof uit de diverse bronnen wordt verwezen naar Hoofdstuk 3. Van alle *in het eerste jaar* vrijkomende N uit nieuw toegevoegde organische stof wordt perceels-

specifiek de werkzaamheid voor gewassen bepaald. De nieuw toegevoegde bronnen worden in het eerste jaar na toediening dus als het ware gevolgd in de tijd en van alle in dat eerste jaar vrijkomende N wordt de werkzaamheid voor volggewassen bepaald. De eerstejaarswerking is daarom perceelsspecifiek.

Mineraliserende N uit organische bronnen *na het eerste jaar na toediening* wordt niet op perceelsniveau berekend, maar als gewogen gemiddelde van afzonderlijke perceelbijdragen op rotatieniveau. Ook wordt aangenomen dat mineraliserende N uit de initiële pool 'oude organische stof' voor alle percelen gelijk is. De optelsom van mineraliserende N uit toegevoegde organische stof *na het eerste jaar na toediening* en mineraliserende N uit de pool 'oude organische stof' is dan de actuele achtergrondmineralisatie die wordt verondersteld voor het gehele bedrijfsareaal geldig te zijn. Op grond van het verschil tussen de aangenomen referentie-achtergrondmineralisatie en de mede door het gekozen bemestingsplan bepaalde actuele achtergrondmineralisatie worden de elf op basis van de referentie-N-behoefte gedefinieerde N-behoefte-niveaus van afzonderlijke gewassen naar boven of naar beneden bijgesteld. Als het gekozen bemestingsplan resulteert in een actuele achtergrondmineralisatie die groter is dan de referentie-achtergrondmineralisatie, worden N-behoefte-niveaus van alle gewassen in de rotatie naar beneden bijgesteld, ter grootte van het voor elk gewas *werkzame* deel van het verschil. Omgekeerd, als de in Nutmatch berekende actuele achtergrondmineralisatie lager is dan de referentie-achtergrondmineralisatie, dan worden de N-behoefte-niveaus vermeerderd met het voor elk gewas *werkzame* deel van het verschil. De berekening van de werkzaamheid van gemineraliseerde N voor gewassen is beschreven in Hoofdstuk 4.

2.3.2.2 Vraag en aanbod werkzame N

Het aanbod aan werkzame N uit (1) gewasresten van voorgaande gewassen (2) dierlijke mestgiften en (3) kunstmest-N dient voor elke eerste (Vgl. 2.1) en tweede (Vgl. 2.2) gewasteelt minimaal gelijk te zijn aan de N-behoefte gecorrigeerd voor het werkzame verschil tussen de actuele achtergrondmineralisatie en de referentie-achtergrondmineralisatie. Werkzame N uit organische bronnen aan de aanbodzijde is alléén berekend op grond van mineralisatie in het eerste jaar na toediening van deze bronnen.

Van gehuurde percelen is de 'geschiedenis' niet bekend. Het is daarom ook niet mogelijk om voor deze percelen rekening te houden met werkzame N uit gewasresten of nawerking van organische mestgiften in voorafgaande gewassen.

Vgl. 2.1

$$\begin{aligned} & \sum_{z,p} \text{oppervlaktefactor}(g,s,z,p) * w_{\text{gewasrest}}(g,s,z,p) + \\ & \sum_{o,w,x} X1EFFORG(g,s,n,o,w,x) + \\ & \sum_{o,w,z,p} \text{oppervlaktefactor}(g,s,z,p) * XEFFI3ORG(g,s,o,w,z,p,n) + \\ & \sum_{o,w,z,p} \text{oppervlaktefactor}(g,s,z,p) * X23EFFORG(g,s,o,w,z,p,n) + \\ & \sum_{m=1} N_{\text{min_fer}}(m) * XMINI(g,s,n,m) \geq \\ & N1_{\text{behoefte}}(g,s,n) * X1_{\text{TEELT}}(g,s,n) - \\ & X_{\text{IVER}}(g,s,n) \\ & \forall g,s,n \\ & g,s \ni (FUGSI(g,s) = 1) \end{aligned}$$

Variabelen

X1EFFORG(g,s,n,o,w,x):

Werkzame N in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n als gevolg van toediening in eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg N]

XEFF13ORG(g,s,o,w,z,p,n):	Werkzame N als gevolg van toediening in voorafgaande eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w in volgende eerste gewasteelt z op perceel p op N-niveau n [kg N]
X23EFFORG(g,s,o,w,z,p,n):	Werkzame N als gevolg van toediening in voorafgaande tweede gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w in volgende eerste gewasteelt z op perceel p op N-niveau n [kg N]
XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X_1VER(g,s,n):	Verschil tussen het werkzame deel van referentie-achtergrondmineralisatie en het werkzame deel van de actuele achtergrondmineralisatie in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n (vrije variabele) [kg N]

Coëfficiënten

oppervlaktefactor(g,s,z,p):	Factor die aangeeft welk oppervlak van gewas g op perceel s voorafgaat aan gewas z op perceel p [-]
w_gewasrest(g,s,z,p):	Werkzame N in gewas g op perceel s uit gewasrest van voorgaand gewas z op perceel p [kg N ha ⁻¹]
Nmin_fer(m):	N-gehalte van minerale mestsoort m [kg N kg ⁻¹ product]
N1behoefte(g,s,n):	N-behoefte van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg N ha ⁻¹]
<u>Funcies</u>	
FUGS1(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g en percelen s [0/1]

Vgl. 2.2

$$\sum_{z,p} oppervlaktefactor(g,s,z,p) * w_gewasrest(g,s,z,p) +$$

$$\sum_{o,w,x} X2EFFORG(g,s,n,o,w,x) +$$

$$\sum_{o,w} XEFF12ORG(g,s,n,o,w) +$$

$$\sum_{o,w,z,p} oppervlaktefactor(g,s,z,p) * X23EFFORG(g,s,n,o,w,z,p) +$$

$$\sum_{m=1} Nmin_fer(m) * XMIN2(g,s,n,m) \geq$$

$$N2behoefte(g,s,n) * X2_TEELT(g,s,n) -$$

$$X_2VER(g,s,n)$$

$\forall g,s,n$
 $g,s \ni (FUGS2(g,s) = 1)$

Variabelen

X2EFFORG(g,s,n,o,w,x):	Werkzame N in tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n als gevolg van toediening in tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg N]
XEFF12ORG(g,s,n,o,w):	Werkzame N in tweede gewasteelt als gevolg van toediening in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w [kg N]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X_2VER(g,s,n):	Verschil tussen het werkzame deel van referentie-achtergrondmineralisatie en het werkzame deel van de actuele achtergrondmineralisatie in tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n (vrije variabele) [kg N]

Coëfficiënten

oppervlaktefactor(g,s,z,p):	Factor die aangeeft welk oppervlak van gewas g op perceel s voorafgaat aan gewas z op perceel p [-]
w_gewasrest(g,s,z,p):	Werkzame N in gewas g op perceel s uit gewasrest van voorgaand gewas z op perceel p [kg N ha ⁻¹]
Nmin_fer(m):	N-gehalte van minerale mestsoort m [kg N kg ⁻¹ product]
N2behoefte(g,s,n):	N-behoefte van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg N ha ⁻¹]
<u>Functies</u>	
FUGS2(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g op percelen s [0/1]

2.3.2.3 Werkzame N uit organische mestgiften in eerste jaar na toediening

De hoeveelheid werkzame N in eerste gewasteelten als gevolg van organische mestgiften in eerste gewasteelten (Vgl. 2.3) is de optelsom van het werkzame deel van de toegediende minerale N-fractie (gecorrigeerd voor gasvormige aanwendingsverliezen) en het werkzame deel van de toegediende organische N-fractie. De werking van de minerale fractie is afhankelijk van toedieningstechniek en het tijdsbestek tussen toedieningstijdstip en begin van actieve N-opname door het bemeste gewas. De werking van de organische N-fractie is afhankelijk van de mate waarin het vrijkomen van N in opneembare vorm - samenhangend met afbraak van organische stof - samenvalt met actieve N-opname door het bemeste gewas. Hiermee is de totale werking van de organische N-fractie een functie van toedieningstijdstip, mestsoort en begin en eind van actieve N-opname van het bemeste gewas. De werking van de organische N-fractie wordt alleen berekend over de organische N die tot 1 jaar na toediening in minerale vorm beschikbaar komt.

Vgl. 2.3

$$Norg_cont(o) * 0.001 * wc_Norg1(g,s,o,w) * 0.01 * Norg_fractie1(o) * XIORG(g,s,n,o,w,x) +$$

$$Nmin_cont(o) * 0.001 * (1 - emissie(x)) * wc_Nmin1(g,s,o,w) * 0.01 * XIORG(g,s,n,o,w,x) =$$

$$XIEFFORG(g,s,n,o,w,x)$$

$$\forall g,s,n,o,w,x$$

$$g,s,w \ni (FUGSW(g,s,w) = 1)$$

$$o,x \ni (FUOX(o,x) = 1)$$

Variabelen

XIORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
XIEFFORG(g,s,n,o,w,x):	Werkzame N in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n als gevolg van toediening in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg N]

Coëfficiënten

Norg_cont(o):	Norg gehalte organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
wc_Norg1(g,s,o,w):	Werkingscoëfficiënt van Norg dat in eerste jaar mineraliseert in eerste gewasteelt g op perceel s in afhankelijkheid mestsoort o en toedieningstijdstip w [-]
Norg_fractie1(o):	Fractie van totale hoeveelheid Norg in organische meststoffen die in eerste jaar mineraliseert als functie van meststof o [-]
Nmin_cont(o):	Nmin gehalte organische mestsoort o [kg ton ⁻¹ product]
emissie(x):	emissie-% van Nmin in toegediende organische mest als functie van toedieningstechniek x [-]
wc_Nmin1(g,s,o,w):	Werkingscoëfficiënt van niet-vervluchtigde Nmin in eerste gewasteelt g op perceel s in afhankelijkheid mestsoort o en toedieningstijdstip w [-]

Functies

FUOX(o,x):	Specificatie van bestaande combinaties van organische mestsoorten o en toedieningstechnieken x [0/1]
------------	--

FU1GSW(g,s,w): Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

De hoeveelheid werkzame N in tweede gewasteelten als gevolg van organische mestgiften in eerste gewasteelten (Vgl. 2.4) bestaat alleen uit het in de tweede gewasteelt werkzame deel van de organische N-fractie. Deze nawerking is afhankelijk van de mate waarin het vrijkomen van N in opneembare vorm samenvalt met de periode van actieve N-opname door de tweede gewasteelt.

Vgl. 2.4

$$\sum_x Norg_cont(o) * 0.001 * wc_Norg12(g,s,o,w) * 0.01 * Norg_fractie1(o) * X1ORG(g,s,n,o,w,x) =$$

$$\sum_n XEFF12ORG(g,s,n,o,w)$$

$\forall g,s,o,w$
 $g,s,w \ni (FU1GSW(g,s,w) = 1)$

Variabelen

X1ORG(g,s,n,o,w,x): Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
 XEFF12ORG(g,s,n,o,w): Werkzame N in tweede gewasteelt als gevolg van toediening in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w [kg N]

Coëfficiënten

Norg_cont(o): Norg gehalte organische mestsoort o [kg N ton⁻¹ product]
 wc_Norg12(g,s,o,w): Werkingscoëfficiënt in tweede gewasteelt van Norg toegediend in eerste gewasteelt g op perceel s in afhankelijkheid mestsoort o en toedieningstijdstip w [-]
 Norg_fractie1(o): Fractie van totale hoeveelheid Norg in organische meststoffen die in eerste jaar mineraliseert als functie van meststof o [-]

Functies

FU1GSW(g,s,w): Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

De hoeveelheid werkzame N in eerste gewasteelten als gevolg van organische mestgiften in voorgaande eerste gewasteelten (Vgl. 2.5) bestaat eveneens uit het werkzame deel van de organische N-fractie. Ook deze nawerking is afhankelijk van het tijdsbestek tussen vrijkomen van N in opneembare vorm en de start van actieve N opname door de volgende eerste gewasteelt.

Vgl. 2.5

$$\sum_{n,x} Norg_cont(o) * 0.001 * wc_Norg13(g,s,o,w,z,p) * 0.01 * Norg_fractie1(o) * X1ORG(g,s,n,o,w,x) =$$

$$\sum_n XEFF13ORG(g,s,o,w,z,p,n)$$

$\forall g,s,o,w,z,p$
 $g,s,w \ni (FU1GSW(g,s,w) = 1)$
 $g,s,z,p \ni (FU13(g,s,z,p) = 1)$

Variabelen

X1ORG(g,s,n,o,w,x): Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
 XEFF13ORG(g,s,o,w,z,p,n): Werkzame N als gevolg van toediening in voorafgaande eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w in volgende eerste gewasteelt z op perceel p op N-niveau n [kg N]

Coëfficiënten

Norg_cont(o):	Norg gehalte organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
wc_Norg13(g,s,o,w,z,p):	Werkingscoëfficiënt van Norg in volgende eerste gewasteelt z op perceel p toegediend in voorafgaande eerste gewasteelt g op perceel s bij toediening van mestsoort o op toedieningstijdstip w [-]
Norg_fractie1(o):	Fractie van totale hoeveelheid Norg in organische meststoffen die in eerste jaar mineraliseert als functie van meststof o [-]

Functies

FU1GSW(g,s,w):	Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]
FU13(g,s,z,p):	Specificatie van bestaande combinaties van voorafgaande eerste gewasteelten g op percelen s en volgende eerste gewasteelten z op percelen p [0/1]

De hoeveelheid werkzame N in tweede gewasteelten als gevolg van organische mestgiften in tweede gewasteelten is de optelsom van het werkzame deel van de toegediende minerale N-fractie (gecorrigeerd voor gasvormige aanwendingsverliezen) en het werkzame deel van de organische N-fractie (Vgl. 2.6).

Vgl. 2.6

$$Norg_cont(o) * 0.001 * wc_Norg2(g,s,o,w) * 0.01 * Norg_fractie1(o) * X2ORG(g,s,n,o,w,x) +$$

$$Nmin_cont(o) * 0.001 * (1 - emissie(x)) * wc_Nmin2(g,s,o,w) * 0.01 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) =$$

$$X2EFFORG(g,s,n,o,w,x)$$

$$\forall g,s,n,o,w,x$$

$$g,s,w \ni (FU2GSW(g,s,w) = 1)$$

$$o,x \ni (FUOX(o,x) = 1)$$

Variabelen

X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2EFFORG(g,s,n,o,w,x):	Werkzame N in tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n als gevolg van toediening in tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg N]

Coëfficiënten

Norg_cont(o):	Norg gehalte organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
wc_Norg2(g,s,o,w):	Werkingscoëfficiënt van Norg dat in eerste jaar mineraliseert in tweede gewasteelt g op perceel s in afhankelijkheid mestsoort o en toedieningstijdstip w [-]
Norg_fractie1(o):	Fractie van totale hoeveelheid Norg in organische meststoffen die in eerste jaar mineraliseert als functie van meststof o [-]
Nmin_cont(o):	Nmin gehalte organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
emissie(x):	emissie-% van Nmin in toegediende organische mest als functie van toedieningstechniek x [-]
wc_Nmin2(g,s,o,w):	Werkingscoëfficiënt van niet-vervluchtigde Nmin in tweede gewasteelt g op perceel s in afhankelijkheid mestsoort o en toedieningstijdstip w [-]

Functies

FUOX(o,x):	Specificatie van bestaande combinaties van organische mestsoorten o en toedieningstechnieken x [0/1]
FU2GSW(g,s,w):	Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

De hoeveelheid werkzame N in eerste gewasteelten als gevolg van organische mestgiften in voorgaande tweede gewasteelten (Vgl. 2.7) bestaat uit het werkzame deel van de organische N-fractie. Als in eerdere vergelijkingen is deze werking afhankelijk van het tijdsbestek tussen vrijkomen van N in opneembare vorm en de start van actieve N opname door de volgende eerste gewasteelt.

Vgl. 2.7

$$\sum_{n,x} Norg_cont(o) * 0.001 * wc_Norg23(g,s,o,w,z,p) * 0.01 * Norg_fractie1(o) * X2ORG(g,s,n,o,w,x) =$$

$$\sum_n X23EFFORG(g,s,o,w,z,p,n)$$

 $\forall g,s,o,w,z,p$ $g,s,w \ni (FU2GSW(g,s,w) = 1)$ $g,s,z,p \ni (FU23(g,s,z,p) = 1)$ Variabelen

X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X23EFFORG(g,s,o,w,z,p,n):	Werkzame N als gevolg van toediening in voorafgaande tweede gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w in volgende eerste gewasteelt z op perceel p op N-niveau n [kg N]

Coëfficiënten

Norg_cont(o):	Norg gehalte organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
wc_Norg23(g,s,o,w,z,p):	Werkingscoëfficiënt van Norg in volgende eerste gewasteelt z op perceel p toegediend in voorafgaande tweede gewasteelt g op perceel s bij toediening van mestsoort o op toedieningstijdstip w [-]
Norg_fractie1(o):	Fractie van totale hoeveelheid Norg in organische meststoffen die in eerste jaar mineraliseert als functie van meststof o [-]

Funcities

FU2GSW(g,s,w):	Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]
FU23(g,s,z,p):	Specificatie van bestaande combinaties van voorafgaande tweede gewasteelten g op percelen s en volgende eerste gewasteelten z op percelen p [0/1]

2.3.2.4 Actuele achtergrondmineralisatie en correctie van referentie-N-behoeften

De actuele achtergrondmineralisatie wordt voor een gemiddelde ha in de rotatie berekend na τ jaren toepassen van het bemestingsplan, met τ in te stellen op 5, 10 of 25 jaar, of bij de evenwichtssituatie ('oneindige looptijd'). De achtergrondmineralisatie bestaat uit twee hoofdtermen (Vgl. 2.8): (1) N-mineralisatie uit in jaar τ nog resterende 'oude organische stof', gegeven een bepaalde hoeveelheid initiële organische stof in de bodem bij de start van de rotatie, en (2) N-mineralisatie uit organische meststoffen en gewasresten toegevoegd gedurende de looptijd van de rotatie in de jaren 2 tot en met τ na toediening. De actuele achtergrondmineralisatie wordt alleen berekend voor percelen in eigendom, omdat gehuurde percelen niet gedurende de gehele doorgerekende looptijd deel zullen uitmaken van het bedrijfsareaal, noch hun 'geschiedenis' gekend is. Voor gehuurde percelen wordt uitgegaan van de referentie-achtergrondmineralisatie.

Vgl. 2.8

 $oud_org_jr\tau +$ $gewasrest2_jr\tau +$

$$\sum_{g,s,n,o,w,x} Norg_cont(o) * 0.001 * (1/tot_eig_opp) * Norg_fractie_jr\tau(o) * X1ORG(g,s,n,o,w,x) +$$

$$\sum_{g,s,n,o,w,x} Norg_cont(o) * 0.001 * (1/tot_eig_opp) * Norg_fractie_jr\tau(o) * X2ORG(g,s,n,o,w,x) =$$

 $XMINERA$

Variabelen

X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
XMINERA:	Actuele achtergrondmineralisatie per gemiddelde ha uit mineralisatie van organisch gebonden N in 'oude organische stof' en mineralisatie van organisch gebonden N in nieuw toegediende gewasresten en organische mestsoorten [kg N ha ⁻¹]

Coëfficiënten

Norg_cont(o):	Norg gehalte organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
oud_org_jrt:	N-mineralisatie uit de in jaar τ resterende hoeveelheid oude organische stof [kg N ha ⁻¹]
gewasrest2_jrt:	N-mineralisatie uit in de jaren 2 t/m τ 'toegediende' gewasresten [kg N ha ⁻¹]
Norg_fractie_jrt (o):	Fractie van totale hoeveelheid Norg in organische meststoffen o die in de jaren 2 t/m τ na toedienen mineraliseert [-]
tot_eig_opp:	Totale oppervlakte grond in eigendom [ha]

In Vgls. 2.9 en 2.10 wordt voor alle eerste gewasteelten resp. tweede gewasteelten op percelen in eigendom het verschil berekend tussen het werkzame deel van de actuele achtergrondmineralisatie en het werkzame deel van een door de gebruiker in te stellen referentie-achtergrondmineralisatie. De variabelen X₁VER(g,s,n) en X₂VER(g,s,n) zijn gedefinieerd als zgn. vrije variabelen, wat betekent dat ze zowel positieve als negatieve waarden kunnen aannemen. Op grond van de waarden van X₁VER(g,s,n) en X₂VER(g,s,n) worden referentie-N-behoeften van gewasteelten naar boven dan wel naar beneden bijgesteld (zie Vgls. 2.1 en 2.2).

Vgl. 2.9

$$wc_achtergrond1(g,s) * 0.01 * opper1vlak(g,s) * XMINERA -$$

$$wc_achtergrond1(g,s) * 0.01 * opper1vlak(g,s) * miner_ref =$$

$$\sum_n X_{1VER}(g,s,n)$$

$$\forall g,s$$

$$g,s \ni (FUGS1(g,s) = 1)$$

Variabelen

XMINERA:	Actuele achtergrondmineralisatie per gemiddelde ha per jaar uit mineralisatie van organisch gebonden N in 'oude organische stof' en mineralisatie van organisch gebonden N in gedurende de looptijd toegediende gewasresten en organische mestsoorten [kg N ha ⁻¹]
X ₁ VER(g,s,n):	Verskil tussen het werkzame deel van een referentie achtergrondmineralisatie en het werkzame deel van de actuele achtergrondmineralisatie in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg N]

Coëfficiënten

wc_achtergrond1(g,s):	Werkingscoëfficiënt van beschikbaar komende N als gevolg van achtergrondmineralisatie in eerste gewasteelt g op perceel s [-]
miner_ref:	Referentie-achtergrondmineralisatie [kg N ha ⁻¹]
opper1vlak(g,s):	oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]

Functies

FUGS1(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van eerste teelt gewassen g en percelen s [0/1]
-------------	--

Vgl. 2.10

$$wc_achtergrond2(g,s) * 0.01 * opper2vlak(g,s) * XMINERA -$$

$$wc_achtergrond2(g,s) * 0.01 * opper2vlak(g,s) * miner_ref =$$

$$\sum_n X_2VER(g,s,n)$$

$$\forall g,s$$

$$g,s \ni (FUGS2(g,s) = 1)$$

Variabelen

XMINERA:	Actuele achtergrondmineralisatie per gemiddelde ha per jaar uit mineralisatie van organisch gebonden N in 'oude organische stof' en mineralisatie van organisch gebonden N in gedurende de looptijd toegediende gewasresten en organische mestsoorten [kg N ha ⁻¹]
X_2VER(g,s,n):	Verskil tussen het werkzame deel van een referentie achtergrondmineralisatie en het werkzame deel van de actuele achtergrondmineralisatie in tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg N]

Coëfficiënten

wc_achtergrond2(g,s):	Werkingscoëfficiënt van beschikbaar komende N als gevolg van achtergrondmineralisatie in tweede gewasteelt g op perceel s [-]
miner_ref:	Referentie-achtergrondmineralisatie [kg N ha ⁻¹]
opper2vlak(g,s):	oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]

Functies

FUGS2(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van tweede teelt gewassen g en percelen s [0/1]
-------------	--

2.3.2.5 Totale bodem-N-verlies en nitraatgehalte in grondwater

Het totale bodem-N-verlies op rotatieniveau (Vgl. 2.11) wordt berekend als de totale in een jaar beschikbaar komende hoeveelheid minerale N minus de totale vastlegging in organische vorm in gewasproducten en gewasresten minus ammoniakverliezen bij aanwending van mest. De totale hoeveelheid in minerale vorm beschikbaar komende N is de som van de minerale N-aanvoer (kunstmest-N, minerale N in organische meststoffen, N-depositie) en de in minerale vorm beschikbaar komende N als gevolg van mineralisatie van organische stof (oude organische stof, gewasresten, organische N-fracties in toegediende meststoffen). Net als gold voor de achtergrondmineralisatie kan het bodem-N-verlies worden berekend op grond van vrijkomende N uit organische bronnen in de jaren 1 t/m 5, 1 t/m 10 en 1 t/m 25 of bij evenwicht. Op grond van het bovenstaande is de grootte van het bodem-N-verlies mede afhankelijk van het lange termijn bodembeheer. Omdat gehuurde percelen niet gedurende de gehele looptijd deel zullen uitmaken van het bedrijfsareaal, zijn gehuurde percelen bij het berekenen van de absolute omvang van het bodem-N-verlies op het bedrijf buiten beschouwing gelaten. Bij het berekenen van het bodem-N-verlies per ha, de indicator waar het feitelijk om gaat, wordt het areaal gehuurde percelen dan uiteraard buiten beschouwing gelaten.

Vgl. 2.11

$$\begin{aligned}
 & \sum_{g,s,n,m} N_minfer(m) * XMIN1(g,s,n,m) + \\
 & \sum_{g,s,n,m} N_minfer(m) * XMIN2(g,s,n,m) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} Nmin_cont(o) * (1 - emissie(x)) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} Nmin_cont(o) * (1 - emissie(x)) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} (Norg_fractie1(o) + Norg_fractie_jr\tau(o)) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} (Norg_fractie1(o) + Norg_fractie_jr\tau(o)) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) + \\
 & (Ndepo + oud_org_jr\tau) * tot_opp_eig + \\
 & gewasrest1 + gewasrest2_jr\tau * tot_opp_eig - \\
 & \sum_{g,s,n} N1afvhoofd(g,s,n) * X1_TEELT(g,s,n) - \\
 & \sum_{g,s,n} N2afvhoofd(g,s,n) * X2_TEELT(g,s,n) - \\
 & Ntot_in_gewasrest = \\
 & X_TOTVERLIES
 \end{aligned}$$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X_TOTVERLIES:	Totaal N-verlies op bedrijfsniveau (vrije variabele) [kg N ha ⁻¹]

Coëfficiënten

Nmin_fer(m):	N-gehalte van minerale mestsoort m [kg N kg ⁻¹ product]
Norg_cont(o):	Norg gehalte organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
Norg_fractie1(o):	Fractie van totale hoeveelheid Norg in organische meststoffen die in eerste jaar mineraliseert als functie van meststof o [-]
Norg_fractie_jr\tau (o):	Fractie van totale hoeveelheid Norg in organische meststoffen o die in de jaren 2 t/m \tau na toedienen mineraliseert [-]
Nmin_cont(o):	Nmin gehalte organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
emissie(x):	emissie-% van Nmin in toegediende organische mest als functie van toedieningstechniek x [-]
Ndepo:	N-depositie [kg N ha ⁻¹]
oud_org_jr\tau:	N-mineralisatie uit de in jaar \tau resterende hoeveelheid oude organische stof [kg N ha ⁻¹]
tot_eig_opp:	Totale oppervlakte grond in eigendom [ha]
N1afvhoofd(g,s,n):	N-afvoer via hoofdproducten van eerste gewasteelten g op percelen s op N-niveau n [kg N ha ⁻¹]
N2afvhoofd(g,s,n):	N-afvoer via hoofdproducten van tweede gewasteelten g op percelen s op N-niveau n [kg N ha ⁻¹]

Ntot_in_gewasrest:	Totale jaarlijkse vastlegging van N in gewasresten op rotatieniveau [kg N]
gewasrest1:	N-mineralisatie uit gewasresten in het eerste jaar na 'toediening' [kg N ha ⁻¹]
gewasrest2_jrt:	N-mineralisatie uit in de jaren 2 t/m τ 'toegediende' gewasresten [kg N ha ⁻¹]

Uit het berekende bodem-N-verlies wordt het nitraatgehalte in het bovenste grondwater (zandgronden) en het totaal-N-gehalte in drainwater (kleigronden) berekend volgens Schröder *et al.* (2007). Daarbij spoelt een empirisch bepaalde, aan het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid ontleende fractie van het bodem-N-verlies uit. Op bouwland op zandgronden bedraagt deze fractie 106% en op bouwland op kleigronden 31%. De aldus berekende N-vracht lost op in een neerslagoverschot of drainwatervolume dat grondsoort- en grondgebruikspecifiek varieert van ca. 385 tot 475 mm. Op zandgronden wordt in de ondergrond vervolgens nog een Gt-afhankelijke hoeveelheid nitraat gedenitrificeerd. Voor kleigronden is deze Gt-correctie niet toegepast, maar is alle denitrificatie reeds volledig verwerkt in de uitspoelingsfractie.

2.3.3 PK-voorziening van gewassen en bouwplan

2.3.3.1 Conceptuele benadering

In het Bemestingsadvies (Van Dijk, 2003) worden voor de nutriënten P en K twee typen adviezen gehanteerd: een *bodemgericht advies* en een *gewasgericht advies*. Het bodemgerichte advies geeft aan hoeveel fosfaat en kali aan de rotatie gegeven moet worden boven gewasonttrekking plus zgn. onvermijdbare verliezen, om een bepaalde fosfaat- en kalitoestand (Pw-getal en K-getal) te handhaven dan wel te bereiken. Het gewasgerichte advies geeft aan hoeveel fosfaat en kali aan een individuele gewasteelt moet worden gegeven, dit afhankelijk van Pw- en K-getal van het perceel. Ten behoeve van het gewasgerichte advies zijn gewassen ingedeeld in zgn. gewasgroepen. De gewasgroep waarin een gewas is ingedeeld bepaalt de P- resp. K-behoefte van het gewas, gegeven Pw- en K-getal van het perceel.

De in Nutmatch opgenomen beperkingen ten aanzien van de P- en K-bemesting sluiten nauw aan bij het Bemestingsadvies en dus wordt ook in Nutmatch gewerkt met een bodemgericht en een gewasgericht advies. Het bodemgerichte advies in Nutmatch is identiek aan dat in het Bemestingsadvies. Het gewasgerichte advies is in Nutmatch opgenomen door opname van de beperking dat de fosfaat- en kalibehoeft van gewassen die behoren tot de twee gewasgroepen met de hoogste behoefte op gewasniveau gedekt moeten worden. Voor deze gewassen dient dus op gewasniveau de totale hoeveelheid P en K uit organische – en kunstmeststoffen minimaal gelijk te zijn aan de volgens advies vereiste hoeveelheid. Voor gewassen die niet tot deze groepen behoren zijn geen randvoorwaarden geformuleerd. De P- en K-gift in deze gewassen hoeft dus niet persé de (relatief lage) behoefte te dekken.

2.3.3.2 Bodemgerichte PK-adviezen

De bodemgerichte P- en K-adviezen zoals opgenomen in Nutmatch (Vgls. 2.12 en 2.13) schrijven voor dat de P-resp. K-aanvoer via plant- en pootgoed en meststoffen minus de PK-afvoer in gewasproducten minimaal gelijk moeten zijn aan het onvermijdbare verlies. Conform het Bemestingsadvies is het onvermijdbaar geachte P-verlies voor alle grondsoorten op 8.7 kg per ha per jaar gesteld (=20 kg P₂O₅), het onvermijdbaar geachte K-verlies voor zandgronden op 42 kg (=50 kg K₂O) en het onvermijdbaar geachte K-verlies voor kleigronden op 0 kg.

Vgl. 2.12

$$\begin{aligned}
 & \sum_{g,s} P1aanvplpo(g,s) * opper1vlak(g,s) + \\
 & \sum_{g,s} P2aanvplpo(g,s) * opper2vlak(g,s) + \\
 & \sum_{g,s,n,m=2} P_minfer(m) * XMIN1(g,s,n,m) + \\
 & \sum_{g,s,n,m=2} P_minfer(m) * XMIN2(g,s,n,m) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} P_cont(o) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} P_cont(o) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) - \\
 & \sum_{g,s,n} P1afvhoofd(g,s,n) * X1_TEELT(g,s,n) - \\
 & \sum_{g,s,n} P2afvhoofd(g,s,n) * X2_TEELT(g,s,n) \geq \\
 & \sum_{g,s} Ponvermijd * opper1vlak(g,s)
 \end{aligned}$$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]

Coëfficiënten

P1aanvplpo(g,s):	P-aanvoer via plant- en pootgoed van eerste gewasteelt g op perceel s [kg P ha ⁻¹]
P2aanvplpo(g,s):	P-aanvoer via plant- en pootgoed van tweede gewasteelt g op perceel s [kg P ha ⁻¹]
opper1vlak(g,s):	oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]
opper2vlak(g,s):	oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]
P_minfer(m):	P-gehalte van kunstmestsoort m [kg P kg ⁻¹ product]
P_cont(o):	P-gehalte van organische mestsoort o [kg P ton ⁻¹ product]
P1afvhoofd(g,s,n):	P-afvoer in hoofdproduct van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg P ha ⁻¹]
P2afvhoofd(g,s,n):	P-afvoer in hoofdproduct van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg P ha ⁻¹]
Ponvermijd:	Onvermijdbaar P-verlies volgens Bemestingsadvies [kg P ha ⁻¹]

Vgl. 2.13

$$\begin{aligned}
 & \sum_{g, s} K1aanvplpo(g, s) * opper1vlak(g, s) + \\
 & \sum_{g, s} K2aanvplpo(g, s) * opper2vlak(g, s) + \\
 & \sum_{g, s, n, m = 2} K_minfer(m) * XMIN1(g, s, n, m) + \\
 & \sum_{g, s, n, m = 2} K_minfer(m) * XMIN2(g, s, n, m) + \\
 & \sum_{g, s, n, o, w, x} K_cont(o) * 0.001 * X1ORG(g, s, n, o, w, x) + \\
 & \sum_{g, s, n, o, w, x} K_cont(o) * 0.001 * X2ORG(g, s, n, o, w, x) - \\
 & \sum_{g, s, n} K1afvhoofd(g, s, n) * X1_TEELT(g, s, n) - \\
 & \sum_{g, s, n} K2afvhoofd(g, s, n) * X2_TEELT(g, s, n) \geq \\
 & \sum_{g, s} Konvermijd * opper1vlak(g, s)
 \end{aligned}$$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]

Coëfficiënten

K1aanvplpo(g,s):	K-aanvoer via plant- en pootgoed van eerste gewasteelt g op perceel s [kg K ha ⁻¹]
K2aanvplpo(g,s):	K-aanvoer via plant- en pootgoed van tweede gewasteelt g op perceel s [kg K ha ⁻¹]
opper1vlak(g,s):	oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]
opper2vlak(g,s):	oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]
K_minfer(m):	K-gehalte van kunstmestsoort m [kg K kg ⁻¹ product]
K_cont(o):	K-gehalte van organische mestsoort o [kg K ton ⁻¹ product]
K1afvhoofd(g,s,n):	K-afvoer in hoofdproduct van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg K ha ⁻¹]
K2afvhoofd(g,s,n):	K-afvoer in hoofdproduct van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg K ha ⁻¹]
Konvermijd:	Onvermijdbaar K-verlies volgens Bemestingsadvies [kg K ha ⁻¹]

2.3.3.3 Gewasgerichte PK-adviezen

De gewasgerichte PK-adviezen zoals opgenomen in Nutmatch (Vgls. 2.14 en 2.15) schrijven voor dat de PK-giften via kunstmest en organische mest minimaal gelijk moeten zijn aan de PK-behoeften van het gewas, voor zover het gewassen betreft die behoren tot de twee gewasgroepen met de hoogste PK-behoefte. Indien organische meststoffen worden toegediend in het voorafgaand najaar, al dan niet gecombineerd met een tweede teelt van een

vanggewas, dan is verondersteld dat de dan toegediende P en K bijdraagt aan de P- en K-voorziening van het navolgende hoofdgewas.

Vgl. 2.14

$$\sum_{n,m=2} P_{\text{minfer}}(m) * XMIN1(g,s,n,m) +$$

$$\sum_{n,o,w,x} P_{\text{cont}}(o) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) +$$

$$\sum_{n,o,w=1,x} P_{\text{cont}}(o) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) \geq$$

$$P1advies(g,s) * opper1vlak(g,s)$$

$\forall g,s$
 $g,s \ni (FUGS1(g,s) = 1)$
 $g,s \ni (FUPI(g,s) = 1)$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]

Coëfficiënten

P1advies(g,s):	P-advies van eerste gewasteelt g op perceel s [kg P ha ⁻¹]
opper1vlak(g,s):	oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]
P_minfer(m):	P-gehalte van kunstmestsoort m [kg P kg ⁻¹ product]
P_cont(o):	P-gehalte van organische mestsoort o [kg P ton ⁻¹ product]

Functies

FUGS1(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van eerste teelt gewassen g en percelen s [0/1]
FUPI(g,s):	Specificatie van eerste teelt gewassen g en percelen s waarvan de P-behoefte op gewasniveau gedekt moet worden [0/1]

Vgl. 2.15

$$\sum_{n,m=2} K_{\text{minfer}}(m) * XMIN1(g,s,n,m) +$$

$$\sum_{n,o,w,x} K_{\text{cont}}(o) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) +$$

$$\sum_{n,o,w=1,x} K_{\text{cont}}(o) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) \geq$$

$$K1advies(g,s) * opper1vlak(g,s)$$

$\forall g,s$
 $g,s \ni (FUGS1(g,s) = 1)$
 $g,s \ni (FUK1(g,s) = 1)$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]

Coëfficiënten

K1advies(g,s):	K-advies van eerste gewasteelt g op perceel s [kg K ha ⁻¹]
opper1vlak(g,s):	oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]
K_minfer(m):	K-gehalte van kunstmestsoort m [kg K kg ⁻¹ product]
K_cont(o):	K-gehalte van organische mestsoort o [kg K ton ⁻¹ product]

Functies

FUGS1(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van eerste teelt gewassen g en percelen s [0/1]
FUK1(g,s):	Specificatie van eerste teelt gewassen g en percelen s waarvan de K-behoefte op gewasniveau gedekt moet worden [0/1]

2.3.3.4 Agronomische PK-overschotten op rotatieniveau

P- en K-overschotten worden berekend als aanvoer in meststoffen en zaai- en plantgoed minus de afvoer in gewasproducten (Vgls. 2.16 en 2.20). PK-overschotten kunnen zowel negatief als positief zijn. Hiertoe is het K-overschot XKBAL gedefinieerd als een vrije variabele, waardoor het zowel een positieve als een negatieve waarde aan kan nemen. Voor het P-overschot kon deze werkwijze niet gevolgd worden, omdat in een andere beperking (Vgl. 2.40, waarin de verandering van de Pw berekend wordt) gebruik wordt gemaakt van hetzij het negatieve P-overschot hetzij het positieve P-overschot, elk in die beperking te vermenigvuldigen met een andere coëfficiënt. Daarom is het in Vgl. 2.16 noodzakelijk gebruik te maken van twee afzonderlijke variabelen, voor respectievelijk een positief P-overschot en een negatief P-overschot. Dat brengt met zich mee dat extra beperkingen moeten worden opgenomen die bepalen dat slechts één van beide variabelen een waarde groter dan 0 kan hebben. De vergelijkingen 2.17 t/m 2.19 'regelen' dat, gebruikmakend van twee binaire variabelen. Vgls. 2.17 en 2.18 zorgen ervoor dat als het P-overschot positief (XPBALP>0) en/of negatief is (XPBALN>0), dat dan de corresponderende binaire variabele een waarde van 1 aanneemt. Vgl. 2.19 bepaalt vervolgens dat de som van de beide binaire variabelen maximaal 1 is, zodat het P-overschot dus òf negatief, òf positief moet zijn.

Vgl. 2.16

$$\begin{aligned}
 & \sum_{g,s} P1aanvplpo(g,s) * opper1vlak(g,s) + \\
 & \sum_{g,s} P2aanvplpo(g,s) * opper2vlak(g,s) + \\
 & \sum_{g,s,n,m=2} P_minfer(m) * XMIN1(g,s,n,m) + \\
 & \sum_{g,s,n,m=2} P_minfer(m) * XMIN2(g,s,n,m) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} P_cont(o) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} P_cont(o) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) - \\
 & \sum_{g,s,n} P1afvhoofd(g,s,n) * X1_TEELT(g,s,n) - \\
 & \sum_{g,s,n} P2afvhoofd(g,s,n) * X2_TEELT(g,s,n) = \\
 & XPBALP - XPBALN
 \end{aligned}$$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]

X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
XPBALP:	P-overschot op bedrijfsniveau (positief traject) [kg P ha ⁻¹]
XPBALN:	P-overschot op bedrijfsniveau (negatief traject) [kg P ha ⁻¹]
<u>Coëfficiënten</u>	
P1aanvplpo(g,s):	P-aanvoer via plant- en pootgoed van eerste gewasteelt g op perceel s [kg P ha ⁻¹]
P2aanvplpo(g,s):	P-aanvoer via plant- en pootgoed van tweede gewasteelt g op perceel s [kg P ha ⁻¹]
opper1vlak(g,s):	oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]
opper2vlak(g,s):	oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]
P_minfer(m):	P-gehalte van kunstmestsoort m [kg P kg ⁻¹ product]
P_cont(o):	P-gehalte van organische mestsoort o [kg P ton ⁻¹ product]
P1afvhoofd(g,s,n):	P-afvoer in hoofdproduct van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg P ha ⁻¹]
P2afvhoofd(g,s,n):	P-afvoer in hoofdproduct van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg P ha ⁻¹]

Vgl. 2.17

$$XPBALP \leq$$

$$\sum_{d=1} 999999 * BINPBAL(d)$$

Variabelen

XPBALP:	P-overschot op bedrijfsniveau (positief traject) [kg P ha ⁻¹]
BINPBAL(d):	Binaire variabele die bepaalt dat het P-overschot d op bedrijfsniveau ofwel kleiner of gelijk is aan 0, ofwel groter is dan 0 [0/1]

Vgl. 2.18

$$XPBALN \leq$$

$$\sum_{d=2} 999999 * BINPBAL(d)$$

Variabelen

XPBALP:	P-overschot op bedrijfsniveau (positief traject) [kg P ha ⁻¹]
BINPBAL(d):	Binaire variabele die bepaalt dat het P-overschot d op bedrijfsniveau ofwel kleiner of gelijk is aan 0, ofwel groter is dan 0 [0/1]

Vgl. 2.19

$$\sum_d BINPBAL(d) \leq 1$$

Variabelen

BINPBAL(d):	Binaire variabele die bepaalt dat het P-overschot d op bedrijfsniveau ofwel kleiner of gelijk is aan 0, ofwel groter is dan 0 [0/1]
-------------	---

Vgl. 2.20

$$\begin{aligned}
 & \sum_{g,s} K1aanvplpo(g,s) * opper1vlak(g,s) + \\
 & \sum_{g,s} K2aanvplpo(g,s) * opper2vlak(g,s) + \\
 & \sum_{g,s,n,m=3,4} K_minfer(m) * XMIN1(g,s,n,m) + \\
 & \sum_{g,s,n,m=3,4} K_minfer(m) * XMIN2(g,s,n,m) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} K_cont(o) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \\
 & \sum_{g,s,n,o,w,x} K_cont(o) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) - \\
 & \sum_{g,s,n} K1afvhoofd(g,s,n) * X1_TEELT(g,s,n) - \\
 & \sum_{g,s,n} K2afvhoofd(g,s,n) * X2_TEELT(g,s,n) = \\
 & XKBAL
 \end{aligned}$$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
XKBAL:	K-overschot op bedrijfsniveau (vrije variabele) [kg K ha ⁻¹]

Coëfficiënten

K1aanvplpo(g,s):	K-aanvoer via plant- en pootgoed van eerste gewasteelt g op perceel s [kg K ha ⁻¹]
K2aanvplpo(g,s):	K-aanvoer via plant- en pootgoed van tweede gewasteelt g op perceel s [kg K ha ⁻¹]
opper1vlak(g,s):	oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]
opper2vlak(g,s):	oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]
K_minfer(m):	K-gehalte van kunstmestsoort m [kg K kg ⁻¹ product]
K_cont(o):	K-gehalte van organische mestsoort o [kg K ton ⁻¹ product]
K1afvhoofd(g,s,n):	K-afvoer in hoofdproduct van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg K ha ⁻¹]
K2afvhoofd(g,s,n):	K-afvoer in hoofdproduct van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg K ha ⁻¹]

2.3.4 Minimale giften van organische meststoffen en maximaal aantal organische mestgiften per gewas

In de praktijk kunnen organische mestgiften kleiner dan 15 m³ per ha niet gelijkmatig over een perceel verdeeld worden. In Nutmatch bedraagt de minimale dosering van organische mestgiften daarom 15 m³ per ha. Dit geldt voor alle gedefinieerde organische mestsoorten. Op basis van de dichtheid van elke mestsoort is een omrekening

gemaakt naar minimale doseringen in kg per ha. De desbetreffende beperkingen (Vgls. 2.21 t/m 2.26) maken gebruik van binaire variabelen. Behalve dat met behulp van deze binaire variabelen geregeld wordt dat organische mestgiften een minimale dosering moeten hebben, worden ze ook gebruikt om vast te leggen dat per gewasteelt maximaal één keer een organische mestgift gegeven kan worden van maximaal één mestsoort (zie Vgls. 2.27 en 2.28).

Vgls. 2.21 en 2.22 schrijven voor dat als organische mestgiften aan eerste resp. tweede gewasteelten groter zijn dan 0, de overeenkomstige binaire variabelen A_BINORG resp. B_BINORG een waarde van 1 aannemen. Vgls. 2.23 en 2.24 schrijven voor dat de doses van organische mestgiften aan eerste resp. tweede gewasteelten minimaal gelijk dienen te zijn aan de minimale dosis per ha.

Vgl. 2.21

$$X1ORG(g, s, n, o, w, x) \leq 999999 * A_BINORG(g, s, n, o, w, x)$$

$$\forall g, s, n, o, w, x$$

$$o, x \ni (FUOX(o, x) = 1)$$

$$g, s, w \ni (FU1GSW(g, s, w) = 1)$$

Variabelen

$X1ORG(g, s, n, o, w, x)$: Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]

$A_BINORG(g, s, n, o, w, x)$: Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]

Functies

$FUOX(o, x)$: Specificatie van bestaande combinaties van organische mestsoorten o en toedieningstechnieken x [0/1]

$FU1GSW(g, s, w)$: Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

Vgl. 2.22

$$X2ORG(g, s, n, o, w, x) \leq 999999 * B_BINORG(g, s, n, o, w, x)$$

$$\forall g, s, n, o, w, x$$

$$o, x \ni (FUOX(o, x) = 1)$$

$$g, s, w \ni (FU2GSW(g, s, w) = 1)$$

Variabelen

$X2ORG(g, s, n, o, w, x)$: Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]

$B_BINORG(g, s, n, o, w, x)$: Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]

Functies

$FUOX(o, x)$: Specificatie van bestaande combinaties van organische mestsoorten o en toedieningstechnieken x [0/1]

$FU2GSW(g, s, w)$: Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

Vgl. 2.23

$$X1ORG(g,s,n,o,w,x) \geq$$

$$(mingift(o) * opper1vlak(g,s)) * A_BINORG(g,s,n,o,w,x)$$

$$\forall g,s,n,o,w,x$$

$$o,x \ni (FUOX(o,x) = 1)$$

$$g,s,w \ni (FU1GSW(g,s,w) = 1)$$

$$g,s,w \ni (FUMINORG(g,s,w) = 1)$$

Variabelen

X1ORG(g,s,n,o,w,x):

Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]

A_BINORG(g,s,n,o,w,x):

Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]

Coëfficiënten

mingift(o):

Minimale dosis van organische mestsoort o [kg product ha⁻¹]

opper1vlak(g,s):

Oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]

Functies

FUOX(o,x):

Specificatie van bestaande combinaties van organische mestsoorten o en toedieningstechnieken x [0/1]

FU1GSW(g,s,w):

Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

FUMINORG(g,s,w):

Specificatie van combinaties van gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w waarvoor geldt dat de minimale organische mestgift 15 m³ bedraagt [0/1]

Vgl. 2.24

$$X2ORG(g,s,n,o,w,x) \geq$$

$$(mingift(o) * opper2vlak(g,s)) * B_BINORG(g,s,n,o,w,x)$$

$$\forall g,s,n,o,w,x$$

$$o,x \ni (FUOX(o,x) = 1)$$

$$g,s,w \ni (FU2GSW(g,s,w) = 1)$$

$$g,s,w \ni (FUMINORG(g,s,w) = 1)$$

Variabelen

X2ORG(g,s,n,o,w,x):

Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]

B_BINORG(g,s,n,o,w,x):

Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]

Coëfficiënten

mingift(o):

Minimale dosis van organische mestsoort o [kg product ha⁻¹]

opper2vlak(g,s):

Oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]

Functies

FUOX(o,x):

Specificatie van bestaande combinaties van organische mestsoorten o en toedieningstechnieken x [0/1]

FU2GSW(g,s,w):

Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

FUMINORG(g,s,w):

Specificatie van combinaties van gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w waarvoor geldt dat de minimale organische mestgift 15 m³ bedraagt [0/1]

De beperkingen omschreven in Vgls. 2.23 en 2.24 gelden alleen indien de functie $FUMINORG(g,s,w)$ een - vooraf gedefinieerde - waarde van 1 heeft. Voor modelbedrijf vgg3 gaat dit altijd op, met één uitzondering. Dit betreft de toediening van organische mest in september ($w=1$) na de oogst van wintertarwe en voorafgaand aan de zaai van de groenbemester bladrammenas (zie Tabel 2.1). Mesttoediening in september is daarbij zowel gedefinieerd voor de tweede gewasteelt bladrammenas (dus een X2ORG-activiteit, bijdragend aan de N-behoefte van bladrammenas ($g=3,s=1$) met een nawerking in consumptieaardappel ($g=4,s=1$) en voor de volgende eerste gewasteelt in de rotatie, consumptieaardappel (dus een X1ORG-activiteit, alléén bijdragend aan de N-behoefte van consumptieaardappel). De beperking dat organische mestgiften een minimale dosis moeten hebben gaat dus bij aanwending in september op voor de som van de X2ORG-activiteit en de X1ORG-activiteit. Dit is uitgedrukt in Vgls. 2.25 en 2.26. Merk op dat de enige tweede teelt in modelbedrijf vgg3 de teelt van een groenbemester, en dus een uitzonderings-situatie, betreft. Vgl. 2.24 is dus feitelijk overbodig voor modelbedrijf vgg3.

Vgl. 2.25

$$\sum_{g=4,s=1,w=1} X1ORG(g,s,n,o,w,x) \geq$$

$$(mingift(o) * opper1vlak(g,s)) * A_BINORG(g,s,n,o,w,x) -$$

$$\sum_{g=3,s=1,w=1} X2ORG(g,s,n,o,w,x)$$

$$\forall n,o,x$$

$$o,x \ni (FUOX(o,x) = 1)$$

$$g,s,w \ni (FU1GSW(g,s,w) = 1)$$

Variabelen

$X1ORG(g,s,n,o,w,x)$:	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
$X2ORG(g,s,n,o,w,x)$:	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
$A_BINORG(g,s,n,o,w,x)$:	Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]

Coëfficiënten

mingift(o):	Minimale dosis van organische mestsoort o [kg product ha ⁻¹]
opper1vlak(g,s):	Oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]

Functies

$FUOX(o,x)$:	Specificatie van bestaande combinaties van organische mestsoorten o en toedieningstechnieken x [0/1]
$FU1GSW(g,s,w)$:	Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

Vgl. 2.26

$$\sum_{g=3,s=1,w=1} X2ORG(g,s,n,o,w,x) \geq$$

$$(mingift(o) * opper2vlak(g,s)) * B_BINORG(g,s,n,o,w,x) -$$

$$\sum_{g=4,s=1,w=1} X1ORG(g,s,n,o,w,x)$$

$$\forall n,o,x$$

$$o,x \ni (FUOX(o,x) = 1)$$

$$g,s,w \ni (FU2GSW(g,s,w) = 1)$$

Variabelen

$X1ORG(g,s,n,o,w,x)$:	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
$X2ORG(g,s,n,o,w,x)$:	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
$B_BINORG(g,s,n,o,w,x)$:	Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]

Coëfficiënten

mingift(o): Minimale dosis van organische mestsoort o [kg product ha⁻¹]

opper2vlak(g,s): Oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]

Functies

FUOX(o,x): Specificatie van bestaande combinaties van organische mestsoorten o en toedieningstechnieken x [0/1]

FU2GSW(g,s,w): Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g op percelen s en toedieningstijdstippen w [0/1]

Vgls. 2.27 en 2.28 schrijven voor dat het aantal mestsoorten, toedieningstijdstippen en toedieningstechnieken per eerste resp. tweede gewasteelt niet groter kan zijn dan 1. Eenvoudiger gezegd regelen de vergelijkingen dat aan elke gewasteelt op slechts één moment een organische mestgift gegeven kan worden van maximaal één soort en toegediend volgens maximaal één toedieningstechniek. Overigens is dit desgewenst op eenvoudige wijze anders in te stellen. Er wordt gebruik gemaakt van het gegeven dat als een $X1ORG$ en/of $X2ORG$ activiteit een waarde heeft die groter is dan 0, dat dan de overeenkomstige A_BINORG en/of B_BINORG variabele een waarde van 1 aanneemt (zie Vgls. 2.21 en 2.22).

Vgl. 2.27

$$\sum_{n,o,w,x} A_BINORG(g,s,n,o,w,x) \leq 1$$

$$\forall g,s$$

$$g,s \ni (FUGSI(g,s) = 1)$$

Variabelen

$A_BINORG(g,s,n,o,w,x)$:	Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]
----------------------------	---

Functies

FUGS1(g,s): Specificatie van bestaande combinaties van eerste teelt gewassen g en percelen s [0/1]

Vgl. 2.28

$$\sum_{n,o,w,x} B_BINORG(g,s,n,o,w,x) \leq 1$$

$$\forall g,s$$

$$g,s \ni (FUGS2(g,s) = 1)$$

Variabelen

$B_BINORG(g,s,n,o,w,x)$:	Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]
----------------------------	---

Funcities

FUGS2(g,s): Specificatie van bestaande combinaties van tweede teelt gewassen g en percelen s [0/1]

2.3.5 Maximaal aantal organische mestsoorten op bedrijfsniveau.

In Nutmatch kan de inzet van het aantal verschillende *soorten* organische mest op bedrijfsniveau desgewenst worden beperkt tot een bepaald maximum. Hiervoor zijn twee vergelijkingen nodig, wederom gebruikmakend van binaire variabelen. Vgl. 2.29 bepaalt dat als een bepaalde organische mestsoort o op een of meer plaatsen in de rotatie wordt ingezet, dat dan de overeenkomstige binaire variabele C_BINORG een waarde van 1 heeft. Middels Vgl. 2.30 wordt vervolgens vastgelegd dat het aantal mestsoorten o dat in de gehele rotatie mag worden ingezet niet groter kan zijn dan 3.

Vgl. 2.29

$$\sum_{g,s,n,w,x} A_BINORG(g,s,n,o,w,x) + \sum_{g,s,n,w,x} B_BINORG(g,s,n,o,w,x) \leq 9999 * C_BINORG(o) \quad \forall o$$

Variabelen

A_BINORG(g,s,n,o,w,x): Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]

B_BINORG(g,s,n,o,w,x): Binaire variabele ter regulering van de minimum dosis en ter regulering van het aantal keren dat aan een tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend [0/1]

C_BINORG(o): Binaire variabele ter regulering van het aantal verschillende organische mestsoorten o dat op bedrijfsniveau kan worden toegediend [0/1]

Vgl. 2.30

$$\sum_o C_BINORG(o) \leq 3$$

Variabelen

C_BINORG(o): Binaire variabele ter regulering van het aantal verschillende organische mestsoorten o dat op bedrijfsniveau kan worden toegediend [0/1]

2.3.6 Minimale giften kunstmest-N

Net als voor organische meststoffen geldt ook voor kunstmeststoffen dat er in de praktijk een verdelingsprobleem bestaat bij lage doses. Daarom zijn in Nutmatch beperkingen opgenomen die voorschrijven dat kunstmest-N-giften minimaal 100 kg product per ha dienen te bedragen. Dergelijke randvoorwaarden zijn niet geformuleerd voor kunstmest-P en -K, alhoewel genoemd verdelingsprobleem zich ook bij lage doses van die meststoffen voordoet. In een post-model analyse moeten de eventueel door Nutmatch berekende (te) lage kunstmest-P en K-giften (dwz, beneden de 100 kg product per ha, ofwel beneden 9 kg P bij gebruik van superfosfaat, 25 kg K bij gebruik van patentkali en 50 kg K bij gebruik van kaliumchloride) worden samengevoegd tot een grotere gift en aan een willekeurig gewas in de rotatie worden toegeschreven. Deze werkwijze is niet bezwaarlijk omdat eventuele post-

model resulterende kleine afwijkingen tussen P/K-gewasbehoefte en gegeven P/K-gewasgift in geen enkel gewas gepaard gaan met (grote) opbrengstdervingen.

Bij het formuleren van de beperkingen ten aanzien van de minimum kunstmest-N-giften wordt eenzelfde benadering gevolgd als bij minimum doseringen van organische meststoffen, dus gebruik makend van binaire variabelen. Vgl. 2.31 en 2.32 schrijven voor dat als kunstmest-N-giften aan eerste resp. tweede gewasteelten groter zijn dan 0, dat dan de overeenkomstige binaire variabelen BIN1MIN en BIN2MIN een waarde van 1 aannemen. Vervolgens schrijven Vgl. 2.33 en 2.34 voor dat de doses van kunstmest-N-giften aan eerste en tweede gewasteelten minimaal gelijk dienen te zijn aan 100 kg product per ha.

Vgl. 2.31

$$\sum_n XMIN1(g, s, n, m) \leq 999999 * BIN1MIN(g, s, m)$$

$$\forall g, s, m = 1$$

$$g, s \ni (FUGS1(g, s) = 1)$$

$$g, m \ni (FUGM(g, m) = 1)$$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
BIN1MIN(g,s,m):	Binaire variabele ter regulering van de minimum hoeveelheid stikstofkunstmest m die aan een eerste gewasteelt g op perceel s gegeven kan worden [0/1]

Funcities

FUGS1(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g en percelen s [0/1]
FUGM(g,m):	Specificatie van bestaande combinaties van gewasteelten g en kunstmeststoffen m [0/1]

Vgl. 2.32

$$\sum_n XMIN2(g, s, n, m) \leq 999999 * BIN2MIN(g, s, m)$$

$$\forall g, s, m = 1$$

$$g, s \ni (FUGS2(g, s) = 1)$$

$$g, m \ni (FUGM(g, m) = 1)$$

Variabelen

XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
BIN2MIN(g,s,m):	Binaire variabele ter regulering van de minimum hoeveelheid stikstofkunstmest m die aan een tweede gewasteelt g op perceel s gegeven kan worden [0/1]

Funcities

FUGS2(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g en percelen s [0/1]
FUGM(g,m):	Specificatie van bestaande combinaties van gewasteelten g en kunstmeststoffen m [0/1]

Vgl. 2.33

$$\sum_n XMIN1(g,s,n,m) \geq 100 * opper1vlak(g,s) * BIN1MIN(g,s,m)$$

$$\forall g,s,m = 1$$

$$g,s \in (FUGS1(g,s) = 1)$$

$$g,m \in (FUGM(g,m) = 1)$$

Variabelen

XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
BIN1MIN(g,s,m):	Binaire variabele ter regulering van de minimum hoeveelheid stikstofkunstmest m die aan een eerste gewasteelt g op perceel s gegeven kan worden [0/1]

Coëfficiënten

opper1vlak(g,s):	Oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]
------------------	---

Functies

FUGS1(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g en percelen s [0/1]
FUGM(g,m):	Specificatie van bestaande combinaties van gewasteelten g en kunstmeststoffen m [0/1]

Vgl. 2.34

$$\sum_n XMIN2(g,s,n,m) \geq 100 * opper2vlak(g,s) * BIN2MIN(g,s,m)$$

$$\forall g,s,m = 1$$

$$g,s \in (FUGS2(g,s) = 1)$$

$$g,m \in (FUGM(g,m) = 1)$$

Variabelen

XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
BIN2MIN(g,s,m):	Binaire variabele ter regulering van de minimum hoeveelheid stikstofkunstmest m die aan een tweede gewasteelt g op perceel s gegeven kan worden [0/1]

Coëfficiënten

opper2vlak(g,s):	Oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]
------------------	---

Functies

FUGS2(g,s):	Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g en percelen s [0/1]
FUGM(g,m):	Specificatie van bestaande combinaties van gewasteelten g en kunstmeststoffen m [0/1]

2.3.7 Maximale hoeveelheid werkzame N uit organische meststoffen per gewas

In de praktijk kan een teler de N-bemesting van gewassen verfijnen door rekening te houden met jaarspecifieke omstandigheden gedurende het groeiseizoen, zoals het verloop van de mineralisatie. Telers die deze verfijning in de bemesting wensen aan te brengen, voeren een deel van de N-bemesting pas uit in de loop van het groeiseizoen, op basis van actuele analyses van gewasparameters (bladsteeltjes-methode bij aardappel) en/of bodemonsters (NBS-systeem). De fijnregeling gedurende het groeiseizoen gebeurt met kunstmest-N. Dat betekent dus dat gewassen waarbij telers gebruik wensen te maken van de mogelijkheid van fijnregeling althans voor een deel met kunstmest-N

bemest dienen te worden. Daarbij wordt voor zaaien/poten in de zogenaamde basis-N-behoefte (zie van Dijk, 2003) van elk gewas voorzien en wordt in de resterende N-behoefte gedurende het groeiseizoen voorzien op basis van actuele gegevens.

Nutmatch is een statisch model en rekt als zodanig niet met jaarspecifieke effecten. Wel wordt in Nutmatch de mogelijkheid tot fijnregeling geschapen door voor een aantal gewassen beperkingen op te nemen die bepalen dat een deel van de N-behoefte middels kunstmest-N gedekt móet worden. Dit wordt gedaan door voor deze gewassen de inzet van werkzame N uit organische meststoffen te beperken tot maximaal de basis-N-behoefte. Dit heeft dan niet alleen betrekking op werkzame N uit een in het desbetreffende teeltjaar toegediende organische mestgift, maar ook op werkzame N uit eventuele eerdere giften in voorgaande gewassen (nawerking). Randvoorwaarden die organische mestgiften beperken zijn alleen opgenomen voor gewassen waarvoor het Bemestingsadvies een basis-N-gift specificeert. Voor welk deel de werkzame N-behoefte gedekt kan worden met organische meststoffen hangt af van het gewas. In onderstaande voorbeeldvergelijking voor een eerste gewasteelt (Vgl. 2.35) kan maximaal tweederde deel van de N-voorziening middels organische meststoffen geschieden. Er zijn ook gewassen waarvoor geldt dat de N-behoefte volledig middels organische meststoffen gedekt kan worden, zoals maïs en groenbemesters.

Vgl. 2.35

$$\sum_{n,o,w,x} X1EFFORG(g,s,n,o,w,x) + \sum_{o,w,z,p,n} oppervlaktefactor(g,s,z,p) * XEFF13ORG(g,s,o,w,z,p,n) + \sum_{o,w,z,p,n} oppervlaktefactor(g,s,z,p) * X23EFFORG(g,s,o,w,z,p,n) \leq \sum_n 0.667 * N1behoefte(g,s,n) * X1_TEELT(g,s,n) - \sum_n X_1VER(g,s,n) \forall g,s$$

$g,s \ni (FUGS1(g,s) = 1)$

Variabelen

$X1EFFORG(g,s,n,o,w,x)$:	Werkzame N in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n als gevolg van toediening in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg N]
$XEFF13ORG(g,s,o,w,z,p,n)$:	Werkzame N als gevolg van toediening in voorafgaande eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w in volgende eerste gewasteelt z op perceel p op N-niveau n [kg N]
$X23EFFORG(g,s,o,w,z,p,n)$:	Werkzame N als gevolg van toediening in voorafgaande tweede gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w in volgende eerste gewasteelt z op perceel p op N-niveau n [kg N]
$X1_TEELT(g,s,n)$:	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
$X_1VER(g,s,n)$:	Verskil tussen het werkzame deel van referentie-achtergrondmineralisatie en het werkzame deel van de actuele achtergrondmineralisatie in eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n (vrije variabele) [kg N]

Coëfficiënten

$oppervlaktefactor(g,s,z,p)$:	Factor die aangeeft welk oppervlak van gewas g op perceel s voorafgaat aan gewas z op perceel p [-]
$N1behoefte(g,s,n)$:	N-behoefte van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [kg N ha ⁻¹]
$oppervlak(g,s)$:	Oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]

Functies

$FUGS1(g,s)$:	Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g en percelen s [0/1]
----------------	--

2.3.8 Het Gebruiksnormenstelsel

Per 1 januari 2006 geldt in Nederland een stelsel van gebruiksnormen. De gebruiksnormen geven aan hoeveel stikstof en fosfaat jaarlijks in de vorm van kunstmest en organische meststoffen gebruikt mogen worden bij de bemesting van gewassen. Voor elk landbouwbedrijf gelden drie soorten gebruiksnormen. De eerste is de gebruiksnorm dierlijke mest, uitgedrukt in kg N. De norm geeft aan hoeveel N ieder jaar via organische meststoffen per hectare landbouwgrond mag worden toegediend. De tweede norm is de stikstofgebruiksnorm. Deze norm is gewas-specifiek en geeft aan hoeveel werkzame N in totaal per hectare per jaar mag worden gebruikt. Naast kunstmest-N telt daarbij ook het werkzame deel uit dierlijke mest en andere organische meststoffen mee. Het aandeel werkzame N in organische meststoffen wordt bepaald aan de hand van wettelijk vastgestelde, forfaitaire werkingscoëfficiënten, in afhankelijkheid van mestsoort en toedieningstijdstip. De derde norm is de fosfaatgebruiksnorm. Deze norm bepaalt hoeveel fosfaat jaarlijks mag worden gegeven. Daarbij tellen alle meststoffen mee.

Allerdrie de gebruiksnormen worden afgerekend op het bedrijfsniveau. Dat betekent dat een teler er voor kan kiezen op een deel van zijn bedrijf (lees: in een bepaald gewas) de normen te overschrijden, mits hij dan maar elders op het bedrijf de normen zodanig onderschrijft dat hij op bedrijfsniveau aan de normen voldoet. Beperkingen 2.36 t/m 2.38 beschrijven achtereenvolgens de gebruiksnorm dierlijke mest, de stikstofgebruiksnorm en de fosfaatgebruiksnorm.

Vgl. 2.36

$$\sum_{g,s,n,o,w,x} N_{tot_cont}(o) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \sum_{g,s,n,o,w,x} N_{tot_cont}(o) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) \leq Norgquotum$$

Variabelen

$X1ORG(g,s,n,o,w,x)$:	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
$X2ORG(g,s,n,o,w,x)$:	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]

Coëfficiënten

$N_{tot_cont}(o)$:	N-totaal gehalte van organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
RHS	
$Norgquotum$:	Maximale aanvoer van N in organische meststoffen op rotatieniveau [kg N]

Vgl. 2.37

$$\sum_{g,s,n,o,w,x} N_{tot_cont}(o) * 0.001 * wc_formeel(o,w) * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \sum_{g,s,n,o,w,x} N_{tot_cont}(o) * 0.001 * wc_formeel(o,w) * X2ORG(g,s,n,o,w,x) + \sum_{g,s,n,m} N_{min_fer}(m) * XMIN1(g,s,n,m) + \sum_{g,s,n,m} N_{min_fer}(m) * XMIN2(g,s,n,m) \leq Nquotum$$

Variabelen

X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]

Coëfficiënten

Nmin_fer(m):	N-gehalte van kunstmestsoort m [kg N kg ⁻¹ product]
Ntot_cont(o):	N-totaal gehalte van organische mestsoort o [kg N ton ⁻¹ product]
wc_formeel(o,w):	wettelijke N-werkingscoëfficiënt van mestsoort o toegediend op toedieningstijdstip w [-]

RHS

Nquotum:	Maximale aanvoer van werkzame N in organische – en kunstmeststoffen op rotatieniveau [kg N]
----------	---

Vgl. 2.38

$$\sum_{g,s,n,o,w,x} P_cont(o) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \sum_{g,s,n,o,w,x} P_cont(o) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) + \sum_{g,s,n,m} Pmin_fer(m) * XMIN1(g,s,n,m) + \sum_{g,s,n,m} Pmin_fer(m) * XMIN2(g,s,n,m) \leq Pquotum$$

Variabelen

X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van kunstmestsoort m [kg product]

Coëfficiënten

Pmin_fer(m):	P-gehalte van kunstmestsoort m [kg P kg ⁻¹ product]
P_cont(o):	P-gehalte van organische mestsoort o [kg P ton ⁻¹ product]

RHS

Pquotum:	Maximale aanvoer van P in organische – en kunstmeststoffen op rotatieniveau [kg P]
----------	--

2.3.9 Maximaal aantal N-niveau's per gewas

In de toekomst kunnen aanscherpingen van het Gebruiksnormenstelsel telers ertoe noodzaken dat zij een of meer gewassen in de rotatie gaan korten. Met korten wordt bedoeld het verlagen van de N-gift in gewassen tot beneden de economisch optimale N-gift volgens het Bemestingsadvies. Het Gebruiksnormenstelsel laat telers de ruimte om zelf te bepalen welke gewassen te korten, mits op bedrijfsniveau maar aan het Gebruiksnormenstelsel wordt

voldaan. Om Nutmatch in staat te stellen te berekenen welke gewassen het beste gekort kunnen worden en welke gewassen te ontzien, zijn, met het oog op een zo gering mogelijke financiële derving, voor elk gewas elf N-niveau's met evenzovele opbrengstniveau's gedefinieerd. Daarbij zijn beperkingen geformuleerd die bepalen dat elke gewasteelt op maximaal één N-niveau kan worden geteeld. Overigens is dit desgewenst op eenvoudige wijze anders in te stellen. De betreffende vergelijkingen maken gebruik van binaire variabelen. Vgls. 2.39 en 2.40 schrijven voor dat als een eerste of tweede gewasteelt met een bepaald N-niveau een waarde groter dan 0 heeft, de waarde van overeenkomstige binaire variabelen BIN1NIVEAU en BIN2NIVEAU een waarde van 1 aannemen. Vgls. 2.41 en 2.42 schrijven vervolgens voor dat maximaal één N-niveau per gewasteelt gekozen kan worden.

Vgl. 2.39

$$X1_TEELT(g,s,n) \leq 999999 * BIN1NIVEAU(g,s,n)$$

$$\forall g,s,n = 1$$

$$g,s \ni (FUGS1(g,s) = 1)$$

Variabelen

X1_TEELT(g,s,n): Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
 BIN1NIVEAU(g,s,n): Binaire variabele ter regulering van het aantal N-niveau's per eerste gewasteelt g op perceel s [0/1]

Functies

FUGS1(g,s): Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g en percelen s [0/1]

Vgl. 2.40

$$X2_TEELT(g,s,n) \leq 999999 * BIN2NIVEAU(g,s,n)$$

$$\forall g,s,n = 1$$

$$g,s \ni (FUGS2(g,s) = 1)$$

Variabelen

X2_TEELT(g,s,n): Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
 BIN2NIVEAU(g,s,n): Binaire variabele ter regulering van het aantal N-niveau's per tweede gewasteelt g op perceel s [0/1]

Functies

FUGS2(g,s): Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g en percelen s [0/1]

Vgl. 2.41

$$\sum_n BIN1NIVEAU(g,s,n) \leq 1$$

$$\forall g,s = 1$$

$$g,s \ni (FUGS1(g,s) = 1)$$

Variabelen

BIN1NIVEAU(g,s,n): Binaire variabele ter regulering van het aantal N-niveau's per eerste gewasteelt g op perceel s [0/1]

Functies

FUGS1(g,s): Specificatie van bestaande combinaties van eerste gewasteelten g en percelen s [0/1]

Vgl. 2.42

$$\sum_n \text{BIN2NIVEAU}(g,s,n) \leq 1$$

$$\forall g,s = 1$$

$$g,s \ni (\text{FUGS2}(g,s) = 1)$$

Variabelen

BIN2NIVEAU(g,s,n): Binaire variabele ter regulering van het aantal N-niveau's per tweede gewasteelt g op perceel s [0/1]

Functies

FUGS2(g,s): Specificatie van bestaande combinaties van tweede gewasteelten g en percelen s [0/1]

2.3.10 Overige beperkingen

2.3.10.1 Arealen van gewassen

In Nutmatch kunnen de diverse gewasteelten in de rotatie op verschillende N-niveau's worden geteeld. Als gevolg van bestaande verhoudingen tussen kosten van meststoffen en aanwendingskosten enerzijds en opbrengsten verkregen via afzet van gewasproducten anderzijds, zal Nutmatch er in het algemeen voor kiezen gewasteelten zoveel mogelijk op het hoogst gedefinieerde N-niveau (dwz. volgens het Bemestingsadvies) te telen, voor zover het Gebruiksnormenstelsel dat toelaat. Indien het Geruiksnormenstelsel noodzaakt tot korten van een of meer gewasteelten, dan berekent Nutmatch 'automatisch' welke gewasteelten binnen de rotatie het beste gekort kunnen worden, zodanig dat dat gepaard gaat met de minste financiële derving. Hiertoe zijn eerste en tweede gewasteelten met bijbehorend N-niveau in Nutmatch opgenomen als (beslissings)variabelen: X1_TEELT en X2_TEELT. Deze formulering noodzaakt er nog wel toe vast te leggen dat het areaal van elke gewasteelt in overeenstemming is met de arealen in de door te rekenen rotatie. Dit wordt voor eerste en tweede gewasteelten geregeld in Vgls. 2.43 en 2.44.

Vgl. 2.43

$$\sum_n X1_TEELT(g,s,n) =$$

$$\text{opper1vlak}(g,s)$$

$$\forall g,s$$

$$g,s \ni (\text{FUGS1}(g,s) = 1)$$

Variabelen

X1_TEELT(g,s,n): Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]

Coëfficiënten

opper1vlak(g,s): oppervlak van eerste gewasteelt g op perceel s [ha]

Vgl. 2.44

$$\sum_n X2_TEELT(g,s,n) =$$

$$\text{opper2vlak}(g,s)$$

$$\forall g,s$$

$$g,s \ni (\text{FUGS2}(g,s) = 1)$$

Variabelen

X2_TEELT(g,s,n): Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]

Coëfficiënten

opper2vlak(g,s): oppervlak van tweede gewasteelt g op perceel s [ha]

2.3.10.2 Effectieve organische stof

Ter compensatie van de afbraak van organische stof in de bouwvoor dient organische stof toegevoegd te worden om het organische stof gehalte in de bouwvoor op peil te houden. Organische stof kan aan de bouwvoor toegevoegd worden middels toediening van organische meststoffen en/of onderwerken van gewasresten en groenbemesters. De organische stof voorziening wordt vaak uitgedrukt in effectieve organische stof. Effectieve organische stof (afgekort eos) is daarbij gedefinieerd als de hoeveelheid organische stof die één jaar na toediening van een oorspronkelijke hoeveelheid organische stof nog in de bouwvoor wordt teruggevonden.

In Nutmatch is een beperking opgenomen die bepaalt dat de jaarlijkse toevoer van eos via gewasresten, groenbemesters en organische meststoffen gemiddeld over de rotatie minimaal 1500 kg per ha dient te bedragen. Deze minimale aanvoer van eos wordt in de praktijk vaak als richtlijn gehanteerd, zijnde de hoeveelheid eos die nodig is om een organische stof percentage van 3% te handhaven, uitgaande van een jaarlijkse organische stof afbraak van 2%, een bouwvoordikte van 20 cm en een bulkdichtheid van de grond van 1.3 kg per dm³. De beperking geldt alleen voor dat deel van de rotatie dat in eigendom is.

Vgl. 2.45

$$\begin{aligned} & \sum_{g,s,n} eos_1gewas(g,s,n) * X1_TEELT(g,s,n) + \\ & \sum_{g,s,n} eos_2gewas(g,s,n) * X2_TEELT(g,s,n) + \\ & \sum_{g,s,n,o,w,x} eos_orgmest(o) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) + \\ & \sum_{g,s,n,o,w,x} eos_orgmest(o) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) \geq \\ & 1500 * tot_eig_opp \end{aligned}$$

Variabelen

X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]

Coëfficiënten

eos_1gewas(g,s,n):	Bijdrage van gewasrest van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n aan de effectieve organische stof voorziening van de rotatie [kg eos ha ⁻¹]
eos_2gewas(g,s,n):	Bijdrage van gewasrest van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n aan de effectieve organische stof voorziening van de rotatie [kg eos ha ⁻¹]
eos_orgmest:	Gehalte aan effectieve organische stof in organische mestsoort o [kg eos ton ⁻¹ product]
tot_eig_opp:	Totale oppervlakte grond in eigendom [ha]

2.3.10.3 Verandering van de Pw

In Nutmatch wordt berekend wat de bij een bemestingsplan behorende jaarlijkse verandering van het Pw-getal is. Deze jaarlijkse verandering wordt berekend aan de hand van een door Ehlert *et al.* (1996) vastgesteld en in Nutmatch opgenomen multipel regressiemodel:

$$\Delta Pw = 3.80 + 0.0194 * P\text{-balans}_{\text{positief}} + 0.0298 * P\text{-balans}_{\text{negatief}} - 0.0817 * Pw_i + 0.00029 * (Pw_i * P\text{-balans}_{\text{positief}}) + 0.00207 * (Pw_i * P\text{-balans}_{\text{negatief}}) - 0.1272 * \text{Laagdikte} - 0.01196 * P * \text{Incubateduur}$$

waarbij:

ΔPw	=	de verandering van Pw-getal na één teeltseizoen [mg P ₂ O ₅ per liter grond per jaar];
P-balans _{positief}	=	de fosfaatbalans wanneer de P-gift groter is dan de P-afvoer met oogstproducten [kg P ₂ O ₅ per ha];
P-balans _{negatief}	=	de fosfaatbalans wanneer de P-gift kleiner dan of gelijk is aan de P-afvoer met oogstproducten [kg P ₂ O ₅ per ha];
Pw _i	=	de initiële fosfaattoestand bij het begin van het teeltjaar [mg P ₂ O ₅ per liter grond]
Laagdikte	=	de laagdikte van de teeltlaag (bouwvoor) minus 20 (ter standaardisatie) [cm];
Incubateduur	=	de duur van contact van meststoffosfaat met de grond [dagen];
P	=	schijnvariabele die ingevoerd is bij incubateduur om onderscheid aan te brengen tussen wel of geen bemesting. Bij geen bemesting is P gelijk aan nul omdat in dat geval niet van een incubateduur gesproken kan worden. Bij bemesting is P gelijk aan één.

Ehlert *et al.* (1996) vermelden dat het regressiemodel slechts 15% van de in veldproeven waargenomen variatie verklaart. Dat duidt erop dat de berekende verandering van de Pw met de nodige voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd. Belangrijke factoren die niet in het model zijn opgenomen maar die wel een invloed kunnen uitoefenen op het verloop van het Pw-getal zijn chemische en fysische vorm van toegediende fosfaatmeststoffen, bekalking, geteelde gewassen en bodemeigenschappen.

In Nutmatch is als laagdikte de bovenste 20 cm van de bouwvoor aangenomen. De incubateduur is gesteld op de gemiddelde duur in de door Ehlert *et al.* (1996) geanalyseerde veldproeven, zijnde 210 dagen. Met deze instellingen voor laagdikte en incubateduur kan aan de hand van bovenstaande vergelijking de jaarlijkse verandering van het Pw-getal berekend worden (Vgl. 2.46), gegeven het bij het bemestingsplan behorende (positieve of negatieve) fosfaatoverschot en de initiële Pw. Deze verandering wordt berekend voor de rotatie als geheel, uitgaande van één waarde voor de initiële Pw die verondersteld wordt te gelden voor alle percelen binnen de rotatie.

Vgl. 2.46

$$\begin{aligned}
 & A_Pw * 2.29 * (1/tot_opp) * XPBALP + \\
 & B_Pw * 2.29 * (1/tot_opp) * XPBALN + \\
 & C_Pw * Pwini + \\
 & D1_Pw * 2.29 * Pwini * (1/tot_opp) * XPBALP + \\
 & D2_Pw * 2.29 * Pwini * (1/tot_opp) * XPBALN + \\
 & F_Pw * laagdikte + \\
 & G_Pw * incubatie = \\
 & XDELTA PW
 \end{aligned}$$

Variabelen

XPBALP:	P-overschot op bedrijfsniveau (positief traject) [kg P ha ⁻¹]
XPBALN:	P-overschot op bedrijfsniveau (negatief traject) [kg P ha ⁻¹]
XDELTA PW:	Verandering in Pw op bedrijfsniveau na 1 jaar (vrije variabele) [mg P ₂ O ₅ l ⁻¹]

Coëfficiënten

A_Pw:	Constante A [-]
B_Pw:	Constante B [-]
C_Pw:	Constante C [-]
D1_Pw:	Constante D1 [-]
D2_Pw:	Constante D2 [-]
F_Pw:	Constante F [-]
G_Pw:	Constante G [-]
Pwini:	Initiële Pw [mg P ₂ O ₅ l ⁻¹ grond]
laagdikte:	Laagdikte [cm]
incubatie:	Incubateduur [dagen]
tot_opp:	Totale oppervlakte grond [ha]

2.3.11 Doelstellingsfunctie

De in Nutmatch gehanteerde doelstellingsfunctie (Vgl. 2.47) beschrijft de opbrengsten van gewassen en de kosten van bemesting. In woorden uitgedrukt luidt de doelstelling: "Maximaliseer de opbrengsten van gewassen minus de kosten van inzet van organische - en kunstmeststoffen". Opbrengsten van gewassen worden berekend door fysieke gewasopbrengsten te vermenigvuldigen met standaardprijzen van gewasproducten volgens KWIN-AGV (Dekkers, 2002). Kosten van meststoffen bestaan uit het product van hoeveelheden ingezette organische - en kunstmeststoffen en hun respectievelijke kostprijzen en uit aanwendingkosten van organische meststoffen volgens loonwerk-tarieven. Loonwerkkosten zijn overgenomen van Smit (2003). Aangenomen is dat kunstmeststoffen met eigen mechanisatie en eigen arbeid worden toegediend en de kosten daarvan zijn op 0 gesteld.

Vgl. 2.47 (Maximaliseer)

$$\begin{aligned} & \sum_{g,s,n} \text{Euros1}(g,s,n) * X1_TEELT(g,s,n) + \\ & \sum_{g,s,n} \text{Euros2}(g,s,n) * X2_TEELT(g,s,n) - \\ & \sum_{g,s,n,m} \text{prijs_min}(m) * XMIN1(g,s,n,m) - \\ & \sum_{g,s,n,m} \text{prijs_min}(m) * XMIN2(g,s,n,m) - \\ & \sum_{g,s,n,o,w,x} \text{prijs_org}(o) * X1ORG(g,s,n,o,w,x) - \\ & \sum_{g,s,n,o,w,x} \text{prijs_org}(o) * X2ORG(g,s,n,o,w,x) - \\ & \sum_{g,s,n,o,w,x} \text{prijs_toediening}(x) * 0.001 * X1ORG(g,s,n,o,w,x) - \\ & \sum_{g,s,n,o,w,x} \text{prijs_toediening}(x) * 0.001 * X2ORG(g,s,n,o,w,x) \end{aligned}$$

Variabelen

X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s van kunstmestsoort m [kg product]

Coëfficiënten

Euros1(g,s,n):	Financiële opbrengst in Euros per ha van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau N [€ ha ⁻¹]
Euros2(g,s,n):	Financiële opbrengst in Euros per ha van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau N [€ ha ⁻¹]
prijs_min(m):	Kostprijs van kunstmestsoort m [€ kg ⁻¹ product]
prijs_org(o):	Kostprijs van organische mestsoort o [€ kg ⁻¹ product]
prijs_toediening(x):	Loonwerkkosten van toediening van organische mest bij toedieningstechniek x [€ ton ⁻¹]

3. Opbouw en afbraak van organische stof

3.1 Algemeen

Dit hoofdstuk beschrijft de kwantificering van technische coëfficiënten op basis waarvan de opbouw en afbraak van organische stof, het vrijkomen van stikstof bij mineralisatie en het immobiliseren van minerale stikstof in organische componenten in Nutmatch beschreven wordt. De technische coëfficiënten worden via Excel files 'meegegeven' aan Nutmatch (zie Figuur 1.1) en ingecalculereerd bij het berekenen van optimale bemestingsplannen. Opbouw en afbraak van organische stof en stikstof mineralisatie en immobilisatie worden in Nutmatch volgens één samenhangende set vergelijkingen beschreven, grotendeels ontleend aan Janssen (2000), die een samenvattend overzicht geeft met verwijzingen naar meer formele publicaties.

De afbraak van organisch materiaal wordt uitgedrukt volgens (Janssen, 2000):

$$Y = Y_0 \cdot e^{\beta[(a+t)^b - a^b]} \quad (\text{vgl. 3.1})$$

met $\beta = 4.7$ en $b = 0.6$, en waarin Y de op tijd t nog aanwezige hoeveelheid organische stof is uit een op tijd $t=0$ toegediende portie Y_0 . De coëfficiënt a is de initiële leeftijd (j) van het toegediende uitgangsmateriaal, en is een maat voor de afbreekbaarheid daarvan. De waarden van de constanten β en b werden door Janssen afgeleid voor Nederlandse omstandigheden.

De afbraaksnelheid dY/dt volgt uit vgl. 3.1 als:

$$\frac{dY}{dt} = Y \cdot (b\beta(a+t)^{b-1}) \quad (\text{vgl. 3.2})$$

met $b\beta = -2.82$. De afbraakcoëfficiënt k is gedefinieerd door $dY/dt \equiv -kY$ en volgt dus uit vgl. 3.2 als

$$k \equiv -b\beta(a+t)^{b-1} \quad (\text{vgl. 3.3})$$

Vgl. 3.3 laat zien dat de afbraakcoëfficiënt (relatieve afbraaksnelheid) steeds kleiner wordt naarmate de tijd verstrijkt. De initiële leeftijd a wordt afgeleid via de experimenteel vastgestelde humificatiecoëfficiënt h , dat is de fractie van toegediend organisch materiaal dat nog resteert na één jaar:

$$h \equiv \frac{Y_1}{Y_0} = e^{[4.7(a+1)^{0.6} - a^{0.6}]} \quad (\text{vgl. 3.4})$$

Ten behoeve van de parametrisatie van Nutmatch werd de a -waarde vastgesteld voor een groot aantal organische materialen, zowel gewasresten als dierlijke mestsoorten en plantaardige composten. Elk van deze materialen werd vervolgens aan een klasse toegerekend, om de veelheid aan parameterwaarden te beperken. De klassen werden gedefinieerd als (I) $1.0 < a < 1.1$; (II) $1.1 < a < 1.3$; (III) $1.3 < a < 1.5$; (IV) $1.5 < a < 2.5$; (V) $2.5 < a < 3.5$; (VI) $a > 3.5$.

De humificatiecoëfficiënt, en daarmee het begrip a -waarde, houdt direct verband met de in de praktijk veel gebruikte term 'effectieve organische stof' (eos). Dit begrip wordt gebruikt om de bijdrage aan de organische-stof voorziening van de bodem uit te drukken van een bepaalde organische input, bijvoorbeeld een ondergewerkte groenbemester. De effectieve organische stof is de hoeveelheid organisch materiaal dat na één jaar nog resteert uit een toegediende hoeveelheid organisch materiaal, en is dus gelijk aan het product van de humificatiecoëfficiënt en de toegediende

hoeveelheid. Doordat humificatiecoëfficiënten van alle organische stofbronnen (gewasresten, organische meststoffen) bekend zijn, kan in Nutmatch getoetst worden of wordt voldaan aan een eventueel gestelde randvoorwaarde van minimaal noodzakelijke eos aanvoer (zie vgl. 2.45).

3.2 Organische-stofbalans in Nutmatch

Het organische-stofgehalte van de bodem op zeker moment is de resultante van aanvoer en afbraak van organische componenten, de organische-stofbalans. Deze wordt in Nutmatch voor het bedrijfsareaal als totaal bijgehouden, zonder onderscheid te maken naar gewas-arealen (of percelen). In tegenstelling tot de beschrijving van stikstof-mineralisatie, wordt bovendien bij de organische-stofbalans geen expliciet onderscheid gemaakt tussen verse ('eerstejaars') en oudere organische stof, behalve dat wel de hoeveelheid organische stof die bij de start van de doorgerekende rotatie aanwezig was, wordt onderscheiden van de organische stof die tijdens de rotatieperiode wordt opgebouwd. Aan de bij aanvang aanwezige organische stof wordt ook een initiële leeftijd a toegekend, meestal gesteld op 17 jaar.

Voor een bepaalde Nutmatch run wordt tevoren vastgesteld op welke termijn (τ -waarde) de optimalisatie betrekking heeft. Kiezen we bijvoorbeeld $\tau = 25$ jaar, dan hebben alle modeluitkomsten (bijvoorbeeld het optimaal bevonden bemestingsschema met bijbehorende verliezen, organisch-stofgehalte in de bodem, etc.) betrekking op de situatie nadat de gegeven rotatie en bemestingsschema gedurende 25 jaar is volgehouden, met jaarlijks dezelfde gewassen en inputs op die gewassen.

Gedurende die 25 jaar breekt de organische stof die op tijd $t=0$ in de bodem aanwezig was, af volgens vgl. 3.1. Wat daar na 25 jaar nog van resteert, wordt – teneinde het organische-stofgehalte te berekenen - opgeteld bij de organische stof die opgebouwd wordt ten gevolge van de inputs die gedurende 25 jaar werden toegediend. De opbouw van organische stof in de bodem via jaarlijkse inputs die gedurende 25 jaar steeds werden toegediend, wordt hieronder beschreven.

De hoeveelheid organische stof die in de bodem resteert (opgebouwd is) nadat gedurende een periode van τ jaar steeds jaarlijks eenzelfde vastgestelde hoeveelheid werd toegediend, wordt gevonden door integratie van vgl. 3.1 over het tijdsinterval van 0 tot τ . Na τ jaar resteert immers van de in het eerste jaar (toedieningsjaar $i=1$) toegediende dosis $Y_0^{i=1}$ nog een hoeveelheid

$$Y_{\tau}^{i=1} = Y_0^{i=1} \cdot e^{\beta[(a+\tau)^b - a^b]} \quad (\text{vgl. 3.5})$$

en in datzelfde jaar resteert er uit de in het tweede jaar toegediende dosis $Y_0^{i=2}$ nog een iets grotere fractie, nl.

$$Y_{\tau}^{i=2} = Y_0^{i=2} \cdot e^{\beta[(a+\tau-1)^b - a^b]} \quad (\text{vgl. 3.6})$$

etcetera, zodat de totale hoeveelheid organische stof uit de in alle jaren i toegediende doses die nog resteert, na τ jaar ongeveer gelijk is aan het oppervlak onder de $Y(t)$ curve van $t=1$ tot $t=\tau$:

$$\sum_{i=1}^{\tau} Y_{t=\tau-i+1}^i \cong \int_{t=1}^{\tau} Y^i(t) dt \quad (\text{vgl. 3.7})$$

Dit geldt dan onder de voorwaarde dat de jaarlijkse input Y_0^i elk jaar gelijk is. De oplossing van deze integraal, met $Y(t)$ gegeven volgens vgl. 3.1, wordt langs numerieke weg bepaald, omdat vgl. 3.1 niet analytisch geïntegreerd kan worden.

3.2.1 Effect van textuur

Effecten van textuur op de opbouw van organische stof kunnen verdisconteerd worden via een effect op de snelheid waarmee organische stof wordt afgebroken, en via een maximering van de totale hoeveelheid organische stof die de bodem kan bevatten. Aan beide 'routes' ligt dezelfde gedachte ten grondslag, namelijk dat organische stof door menging met lutum tegen afbraak beschermd wordt. Naarmate meer lutum aanwezig is, zou de afbraaksnelheid verlaagd worden, en daarnaast zou het maximaal haalbare organisch stofgehalte toenemen.

De afbraak wordt gemoduleerd met een correctiefactor f_{tex} :

$$Y = Y_0 \cdot e^{\beta[(a + f_{\text{tex}} \cdot t)^b - a^b]} \quad (\text{vgl. 3.8})$$

waarbij $f_{\text{tex}} = 0.7$ voor kleigronden, $f_{\text{tex}} = 1.3$ voor lichte zandgronden, en $f_{\text{tex}} = 1$ voor overige gronden (mondelinge mededeling B.H. Janssen).

Hassink (1995) veronderstelt dat de opbouw van organische stof kan oplopen tot een plafond, de zgn. 'protectiecapaciteit', X (mg C per g grond). Deze is een lineaire functie van het (lutum+silt)-gehalte in procenten:

$$X = 20.6 + 0.23 \cdot (\text{lutum+silt})\% \quad (\text{vgl. 3.9})$$

Bijvoorbeeld bij lutum+silt=50% geldt dan $X = 20.6 + 0.23 \cdot 50 = 32.1$ mg koolstof per gram grond. Dit wordt vertaald naar organische stof door vermenigvuldiging met $(1/0.55)$.

Deze beide textuur-functies zijn vooralsnog niet in Nutmatch geïmplementeerd; de berekeningen in dit rapport (Hoofdstuk 5) zijn gebaseerd op de veronderstelling dat $f_{\text{tex}} = 1$ en dat X zo groot is dat deze geen beperking vormt voor de opbouw van organische stof.

3.2.2 Effect van temperatuur

Bovenstaande parametrisatie van de afbraak van organische stof werd door Janssen opgesteld voor gemiddelde Nederlandse omstandigheden. Bij het berekenen van de afbraak over meerdere jaren wordt verondersteld dat het temperatuursverloop tussen jaren niet verschilt. Voor de beschrijving van het lange-termijn gedrag van organische stof is het daarom niet nodig de temperatuur als variabele te introduceren. Naast het verloop van afbraak over meerdere jaren houdt Nutmatch echter ook rekening met het verloop van afbraak over de seizoenen binnen een jaar. Dit gebeurt o.a. om de effecten te kunnen kwantificeren van bijvoorbeeld de lengte van de teeltperiode of van toedieningstijdstippen van meststoffen op de benutting van stikstof. De temporele beschrijving van mineralisatie gedurende het jaar vereist dat het effect van de temperatuur op de afbraak van organische stof in rekening wordt gebracht. Dat geldt zowel de afbraak van recente inputs (eerste jaar) als die van reeds langer aanwezige organische bronnen. In Nutmatch wordt dat gedaan door – analoog aan beschreven textuur-correctie – een temperatuur-correctiefactor f_T toe te passen op de tijd t in vgl. 3.1:

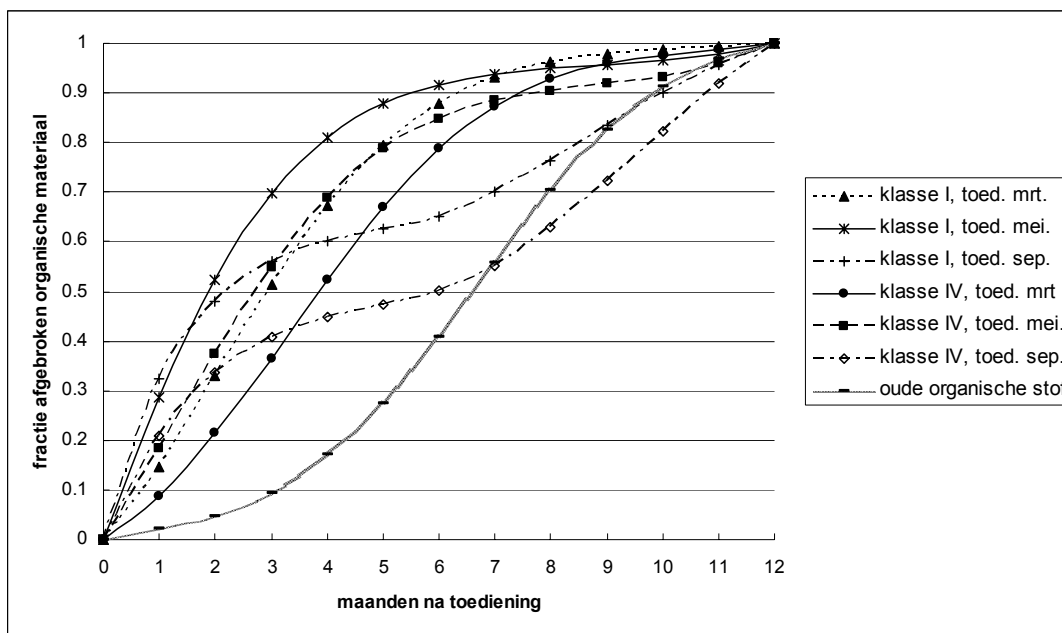
$$Y = Y_0 \cdot e^{\beta[(a + f_T \cdot t)^b - a^b]} \quad (\text{vgl. 3.10})$$

met

$$f_T = 0.1 \cdot (T + 1) \quad \text{voor } T < 9 \text{ }^\circ\text{C, en} \quad (\text{vgl. 3.11})$$

$$f_T = 2^{\frac{(T-9)}{9}} \quad \text{voor } T \geq 9 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (\text{vgl. 3.12})$$

Ook deze functies zijn ontleend aan Janssen (2000) die ze echter oorspronkelijk voor een ander doel introduceerde (namelijk om de voor Nederland afgeleide relaties te vertalen ten behoeve van toepassing in de tropen). Gebruik makend van de gemiddelde maandtemperaturen in Nederland, werd met bovenstaande functies vastgesteld welke fractie van de jaarlijkse afbraak in elke maand gerealiseerd wordt. Het verloop van de afbraak van recente inputs in het eerste jaar na toediening en dat van oude organische stof is in Figuur 3.1 gecumuleerd weergegeven. Het verloop van de afbraak van nieuw toegevoegd organisch materiaal is weergegeven voor 3 verschillende toedieningstijdstippen bij 2 verschillende initiële leeftijden a . Voor nieuw toegevoegde organische inputs valt $t=0$ samen met de eerste van de gespecificeerde maand van toediening. Voor oude organische stof komt $t=0$ overeen met 1 januari. Figuur 3.1 illustreert dat de afbraak sneller verloopt naarmate de temperatuur hoger is en de initiële leeftijd lager.



Figuur 3.1. Het verloop van de afbraak van oude organische stof in een willekeurig jaar en van nieuw toegevoegd organisch materiaal in het eerste jaar na toediening bij 3 verschillende toedieningstijdstippen en 2 verschillende initiële leeftijden a , zoals bepaald door de jaarlijkse temperatuurgang op grond van Vgls. 3.11 en 3.12. Voor nieuw toegevoegde organische inputs valt $t=0$ samen met de eerste van de gespecificeerde maand van toediening. Voor oude organische stof komt $t=0$ overeen met 1 januari.

3.3 Mineralisatie en immobilisatie van stikstof

Afbraak van organisch materiaal – oude organische stof of nieuw toegediende producten – gaat gepaard met verademing (dissimilatie) van koolstof tot CO_2 , met het vrijkomen of vastleggen van stikstof en met een verandering van samenstelling van de aanwezige organische stof. Geleidelijk wordt vers toegediend organisch materiaal omgezet tot een mengsel van enerzijds resterend oorspronkelijk substraat en anderzijds nieuw gevormde organische producten zoals microbiële biomassa en afbraakproducten. In deze paragraaf gaat het om de kwantificering van de hoeveelheid stikstof die bij deze omzettingen in minerale vorm vrijkomt, de stikstofmineralisatie. Voor de beschrijving hiervan geeft Janssen (2000) een met het voorgaande samenhangende set rekenregels. Daarbij worden de volgende coëfficiënten gebruikt:

r_{da} : verhouding dissimilatie/assimilatie; dat is de verhouding tussen de hoeveelheid koolstof die als CO_2 wordt verademd (C_{diss}) en de hoeveelheid koolstof die daarbij wordt ingebouwd in microbiële biomassa (C_{ass});

- r_{cnmic} : verhouding C:N in microbiële biomassa;
 r_{corg} : verhouding tussen koolstof en organische stof in het substraat;
 r_{cnsusb} : verhouding C:N in het substraat.

Nutmatch gebruikt voor de eerste drie van deze coëfficiënten steeds één waarde die van toepassing geacht wordt op het hele bedrijfssysteem. De coëfficiënt r_{cnsusb} daarentegen is specifiek voor het type toegediend organisch materiaal en verandert bovendien naarmate het afbraakproces voortschrijdt. De initiële waarde heeft betrekking op de C:N verhouding in het organisch materiaal zoals toegediend (betreffende gewasrest, compost of dierlijke mestsoort). Nutmatch maakt gebruik van een tabel waarin voor alle bekende organische bronnen deze coëfficiënt is gekwantificeerd.

Stel een jaarlijks toegediende hoeveelheid van een bepaald organisch product j bevat een hoeveelheid organische stikstof N^j en een hoeveelheid koolstof C^j . Over een korte tijdsspanne Δt na toediening van het organisch materiaal verandert de samenstelling van het materiaal nog niet, en mag aangenomen dat r_{cnsusb} nog de initiële waarde behoudt. Hier volgt dan eerst de lineaire beschrijving welke onder die voorwaarde geldig is, d.w.z. betrokken op een voldoende korte periode. De duur van 'voldoende kort' varieert afhankelijk van het materiaal van minder dan een jaar (voor snel afbreekbare gewasresten) tot één of meerdere jaren (voor meer resistente organische materialen zoals dierlijke mesten en plantaardige composten).

De afname van de hoeveelheid koolstof in het tijdsinterval Δt bedraagt:

$$\Delta C^j = -\Delta C_{diss}^j = -r_{da} \Delta C_{ass}^j \quad (\text{vgl. 3.13})$$

waarin ΔC_{diss}^j de hoeveelheid verademde koolstof, en ΔC_{ass}^j de daarbij geassimileerde koolstof, uit een jaarlijks toegediende portie j van een bepaald produkt. De bruto afname van de hoeveelheid N in het oorspronkelijke materiaal die daarmee gepaard gaat bedraagt:

$$\frac{\Delta C_{diss}^j + \Delta C_{ass}^j}{r_{cnsusb}} = \frac{r_{da} \Delta C_{ass}^j + \Delta C_{ass}^j}{r_{cnsusb}} \quad (\text{vgl. 3.14})$$

Bij de vorming microbiële biomassa wordt echter ook weer N vastgelegd, nl de hoeveelheid $\Delta C_{ass}^j / r_{cnmic}$, zodat de netto verandering van de hoeveelheid organisch N bedraagt:

$$\Delta N^j = \frac{-(1+r_{da})}{r_{cnsusb}} \Delta C_{ass}^j + \frac{1}{r_{cnmic}} \Delta C_{ass}^j = \left(\frac{(1+r_{da})}{r_{da} r_{cnsusb}} - \frac{1}{r_{da} r_{cnmic}} \right) \Delta C_{ass}^j \quad (\text{vgl. 3.15})$$

De netto mineralisatie heeft het tegenovergestelde teken en bedraagt dus:

$$\Delta N_m^j = -\Delta N^j = \left(\frac{1}{r_{da} r_{cnmic}} - \frac{(1+r_{da})}{r_{da} r_{cnsusb}} \right) \Delta C_{ass}^j \equiv -Q \Delta C_{ass}^j \quad (\text{vgl. 3.16})$$

met

$$Q \equiv \frac{(1+r_{da})}{r_{da} r_{cnsusb}} - \frac{1}{r_{da} \cdot r_{cnmic}} \quad (\text{vgl. 3.17})$$

Hoewel deze lineaire formulering alleen over korte perioden geldig is, heeft deze toch enig belang omdat via vgl. 3.17 een antwoord verkregen wordt op de vraag of uit een bepaalde organische bron (toegediend substraat)

aanvankelijk stikstof vrijkomt, dan wel of er stikstof in wordt vastgelegd. Voor een substraat waaruit geen N vrijkomt en dat ook geen N vastlegt, geldt $Q=0$, en dus

$$r_{cnsub} = (1 + r_{da}) \cdot r_{cnmic} \quad (\text{vgl. 3.18})$$

Deze waarde van r_{cnsub} wordt de kritische C:N verhouding genoemd. Bijvoorbeeld voor $r_{da} = 2$ (algemene 'default' verhouding) en $r_{cnmic} = 10$ (schimmels) volgt hieruit $r_{cnsub} = 30$. Bij de afbraak van substraten met een C:N verhouding kleiner dan 30 komt dan stikstof vrij, en is C:N groter dan 30 dan wordt N vastgelegd. Voor een bacteriegedomineerd systeem ($r_{cnmic} = 5$) zou de kritische C:N verhouding dan 15 bedragen. Materialen met een hogere C:N verhouding kunnen dan stikstof vastleggen. Tot zover de vereenvoudigde – lineaire – formulering voor de netto mineralisatie van stikstof uit een toegediende portie j .

In werkelijkheid verandert de C:N verhouding van het substraat wèl doordat origineel substraat verdwijnt en nieuwe microbiële massa wordt geproduceerd, die deel gaat uitmaken van het substraat dat vervolgens weer wordt afgebroken. Daarom moet in vgl. 3.15 de coëfficiënt r_{cnsub} geschreven worden als C^j / N^j , waarin zowel C^j als N^j alsook hun onderlinge verhouding in de loop der tijd steeds veranderen. De te integreren differentiaalvergelijking luidt dan:

$$dN^j = dC^j \cdot \left\{ p \frac{N^j}{C^j} + q \right\} \quad (\text{vgl. 3.19})$$

met

$$p \equiv \frac{(-r_{da} - 1)}{-r_{da}} \quad (\text{vgl. 3.20})$$

$$q \equiv \frac{1}{-r_{da} \cdot r_{cnmic}} \quad (\text{vgl. 3.21})$$

Vgl. 3.19 wordt dan geïntegreerd onder de randvoorwaarden $N^j = N_0^j$ voor $C^j = C_0^j$ (d.w.z. dit zijn de initiële hoeveelheden stikstof en koolstof in portie j op $t=0$) tot:

$$N^j = \frac{-qC^j}{(p-1)} + c_1 \cdot (C^j)^p \quad (\text{vgl. 3.22})$$

met integratieconstante

$$c_1 \equiv \left[N_0^j + \frac{qC_0^j}{(p-1)} \right] \cdot (C_0^j)^{-p} \quad (\text{vgl. 3.23})$$

Met $(p-1) = 1/r_{da}$ en $-q/(p-1) = 1/r_{cnmic}$ worden Vgls. 3.22 en 3.23 vereenvoudigd genoteerd als

$$N^j = \left(N_0^j - \frac{C_0^j}{r_{cnmic}} \right) \left(\frac{C^j}{C_0^j} \right)^p + \frac{C^j}{r_{cnmic}} \quad (\text{vgl. 3.24})$$

(afleiding zie Appendix 2).

Vgl. 3.24 geeft het verband dat er op elk moment bestaat tussen de hoeveelheid organisch gebonden stikstof N^j en de hoeveelheid organische koolstof C^j , die beide resteren uit een ooit toegediende portie j van organisch

materiaal. De totale hoeveelheid gemineraliseerde stikstof na tijd t bedraagt het verschil ten opzichte van de initiële hoeveelheid:

$$\Delta N_t^j = (N_0^j - N_t^j) \quad (\text{vgl. 3.25})$$

waarin N_t^j dezelfde variabele is als N^j in vgl. 3.24, maar t als subscript is toegevoegd om aan te geven dat het nu om een zeker tijdstip gaat. De hoeveelheid koolstof C_t^j op dat moment is bekend via vgl. 3.1, daarbij rekening houdend met de koolstoffractie in de organische stof:

$$C_t^j = r_{corg} \cdot Y_t^j \quad (\text{vgl. 3.26})$$

waarin ook bij Y nu de subscripts zijn toegevoegd om aan te geven dat het om organische stof uit een t jaar voorheen toegediende portie j van een bepaald product gaat. Vgl. 3.24 is geldig voor de beschrijving van zowel positieve netto mineralisatie (vrijkomen van stikstof) als voor vastlegging van stikstof (immobilisatie), evenals voor systemen (combinaties van substraat en microbiële populaties) waarin aanvankelijk stikstof wordt vastgelegd en waaruit in een later stadium (voortgaande afbraak) stikstof vrijkomt.

Vergelijkingen 3.1, 3.24, 3.25 en 3.26 kunnen gebruikt worden om de hoeveelheid stikstof die in een zeker jaar vrijkomt uit een ooit toegediende portie organische stof, te berekenen als functie van de tijd na toediening, door de waarde van C_t^j via 3.1 en 3.26 te berekenen voor de twee tijdstippen die het betreffende jaar begrenzen, en dan de resp. waarden van N^j die daarmee volgens 3.24 overeenkomen, van elkaar af te trekken. Deze jaarlijkse hoeveelheid noteren we hier als n_t^j . Het is voor toepassing in deze studie niet nodig om n_t^j per jaar te berekenen; de variabele wordt hier echter toch geïntroduceerd om de in Nutmatch gevolgde werkwijze hieronder te kunnen toelichten.

Tot dusver ging het in deze paragraaf over de afbraak van één eenmalig toegediende portie organisch materiaal (j), en over de stikstof die daarbij in organische vorm wordt 'vastgehouden' dan wel als minerale stikstof vrijkomt. In een bedrijfssysteem echter roteren meerdere gewassen over de jaren en over de percelen, elk gewas met zijn bijbehorende jaarlijkse organische inputs. Een beschrijving van organische stofhuishouding en mineralisatie waarin de individuele percelen en gewassen gevolgd worden zou mogelijk zijn, maar ook complex. Op hoofdlijnen kunnen organische stof huishouding en mineralisatie op een bedrijf goed beschreven worden door uit te gaan van twee vereenvoudigingen: (a) de aard en hoeveelheden van alle inputs zijn elk jaar dezelfde; (b) de jaarlijkse mineralisatie uit alle organische stof ouder dan een jaar is voor het gehele bedrijfsareaal gelijk. In deze benadering wordt dus alleen de 'eerstejaars-mineralisatie' toegewezen aan een specifiek gewas (perceel), dat dus ook kan profiteren van mineralisatie uit de kort vóór dat gewas toegediende organische bronnen.

Op een bedrijfsareaal waar elk jaar gedurende een periode van τ jaren steeds dezelfde hoeveelheid Y_0^j (kg organische stof per ha in product j) wordt toegediend, komt in jaar τ uit de cumulatief (alle jaren) toegediende hoeveelheid van dat product een hoeveelheid stikstof vrij die de som is van de mineralisatie in jaar τ uit alle in de loop der tijd toegediende porties. Is τ bijvoorbeeld 25 jaar, en noteren we het jaar van toediening met index i , dan bedraagt de jaarlijkse mineralisatie in het 25^e jaar:

$$n_{25}^{total} = n_{25}^{i=1} + n_{24}^{i=2} + \dots + n_1^{i=25} \quad (\text{vgl. 3.27})$$

of in het algemeen, waarbij we bovendien de verschillende inputs die jaarlijks worden toegediend onderscheiden met index j :

$$n_{\tau}^{total} = \sum_j \left(\sum_{i=1}^{\tau-1} n_{\tau-i+1}^{i,j} + n_1^{i=\tau,j} \right) \quad (\text{vgl. 3.28})$$

Mineralisatie uit organisch materiaal dat in het laatste jaar ($i = \tau$) is toegediend, is hier als laatste term aan rechterzijde apart genoteerd omdat deze mineralisatie in Nutmatch op gewas (perceels-) niveau wordt bijgehouden. De rest van de rechterzijde van 3.28 vormt, samen met de mineralisatie uit oude (bij start van de rotatie al aanwezige) organische stof, de 'actuele achtergrondmineralisatie' (zie par. 2.3.2.1). De jaarlijkse achtergrondmineralisatie is de resultante van een jarenlang bodembeheer, dus van de gevolgde bemestingsstrategie. Omdat de bemestingsstrategie met Nutmatch berekend (geoptimaliseerd) wordt, is ook de jaarlijkse actuele achtergrondmineralisatie een modeluitkomst (variabele XMINERA), en niet een van tevoren aan te nemen grootheid. Deze actuele achtergrondmineralisatie wordt als gemiddelde voor het gehele bedrijfsareaal berekend. Dit is een redelijke benadering omdat meestal de gewassen in de loop der jaren over alle percelen roteren.

Voor het berekenen van de jaarlijkse achtergrondmineralisatie is het niet nodig om alle afzonderlijke $n_{\tau-i+1}^{i,j}$ te berekenen. Omdat elk jaar dezelfde inputs worden toegediend in dezelfde hoeveelheden, geldt immers:

$$\sum_j \sum_{i=1}^{\tau-1} n_{\tau-i+1}^{i,j} = \sum_j \sum_{t=0}^{\tau} n_t^{i=1} \cong \sum_j \Delta N_{t=\tau}^{i=1,j}$$

waarin ΔN gedefinieerd is volgens vgl. 3.25. Met andere woorden, de hoeveelheid stikstof die in jaar τ vrij komt uit de inputs welke in jaren $i=1$ tot τ werden toegediend, is ongeveer gelijk aan de totale hoeveelheid stikstof die gedurende deze gehele periode vrijkwam uit alle inputs j die in het eerste toedieningsjaar werden gegeven. Dit is zo omdat elk jaar dezelfde inputs worden toegediend.

De jaarlijkse organischestof input Y_0 die op het hele bedrijf gemiddeld per ha plaatsvindt, bestaat uit een reeks organische materialen; voor elk daarvan kennen we de (materiaalspecifieke) fractie Y_τ / Y_0 , die voorafgaand aan Nutmatch runs als modelinput in Excel bestanden berekend wordt. Per materiaal wordt ook de bijbehorende N-mineralisatie per gewichtseenheid van het materiaal tevoren als modelinput vastgesteld; deze kan positief of negatief zijn, afhankelijk van de materiaaleigenschappen volgens hierboven beschreven mechanismen. Deze hoeveelheden worden gesommeerd over alle inputs, en leveren de bedrijfsgemiddelde jaarlijkse mineralisatie uit de geaccumuleerde inputs uit alle voorgaande jaren.

De eerstejaarsmineralisatie wordt per perceel bijgehouden en per maand gekwantificeerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van vooraf in Excel berekende materiaalspecifieke fracties van de totale hoeveelheid organische N per gewichtseenheid van het materiaal, welke in het eerste jaar na toediening mineraliseren (zie Hoofdstuk 2: coëfficiënt Norg_fractie1(o) en verdisconteerd in coëfficiënt w_gewasrest(g,s,z,p). Het patroon waarmee de eerstejaarsmineralisatie gedurende het jaar verloopt is volgens Figuur 3.1, in afhankelijkheid van temperatuurverloop, toedieningstijdstip en initiële leeftijd van het materiaal. Een en ander maakt het mogelijk om bij het vaststellen van optimale bemestingsplannen de N-levering uit de voorvrucht en uit eventuele recente mestgiften per gewas en perceel in rekening te brengen.

Bij de berekening van de achtergrondmineralisatie wordt gebruik gemaakt van eveneens vooraf in Excel berekende materiaalspecifieke fracties van de totale hoeveelheid organische N per gewichtseenheid van het materiaal, welke in de jaren 2 tot en met τ na toediening mineraliseren (coëfficiënten gewasrest2_jrt en Norg_fractie_jrt (o)). Bij de mineralisatie na het eerste jaar na toediening wordt nog opgeteld de – met het verstrijken van de jaren steeds kleinere – mineralisatie uit de organische stof die in de bodem aanwezig was bij aanvang van de rotatie (coëfficiënt oud_org_jrt). Zoals gezegd vormen deze twee mineralisatie-termen in Nutmatch de 'actuele achtergrondmineralisatie' XMINERA. Dit is een gemiddeld mineralisatieniveau dat bij het gehele bedrijfsareaal past, nadat de rotatie met jaarlijkse aanvoer van bijbehorende organische bronnen (meststoffen, gewasresten) gedurende τ jaren is voortgezet. Naarmate een langere periode τ beschouwd wordt, maakt de bijdrage uit oorspronkelijk aanwezige organische stof een steeds kleiner deel uit van de achtergrondmineralisatie, en komt in de plaats daarvan een steeds groter deel uit de inputs die gedurende de rotatie zijn aangevoerd. Het patroon waarmee de achtergrondmineralisatie gedurende het jaar verloopt is als weergegeven in Figuur 3.1.

De totale mineralisatie op elk perceel is de som van achtergrondmineralisatie en eerstejaarsmineralisatie. Is deze som positief, dan kan er netto geen minerale N uit andere bronnen (niet-opgenomen kunstmest) worden vastgelegd in organisch materiaal. Als de som negatief is kan er wel kunstmest-N (of N uit depositie) worden vastgehouden.

4. Bouwplangegevens, werking van N uit organische bronnen en overige technische coëfficiënten

Veel van de voor Nutmatch vereiste inputdata betreffen data die de rotatie (bodem plus gewassen cq. teeltwijzen) beschrijven waarvoor integrale bemestingsplannen berekend moeten worden. Hiertoe behoren onder andere de geteelde gewassen, vruchttopvolging, begin en eind van N-opname door de gewassen, Pw- en K-getal van de bodem, referentie NPK-behoefte volgens Bemestingsadvies, opbrengsten van hoofdproducten bij alle gedefinieerde N-niveaus (Van Dijk *et al.*, 2007), NPK-gehalten in hoofdproducten, N-hoeveelheden in achterblijvende gewasresten en bijdragen van gewasresten aan de organische stofvoorziening. Andere kengetallen beschrijven de karakteristieken van kunstmeststoffen en organische meststoffen: NPK-gehalten, bijdragen aan organische stofvoorziening, prijzen en toedieningskosten. Voor de meeste van deze kengetallen is uitgegaan van normatieve cijfers als vermeld in bijvoorbeeld KWIN-AGV (Dekkers, 2002) en het Bemestingsadvies (van Dijk, 2003). Een derde categorie kengetallen wordt binnen Nutmatch gebruikt om de werkzaamheid van N uit organische bronnen te kunnen berekenen. Daarbij gaat het om kengetallen als initiële leeftijden van organisch bronnen, C/N-coëfficiënten en C-gehalten.

4.1 Werkingscoëfficiënten van N in organische meststoffen en overig organisch materiaal

Lammers (1984) beschrijft een methode voor de berekening van N-werkingscoëfficiënten van organische meststoffen. Meer recent is deze methode ook door Van Dijk *et al.* (2004) gebruikt ten behoeve van de onderbouwing van de forfaitaire werkingscoëfficiënten van organische meststoffen in het Gebruiksnormenstelsel. De methode van Lammers (1984) bestaat uit twee onderdelen. Eerste onderdeel is de beschrijving van de afbraak van organische stof in dierlijke mest in het eerste jaar na toediening, als functie van toedieningstijdstip, volgens Rijtema (zie Lammers, 1984). Op basis van deze afbraak berekent Rijtema de maandelijkse stikstofmineralisatie uit de organische N-fractie in dierlijke mest, uitgedrukt als percentage van de totaal toegediende hoeveelheid organisch gebonden stikstof. Tweede onderdeel is een fractionering van de met de dierlijke mestgift toegediende minerale N over “verlies” en “beschikbaar voor gewasopname” en eenzelfde fractionering van de maandelijks in minerale vorm vrijkomende stikstof uit de toegediende organische N-fractie. Welk deel als “verlies” wordt aangemerkt en welk deel als “beschikbaar voor gewasopname” is voor wat betreft de minerale N-fractie afhankelijk van maand van toediening en start van actieve N-opname door het bemeste gewas en voor wat betreft de organische N-fractie van de overlap in de tijd tussen vrijkomen in minerale vorm en de periode van actieve N-opname door het gewas. De N-werkingscoëfficiënt van de minerale N-fractie is gelijk aan de fractie “beschikbaar voor gewasopname”. De N-werkingscoëfficiënt van de organische N-fractie wordt berekend als het product van het percentage van de organische N dat elke maand beschikbaar komt en het percentage “beschikbaar voor gewasopname”, gecumuleerd over de periode waarvoor de werkingscoëfficiënt berekend wordt. De N-werkingscoëfficiënt is over elke gewenste periode na toedienen te berekenen (1 maand, 2 maanden, x maanden). Met de berekende werkingscoëfficiënt wordt aangegeven welk percentage van de N in organische mest een gelijke werking heeft als tijdens het groeiseizoen gegeven kunstmest-N.

Het eerste onderdeel van de methode van Lammers (1984), de beschrijving van de afbraak van organische stof in dierlijke mest volgens Rijtema, wordt in Nutmatch niet gevolgd. In plaats daarvan wordt de maandelijkse afbraak van organische stof in dierlijke mest, en van organische stof in ander organisch materiaal (‘oude’ organische stof, gewasresten) beschreven volgens Janssen (2000), als uiteengezet in Hoofdstuk 3. Bij de fractionering van minerale N over “verlies” en “beschikbaar voor gewasopname” wordt Lammers (1984) daarentegen wel gevolgd.

Tijdens en na toediening van organische meststoffen vervluchtigt een deel van de in minerale vorm aanwezige N als ammoniak. Het deel van de minerale N dat verloren gaat is onder andere afhankelijk van toedieningstechniek en weersomstandigheden tijdens uitrijden. In Nutmatch zijn drie toedieningstechnieken ter keuze gesteld: injectie (drijfmesten), bovengrondse aanwending gevolgd door oppervlakkig inwerken (vaste mesten en composten) en zodebemesting (drijfmesten in granen). De bij elke toedieningstechniek aangenomen fractie van de minerale N die tijdens en kort na aanwending in de vorm van ammoniak verloren gaat is 5, 20 resp. 30% (van Dijk *et al.*, 2004).

In perioden waarin N-kunstmest wordt gestrooid, zullen verliezen (als gevolg van denitrificatie en uitspoeling) van beschikbare gekomen N uit organische meststoffen net zo groot zijn als van N in kunstmest. Deze verliezen zijn niet in de berekening van werkingscoëfficiënten opgenomen omdat met de werkingscoëfficiënt wordt aangegeven welke percentage van de stikstof in organische meststoffen een gelijke werking heeft als kunstmest-N gegeven tijdens het groeiseizoen. De verliezen van beschikbare N uit organische meststoffen zijn dus alleen berekend voor de periode van het jaar waarin doorgaans geen kunstmest wordt gestrooid: de maanden oktober tot en met februari (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. *Percentages van in elke maand in minerale vorm beschikbaar komende N die verloren gaan en beschikbaar zijn voor opname door gewassen (bron: Lammers, 1984).*

Maand	verlies		voor opname beschikbaar	
	zand	klei	zand	klei
oktober	85	85	15	15
november	85	75	15	15
december	77	68	23	32
januari	57	58	43	42
februari	37	48	63	52
maart	0	0	100	100

In hoeverre een gegeven dosis minerale N cq. maandelijks vrijkomende N van organische oorsprong dezelfde werking heeft als kunstmest-N wordt in Nutmatch bepaald aan de hand van de cijfers in Tabel 4.1. In Nutmatch wordt de N-werkingscoëfficiënt van organische meststoffen voor elke afzonderlijke gewasteelt berekend over de gehele periode dat het gewas N opneemt. Deze periode is voor sommige gewassen langer dan voor andere. Bij granen bijvoorbeeld stopt de N-opname reeds half juli, andere gewassen nemen N op tot half september (bijvoorbeeld suikerbiet).

Aangenomen wordt dat de percentages in Tabel 4.1 gelden voor gewassen die op 1 april gezaaid dan wel gepoot worden. Gewassen kunnen echter ook aanzienlijk vroeger (bijv. spinazie) of later (bijv. tweede gewasteelten) gezaaid/gepoot worden en dit beïnvloedt de verdeling van beschikbare N over “verlies” en “beschikbaar voor opname”. Bij eerdere of latere zaai-/pootdata dan 1 april is verondersteld dat de percentages in Tabel 4.1 navenant verschuiven. Als bijvoorbeeld op 1 mei in een zandgrond N beschikbaar komt, terwijl pas op 1 juli een gewas gepoot wordt (tijdspanne: 2 maanden), dan is verondersteld dat het voor opname beschikbare percentage uit Tabel 4.1 geldt zodanig dat de tijdspanne tussen toediening en poten – in Tabel 4.1 in april – eveneens 2 maanden bedraagt. Dat is dus het percentage voor de maand februari.

Bij de berekening van de werking van N uit andere organische bronnen dan dierlijke mest (gewasresten, oude organische stof) wordt dezelfde methodiek gebruikt als voor dierlijke mest, eveneens gebruikmakend van de voor opname beschikbare percentages in Tabel 4.1. De berekening van de maandelijke percentages N die in afhankelijkheid van de aard van het organische materiaal en toedieningstijdstip uit de diverse bronnen in minerale vorm vrijkomen is uiteengezet in Hoofdstuk 3.

5. Case-study: lange termijn bodemvruchtbaarheid NON1 en vgg4

5.1 Inleiding

Per 1 januari 2006 is het MINAS-stelsel vervangen door het Gebruiksnormenstelsel. Belangrijkste verandering ten opzichte van het balansgerichte MINAS-stelsel is de introductie van gewasspecifieke gebruiksnormen (zie par. 2.3.8). Smit *et al.* (2005) hebben de consequenties van het Gebruiksnormenstelsel voor bedrijfsvoering, nutriëntenoverschotten en milieukwaliteit op akker-, tuinbouw-, boomteelt- en bloembolbedrijven verkend. De verkenning is uitgevoerd aan de hand van berekeningen aan bemestingsplannen voor een aantal representatieve modelbedrijven in een Excel rekenblad. Bij de berekeningen werd uitgegaan van referentie-N-behoefte van gewassen, bepaald op basis van het Bemestingsadvies, vuistregels voor wat betreft Nmin-voorraden in het voorjaar en korte termijn werkingscoëfficiënten van N in dierlijke mest ('korte termijnberekening'; zie par. 5.3). Impliciet ligt aan het Bemestingsadvies een bepaald bodemvruchtbaarheidsniveau ten grondslag, namelijk het niveau zoals dat aanwezig was in de veldproeven waarop het advies voor elk gewas is gebaseerd (zie par. 2.3.2). Onzeker is of de berekende bemestingsplannen – met bijbehorende aanvoer van organische meststoffen – daadwerkelijk 'passen' bij dit niveau. Het kan zijn dat een langdurig volgehouden bemestingsplan op termijn leidt tot een bodemvruchtbaarheid die hoger is dan de in het Bemestingsadvies impliciet veronderstelde bodemvruchtbaarheid. In dat geval zou bespaard kunnen worden op het gebruik van kunstmest-N. Omgekeerd kan het ook zo zijn dat een bemestingsplan op termijn leidt tot een lagere bodemvruchtbaarheid. In dat geval worden bij verder gelijkblijvende inputs niet langer economisch optimale opbrengstniveaus van de gewassen bereikt en zal meer N via kunstmest en/of dierlijke mest moeten worden gegeven. Uiteraard heeft dit een invloed op het bij elk bemestingsplan berekende bodem-N-overschot en nitraatgehalte. Om hier meer zicht op te krijgen zijn met Nutmatch voor twee modelbedrijven (NON1 en vgg4) enkele berekeningen gedaan. In tegenstelling tot de 'korte termijn berekening' wordt in de Nutmatch-berekeningen de ontwikkeling van de achtergrondmineralisatie in de tijd gevolgd, op grond waarvan kunstmest-N-giften naar beneden of boven worden bijgesteld.

5.2 Modelbedrijven en inzet dierlijke mest

De hier gepresenteerde case study is opgezet rondom een bemestingsplan voor een zetmeelaardappelbedrijf in het Noordoostelijk zandgebied (NON1) en een bemestingsplan voor een bladgewassenbedrijf in het Zuidoostelijk zandgebied (vgg4) (Tabel 5.1). In de berekeningen van Smit *et al.* (2005) is een 'gewenste' aanvoer van een bepaalde hoeveelheid dierlijke mest (varkensdrijfmest en runderdrijfmest) uitgangspunt. Deze hoeveelheid is representatief voor de regio waarin de modelbedrijven gelegen zijn. De mest wordt aangewend in het voorjaar.

Tabel 5.1. Gewassen en organische bemesting in modelbedrijven NON1 en vgg4

Modelbedrijf	Gewassen in de rotatie	Organische bemesting in voorjaar
NON1	zetmeelaardappel (33%), graan (33%), suikerbiet (20%), waspeen (6%), maïs (4%), braak (4%)	30 ton VDM per ha in zetmeelaardappel 20 ton VDM per ha in suikerbiet 50 ton RDM per ha in maïs
vgg4	kropsla (33%), spinazie (33%), prei (33%)	30 ton VDM per ha in prei

5.3 'Korte termijn berekeningen' voor NON1 en vgg4

Uitgaande van de 'gewenste' aanvoer van dierlijke mest is door Smit *et al.* (2005) berekend hoeveel N nog aanvullend via kunstmest op beide modelbedrijven moet worden aangevoerd om voor elk gewas aan het Bemestingsadvies te kunnen voldoen (Tabel 5.2). Tevens is het bodem-N-verlies en het daarbij te verwachten nitraatgehalte in het grondwater berekend. Bij de berekening van de hoeveelheid aan te voeren kunstmest-N is uitgegaan van (in de tijd constant veronderstelde) referentie-N-behoeften van gewassen, bepaald op basis van het Bemestingsadvies en vuistregels voor wat betreft Nmin-voorraden in het voorjaar. Er wordt gerekend met korte termijn werkingscoëfficiënten van organische N in dierlijke mest (vermeld in van Dijk, 2003) en er is geen rekening gehouden met eventuele veranderingen in de achtergrondmineralisatie in de loop van de tijd. Daarom worden deze berekeningen hier gekarakteriseerd als 'korte termijn berekeningen'. Tegelijkertijd is bij de berekening van het bodem-N-verlies uitgegaan van een evenwichtssituatie. Daarbij is verondersteld dat de jaarlijkse toevoer van organische N in gewasresten en organische mest gelijk is aan de jaarlijkse afbraak. In dat geval kan het bodem-N-verlies berekend worden als de totale N-aanvoer in dierlijke mest, kunstmest en depositie minus de totale N-afvoer in product en via ammoniakverlies bij aanwenden van dierlijke mest (Tabel 5.2). Het nitraatgehalte in het bovenste grondwater is uit het bodem-N-verlies berekend volgens Schröder *et al.* (2007; zie par. 2.3.2.5), uitgaande van Gt IV op 75% van het areaal en Gt VII op 25% van het areaal.

Tabel 5.2. *N-aanvoer en -afvoer op modelbedrijven NON1 en vgg4 en bijbehorende bodem-N-verlies en nitraatgehalte op basis van 'korte termijn berekeningen' (Bron: Smit et al. (2005))*

	NON1	vgg4
Totaal-N in dierlijke mest	102	72
Depositie	31	31
Kunstmest-N	53	183
Totale N-aanvoer	187	286
Ammoniakemissie	3	2
N-vastlegging in afgevoerd product	107	134
Totale N-afvoer	110	136
Bodem-N-verlies	77	150
Nitraatgehalte (75% Gt IV, 25% Gt VII)	53	103

5.4 Nutmatch berekeningen voor NON1 en vgg4

Ook met Nutmatch zijn bemestingsplannen berekend voor de modelbedrijven NON1 en vgg4. Daarbij werd Nutmatch 'gedwongen' de in Tabel 5.1 genoemde 'gewenste' hoeveelheden mest aan te voeren en die in dezelfde gewassen toe te passen². De inzet van dierlijke mest is dus gelijk aan die in de 'korte termijn berekening'. De Nutmatch berekening verschilt verder echter op twee punten van de korte termijn berekening:

- de ontwikkeling van de achtergrondmineralisatie op termijn wordt berekend, in afhankelijkheid van wat er jaarlijks aan organische meststoffen en gewasresten wordt toegediend (zie par. 2.3.2.1);
- de werkzame N-behoefte van gewassen wordt gecorrigeerd voor afwijkingen van de actuele achtergrondmineralisatie ten opzichte van een referentie-achtergrondmineralisatie (zie par. 2.3.2.4). In het onderstaande leidt dit tot stijgende kunstmestgiften in geval van in de tijd teruglopende bodemvruchtbaarheid en tot dalende kunstmestgiften bij in de tijd toenemende bodemvruchtbaarheid.

² Er is in deze case-study dus geen gebruik gemaakt van de mogelijkheid die Nutmatch biedt om de inzet van organische meststoffen (mestsoorten, hoeveelheden, toedieningstijdstippen) te optimaliseren, noch van het gericht korten van de N-gift aan gewassen.

Berekeningen met Nutmatch zijn uitgevoerd na toepassen van bemestingsplannen gedurende 5, 10 en 25 jaar. Ook is de evenwichtssituatie berekend.

In Nutmatch wordt de totale stikstofmineralisatie berekend op grond van vrijkomende N uit nieuw toegevoegde organische stof (organische mest en gewasresten) en uit een pool 'oude organische stof'. Voor de nieuw toegevoegde organische stof wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen mineraliserende N *in het eerste jaar* na toediening en mineraliserende N *na het eerste jaar* na toediening (zie par. 2.3.2.1).

Voor beide modelbedrijven is aangenomen dat aan de referentie-N-behoeften van de geteelde gewassen een referentie-achtergrondmineralisatie van 100 kg N per ha ten grondslag heeft gelegen³. Dit is in Nutmatch gesimuleerd door de pool 'oude organische stof' zodanig te initialiseren dat de actuele achtergrondmineralisatie in het startjaar 100 kg N per ha bedraagt.

Het in Nutmatch berekende bodem-N-verlies is als volgt gedefinieerd (zie par. 2.3.2.5):

- (+) toedieningen van minerale N (via kunstmest, dierlijke mest en depositie)
- (+) mineralisatie uit alle organische N-bronnen in het eerste jaar na toediening
- (+) mineralisatie uit alle organische N-bronnen in de jaren 2 t/m τ na toediening
- (+) mineralisatie uit een na τ jaar resterende hoeveelheid 'oude organische stof'
- (-) ammoniakverlies tijdens uitrijden van dierlijke mest
- (-) vastgelegde N in gewasproducten
- (-) vastgelegde N in gewasresten

5.4.1 Resultaten NON1

Tabellen 5.3 en 5.4 vermelden de resultaten van berekeningen voor modelbedrijf NON1. Uit Tabel 5.3 blijkt dat de bijdrage van de pool 'oude organische stof' aan de actuele achtergrondmineralisatie vanwege voortschrijdende uitputting geleidelijk aan kleiner wordt, maar dat deze terugloop niet tegelijkertijd volledig gecompenseerd wordt door 'nieuw' toegevoegde organische N-bronnen. Het gevolg daarvan is dat de kunstmest-N gift geleidelijk aan dient toe te nemen om economisch optimale opbrengstniveaus te kunnen blijven behalen. De extra N die met kunstmest aangevoerd wordt is lager dan de vanwege de afnemende achtergrondmineralisatie 'verloren' gegane N en dus neemt per saldo het bodem-N-verlies met de jaren iets af. De reden van het niet 1-op-1 verlopen van deze uitwisseling is gelegen in de hogere benutting van kunstmest-N in vergelijking met N die vrijkomt uit mineraliserende organische stof. Het geleidelijke teruglopen van het bodemverlies gaat gepaard met een geleidelijke toename van het N-overschot op bedrijfsniveau (Tabel 5.4). Als rekening wordt gehouden met de in de tijd teruglopende achtergrondmineralisatie is in de evenwichtssituatie per ha 24 kg extra kunstmest-N nodig ten opzichte van de 'korte termijn berekening' in Tabel 5.2. Als gevolg daarvan zijn ook bodem-N-verlies en N-overschot 24 kg per ha hoger dan in de berekening waarbij de kunstmestgift niet wordt aangepast.

Na 5 jaar bedraagt de berekende kunstmestbehoefte 59 kg N per ha. In de evenwichtssituatie is dit 76 kg N per ha. Het te overbruggen traject tussen 'na 5 jaar' en evenwicht bedraagt daarmee 17 kg N per ha. De 'halfwaardetijd' van dit traject (d.w.z. het aantal jaren dat nodig is om de helft van het traject te overbruggen) ligt ergens tussen de 10 en 20 jaar. Dit geldt ook voor 'halfwaardetijden' voor bodemverlies en nitraatgehalte.

5.4.2 Resultaten vgg4

Het globale beeld dat bij modelbedrijf vgg4 naar voren komt (Tabellen 5.5 en 5.6) is gelijk aan dat van NON1. Ook op dit bedrijf wordt de terugloop van de bijdrage van de pool 'oude organische stof' aan de actuele achtergrondmineralisatie maar ten dele gecompenseerd door bijdragen van 'nieuw' toegevoegde organische stof. Rekening houdend met de teruglopende achtergrondmineralisatie is in de evenwichtssituatie 49 kg N per ha extra kunstmest

³ Dit cijfer is met veel onzekerheid behept. Op grond van gemeten N-opbrengsten op onbemeste proefvelden, zoals gerapporteerd door Ten Berge *et al.* (2000) lijkt een schatting van 100 kg N per ha redelijk.

nodig ten opzichte van de 'korte termijn berekening' en zijn bodem-N-verlies en N-overschot dus ook 49 kg per ha hoger dan in de berekening waarbij de kunstmestgift niet wordt aangepast.

De 'halfwaardetijd' tussen de situatie 'na 5 jaar' en de evenwichtssituatie voor kunstmestgift, bodemverlies en nitraatgehalte ligt ergens tussen de 10 en 15 jaar.

Tabel 5.3. Berekend bodemverlies en nitraatgehalte voor modelbedrijf NON1 bij dierlijke mestgiften volgens Tabel 5.1 en een initiële achtergrondmineralisatie van 100 kg N per ha per jaar na 5, 10 en 25 jaar toepassen van dit plan en bij bereiken van evenwicht.

	Na 5 jaar	Na 10 jaar	Na 25 jaar	Evenwicht
<i>Minerale N-inputs</i>				
Nmin in organische mest	59	59	59	59
Kunstmest	59	65	73	76
Depositie	31	31	31	31
Totaal	149	155	163	166
<i>Mineralisatie uit organische bronnen in eerste jaar na toediening</i>				
Uit 'nieuwe' gewasresten	25	25	25	25
Uit 'nieuwe' organische mest	33	33	33	33
Totaal	58	58	58	58
<i>Achtergrondmineralisatie (mineralisatie uit organische bronnen na eerste jaar na toediening en mineralisatie uit de pool 'oude organische stof')</i>				
Uit 'nieuwe' gewasresten	25	30	32	38
Uit 'nieuwe' organische mest	8	9	10	11
Uit 'oude organische stof'	44	29	12	0
Totaal	77	68	54	49
<i>Vastlegging + ammoniakverlies</i>				
Vastlegging in gewasproducten	107	107	107	107
Vastlegging in gewasresten	63	63	63	63
Ammoniakverlies	3	3	3	3
Totaal	173	173	173	173
Bodemverlies	112	108	102	100
Nitraatgehalte	77	74	70	69

Tabel 5.4. Farmgate N-balans van modelbedrijf NON1 bij dierlijke mestgiften volgens Tabel 5.1 en een initiële achtergrondmineralisatie van 100 kg N per ha per jaar na 5, 10 en 25 jaar toepassen van dit plan en bij bereiken van evenwicht.

	Na 5 jaar	Na 10 jaar	Na 25 jaar	Evenwicht
<i>N-aanvoer</i>				
Organische mest	102	102	102	102
Kunstmest	59	65	73	76
Depositie	31	31	31	31
Totaal	192	198	206	209
<i>N-afvoer</i>				
Gewasproducten	107	107	107	107
Totaal	107	107	107	107
<i>N-overschot</i>				
Ammoniakverlies	3	3	3	3
Bodemoverschot	82	88	96	99
Totaal	85	91	99	102

Tabel 5.5. Berekend bodemverlies en nitraatgehalte voor modelbedrijf vgg4 bij dierlijke mestgiften volgens Tabel 5.1 en een initiële achtergrondmineralisatie van 100 kg N per ha per jaar na 5, 10 en 25 jaar toepassen van dit plan en bij bereiken van evenwicht.

	Na 5 jaar	Na 10 jaar	Na 25 jaar	Evenwicht
<i>Minerale N-inputs</i>				
Nmin in organische mest	42	42	42	42
Kunstmest	202	212	224	232
Depositie	31	31	31	31
Totaal	275	285	297	305
<i>Mineralisatie uit organische bronnen in eerste jaar na toediening</i>				
Uit 'nieuwe' gewasresten	81	81	81	81
Uit 'nieuwe' organische mest	23	23	23	23
Totaal	104	104	104	104
<i>Achtergrondmineralisatie (mineralisatie uit organische bronnen na eerste jaar na toediening en mineralisatie uit de pool 'oude organische stof')</i>				
Uit 'nieuwe' gewasresten	21	23	25	27
Uit 'nieuwe' organische mest	5	6	6	7
Uit 'oude organische stof'	49	32	14	0
Totaal	75	61	45	34
<i>Vastlegging + ammoniakverlies</i>				
Vastlegging in gewasproducten	134	134	134	134
Vastlegging in gewasresten	108	108	108	108
Ammoniakverlies	2	2	2	2
Totaal	244	244	244	244
Bodemverlies	210	206	202	199
Nitraatgehalte	144	141	138	136

Tabel 5.6. Farmgate N-balans van modelbedrijf vgg4 bij dierlijke mestgiften volgens Tabel 5.1 en een initiële achtergrondmineralisatie van 100 kg N per ha per jaar na 5, 10 en 25 jaar toepassen van dit plan en bij bereiken van evenwicht.

	Na 5 jaar	Na 10 jaar	Na 25 jaar	Evenwicht
<i>N-aanvoer</i>				
organische mest	71	71	71	71
Kunstmest	202	212	224	232
Depositie	31	31	31	31
Totaal	304	314	326	334
<i>N-afvoer</i>				
Gewasproducten	134	134	134	134
Totaal	134	134	134	134
<i>N-overschot</i>				
Ammoniakverlies	2	2	2	2
Bodemoverschot	168	178	190	198
Totaal	170	180	192	200

5.5 Conclusies case study

De met Nutmatch uitgevoerde berekeningen verschilden op twee punten met de 'korte termijn berekeningen': (1) de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid in de tijd werd gekwantificeerd in afhankelijkheid van wat er jaarlijks aan organische meststoffen en gewasresten werd toegediend en (2) de N-behoefte van gewassen werd gecorrigeerd voor afwijkingen van de bodemvruchtbaarheid ten opzichte van een referentie-bodemvruchtbaarheid. Het hiermee rekening houden blijkt aanzienlijke effecten te kunnen hebben op benodigde N-aanvoer, bodemverlies, bodemoverschot en nitraatgehalte. De omvang van deze effecten is afhankelijk van het verschil tussen het bereikte bodemvruchtbaarheidsniveau op het betreffende modelbedrijf en het referentie-bodemvruchtbaarheidsniveau zoals dat verondersteld wordt aan het Bemestingsadvies ten grondslag te hebben gelegen.

Bij compensatie van teruglopende bodemvruchtbaarheid met extra kunstmest-N neemt het N-overschot in de loop van de jaren toe en nemen tegelijkertijd bodemverlies en nitraatgehalte af.

De tijd die het vergt om de helft van het te overbruggen traject tussen de situatie na 5 jaar en de evenwichtssituatie te hebben afgelegd bedraagt tussen de 10 en 20 jaar.

Referenties

- Berge, H.F.M. ten, J.C.M. Withagen, F.J. de Ruijter, M.W.J. Jansen & H.G. v.d. Meer, 2000.
Nitrogen responses in grass and selected field crops. QUADMED parameterisation and extensions for STONE-application. Report 24, Plant Research International, Wageningen, 45 pp.
- Colombani, Y. & S. Heipcke, 2005.
Mosel: an overview. Dash Optimization Whitepaper. Dash optimization, Blisworth House, Blisworth, U.K., 19 pp.
- Dekkers, W.A. (Red.), 2002.
Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2002. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen. PPO 301
- Dijk, W. van, 2003.
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. PPO publicatie 307, 66 pp
- Dijk, W. van, J.G. Conijn, J.F.M. Huijsmans, J.C. van Middelkoop & K.B. Zwart, 2004.
Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt organische mest. Studie tbv onderbouwing gebruiksnormen. PPO rapport 337, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, 49 pp.
- Dijk, W. van, S. Burgers, H.F.M. ten Berge, A.M. van Dam, W.C.A. van Geel & J.R. van der Schoot, 2007.
Effecten van verlaagde N-bemesting op opbrengst en kwaliteit van akker- en tuinbouwgewassen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, in voorbereiding.
- Ehlert, P.A.L., S.L.G.E. Burgers & J.W. Steenhuizen, 1996.
Verandering van de beschikbaarheid van fosfaat in de grond onder invloed van bemesting. Observatieel statistisch onderzoek naar het voorkomen van 'onvermijdbare fosfaatverliezen' op basis van gegevens van veeljarige bemestingsproeven. Rapport 51, AB-DLO, Wageningen, 74 pp.
- Hassink, J., 1995
Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soils. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 250 pp.
- Janssen, B.H., 2000.
Organic matter and soil fertility. Department of environmental sciences, sub-department of soil science and plant nutrition. Wageningen Agricultural University, 245 pp.
- Janssen, B.H., 1984.
A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. Plant and Soil 76: 297-304
- Kater, L.J.M., W.J.M. Hazelaar, F.J. de Ruijter, B. Smit, W. van Dijk & J.R. van der Schoot, 2004.
Kosteneffectieve maatregelen-pakketten bij mineralenbeleid verdergaand dan MINAS. Bloembollen. PPO rapport 714, Lelystad, 37 pp.
- Lammers, H.W., 1984.
Een berekende stikstofwerkingscoëfficiënt voor diverse dierlijke organische mestsoorten. De Buffer 30, 169-197.
- Schoot, J.R. van der, B.H.C. van der Waal & W. van Dijk, 2004.
Kosteneffectieve maatregelenpakketten bij mineralenbeleid verdergaand dan MINAS. Akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. PPO rapport 336, Lelystad, 40 pp.
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, J.C. van Middelkoop, R.L.M. Schils, G.L. Velthof, B. Fraters & W.J. Willems, 2007.
Permissible manure and fertilizer use in dairy farming systems on sandy soils in the Netherlands to comply with the Nitrates Directive target. Geaccepteerd door European Journal of Agronomy.
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof, B. Fraters & W.J. Willems, 2005.
Limits to the use of manure and mineral fertilizer in grass and silage maize production in the Netherlands, with special reference to the EU Nitrates Directive. Wageningen UR/National Institute for Public Health and the Environment, Report 93, Plant Research International, Wageningen, 48 pp.

Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C. de Bode, W. van Dijk, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof & W.J. Willems, 2004.

Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Report 79, Plant Research International, Wageningen, 60 pp.

Smit, A.L. (Red.), 2005.

Het gebruiksnormenstelsel, consequenties voor bedrijfsvoering en milieukwaliteit. Een eerste verkenning met modelbedrijven in Thema 5 (Maatregelenpakketten) van Programma 398. Rapport 99, Plant Research International, Wageningen, 44 pp.

Smit, A.L., W. van Dijk, J.R. van der Schoot, B.H.C. van der Waal, L.J.M. Kater, W.J.M. Hazelaar, R. Schreuder, F.J. de Ruijter, A.G.T. Schut & M.H.A. de Haan, 2003.

Kosteneffectieve maatregelen(pakketten) om voor de sectoren vollegrondsgroenten, bollen en veehouderij te voldoen aan MINAS 2003-eindnormen. Rapport 61, Plant Research International, Wageningen, 100 pp.

Appendix I

Overzicht van alle in Nutmatch gedefinieerde activiteiten

A_BINORG(g,s,n,o,w,x):	Binaire variabele ter regulering van het aantal keren dat aan een eerste gewasteelt g op perceel s organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend en ter regulering van de minimum dosis [0/1]
B_BINORG(g,s,n,o,w,x):	Binaire variabele ter regulering van het aantal keren dat aan een eventuele tweede gewasteelt g op perceel s organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x kan worden toegediend en ter regulering van de minimum dosis [0/1]
C_BINORG(o):	Binaire variabele ter regulering van het aantal verschillende organische mestsoorten o dat op bedrijfsniveau kan worden toegediend [0/1]
BINPBAL(d):	Binaire variabele die bepaalt dat het P-overschot d op bedrijfsniveau ófwel kleiner of gelijk is aan 0, ófwel groter is dan 0 [0/1]
BIN1MIN(g,s,m):	Binaire variabele ter regulering van de minimum hoeveelheid stikstofkunstmest m die aan een eerste gewasteelt g op perceel s gegeven kan worden [0/1]
BIN2MIN(g,s,m):	Binaire variabele ter regulering van de minimum hoeveelheid stikstofkunstmest m die aan een tweede gewasteelt g op perceel s gegeven kan worden [0/1]
BIN1NIVEAU(g,s,n):	Binaire variabele ter regulering van het aantal N-niveau's per eerste gewasteelt g op perceel s [0/1]
BIN2NIVEAU(g,s,n):	Binaire variabele ter regulering van het aantal N-niveau's per tweede gewasteelt g op perceel s [0/1]
XDELTAPW:	Verandering in Pw op bedrijfsniveau na 1 jaar [mg P ₂ O ₅ l ⁻¹]
X1_TEELT(g,s,n):	Teelt van eerste gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X2_TEELT(g,s,n):	Teelt van tweede gewasteelt g op perceel s op N-niveau n [ha]
X1ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X2ORG(g,s,n,o,w,x):	Gift aan tweede gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg product]
X1EFFORG(g,s,n,o,w,x):	Werkzame N in eerste gewasteelt g op perceel s als gevolg van toediening in eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg N]
X2EFFORG(g,s,n,o,w,x):	Werkzame N in tweede gewasteelt g op perceel s als gevolg van toediening in tweede gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w volgens toedieningstechniek x [kg N]
XEFF12ORG(g,s,n,o,w):	Werkzame N in tweede gewasteelt als gevolg van toediening in eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w [kg N]
XEFF13ORG(g,s,o,w,z,p,n):	Werkzame N als gevolg van toediening in voorafgaande eerste gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w in volgende eerste gewasteelt z op perceel p [kg N]
X23EFFORG(g,s,o,w,z,p,n):	Werkzame N als gevolg van toediening in voorafgaande tweede gewasteelt g op perceel s van organische mestsoort o in maand w in volgende eerste gewasteelt z op perceel p [kg N]
XMIN1(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan eerste gewasteelt g op perceel s van kunstmestsoort m [kg product]
XMIN2(g,s,n,m):	Kunstmestgift aan tweede gewasteelt g op perceel s van kunstmestsoort m [kg product]

XMINERA:	Totale actuele achtergrondmineralisatie per gemiddelde ha per jaar uit mineralisatie van organisch gebonden N in 'oude organische stof' en mineralisatie van organisch gebonden N in nieuw toegediende gewasresten en organische mestsoorten [kg N ha ⁻¹]
X_1VER(g,s,n):	Vershil tussen het werkzame deel van een referentie achtergrondmineralisatie en het werkzame deel van de actuele achtergrondmineralisatie in eerste gewasteelt g op perceel s [kg N]
X_2VER(g,s,n):	Vershil tussen het werkzame deel van een referentie achtergrondmineralisatie en het werkzame deel van de actuele achtergrondmineralisatie in tweede gewasteelt g op perceel s [kg N]
XKBAL:	K-overschot op bedrijfsniveau [kg K ha ⁻¹]
XPBALP:	P-overschot op bedrijfsniveau (positief traject) [kg P ha ⁻¹]
XPBALN:	P-overschot op bedrijfsniveau (negatief traject) [kg P ha ⁻¹]
X_TOTVERLIES:	Totaal N-verlies op bedrijfsniveau [kg N ha ⁻¹]

Appendix II

Gevraagd oplossing van:

$$\frac{dN}{dC} = p \frac{N}{C} + q \quad (\text{A1})$$

Oplossing, noem

$$u = \frac{N}{C} \quad (\text{A2})$$

dan:

$$\frac{du}{dC} = \frac{1}{C} \frac{dN}{dC} - \frac{u}{C} \text{ ofwel}$$

$$\frac{dN}{dC} = C \frac{du}{dC} + u \quad (\text{A3})$$

Substitutie van (A3) in (A1) leidt tot de lineaire vergelijking:

$$C \frac{du}{dC} + u = pu + q \quad (\text{A4})$$

via:

$$\frac{du}{(p-1)u + q} = \frac{dC}{C}$$

wordt de oplossing van (A4) gevonden als

$$u = \frac{K}{p-1} C^{p-1} - \frac{q}{p-1} \quad (\text{A5})$$

Substitutie van (A2) en met $p-1 = \frac{1}{r_{da}}$, $\frac{q}{p-1} = \frac{-1}{r_{cnic}}$ levert tenslotte:

$$N = \frac{K}{p-1} C^p - \frac{qC}{p-1} = r_{da} K C^p + \frac{C}{r_{cnic}} \quad (\text{A6})$$

met K als integratieconstante, te vinden uit beginvoorwaarde

$$C = C_0, N = N_0$$

hieruit volgt:

II - 2

$$K = \frac{1}{r_{da}} \left(N_0 - \frac{C_0}{r_{cmmic}} \right) C_0^{-p},$$

zodat uiteindelijk:

$$N = \left(N_0 - \frac{C_0}{r_{cmmic}} \right) \left(\frac{C}{C_0} \right)^p + \frac{C}{r_{cmmic}} \quad (A7)$$