




Toepassingsmogelijkheden van vloeibare NPK-meststoffen in de akkerbouw

Olga A. Clevering

© 2001  eningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV.

Alle rechten  behouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, 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 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit projectrapport geeft de resultaten weer van het onderzoek dat het Praktijkonderzoek Plant & Omgeving heeft uitgevoerd in opdracht van:

Hoofdproductschap Akkerbouw
Postbus 29739
2502 LS 's-Gravenhage

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving

Sector AGV

s : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : info@ppo.dlo.nl
Internet : <http://www.ppo.dlo.nl>

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	5
1. INLEIDING	9
2. SAMENSTELLING EN WERKING VAN VLOEIBARE MESTSTOFFEN.....	11
2.1. STIKSTOFMESTSTOFFEN.....	11
2.1.1. Ammonium en nitraat	11
2.1.2. Ammoniak.....	12
2.1.3. Ureum	12
2.2. FOSFAATMESTSTOFFEN.....	12
2.2.1. Orthofosfaten	12
2.2.2. Polyfosfaten	13
2.3. KALIMESTSTOFFEN	13
2.4. COMBINATIES VAN MESTSTOFFEN	14
3. INJECTIE VAN AMMONIAK.....	15
3.1. REACTIE VAN GEWASSEN	15
3.2. PERSPECTIEVEN VAN AMMONIAK	15
4. VOLVELDSTOEPASSINGEN VAN UREAN EN UREUM	17
4.1. UREAN.....	17
4.1.1. Reactie van gewassen bij ongedeelde gift.....	17
4.1.2. Reactie van gewassen bij gedeelde gift	17
4.1.3. Perspectieven van urean	18
4.2. UREUM	20
5. RIJENBEMESTING DOOR MIDDEL VAN INJECTIE VAN STIKSTOF (CULTANMETHODE).....	21
5.1. REACTIE GEWASSEN.....	21
5.2. PERSPECTIEVEN VAN CULTAN	22
6. TOEPASSINGEN VAN NP-MESTSTOFFEN	25
6.1. VOLVELDSBEMESTING	25
6.2. RIJENBEMESTING	25
6.3. PERSPECTIEVEN VAN VLOEIBARE NP-MESTSTOFFEN	27
7. BEMESTING MET ANDERE VLOEIBARE MESTSTOFFEN.....	29
7.1. VOLVELDSTOEPASSINGEN.....	29
7.2. RIJENBEMESTING	29
8. FERTIGATIE	31
8.1. VOLVELDSFERTIGATIE	31
8.2. DRUPPELFERTIGATIE	31
8.3. PERSPECTIEVEN VAN FERTIGATIE.....	32
9. VERGELIJKING TUSSEN BEMESTINGSSYSTEMEN	35
9.1. ÉÉNMALIGE GIFTEN EN BASISGIFTEN VAN STIKSTOF	36
9.2. DEELGIFTEN EN BIJBEMESTINGEN VAN STIKSTOF	37
9.3. STIKSTOFBEMESTING BIJ NAJAARSTEELTEN.....	37
9.4. STARTGIFTEN MET NP-MESTSTOFFEN	38
9.5. BASIS- EN DEELGIFTEN VAN FOSFAAT EN KALI	38
10. COMPLICATIES BIJ HET ONDERZOEK NAAR VLOEIBARE MESTSTOFFEN.....	39
10.1. PROEFOPZET	39
10.2. HOGE BODEMVRUCHTBAARHEID	40

10.3. HOOGTE VAN DE GIFTEN.....	40
11. MOGELIJKHEDEN VOOR EEN EFFICIËNTERE BEMESTING DOOR DE INZET VAN VLOEIBARE MESTSTOFFEN	41
12. TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN EN PERSPECTIEVEN VOOR ONDERZOEK NAAR VLOEIBARE MESTSTOFFEN.....	45
CONCLUSIES.....	47
REFERENTIES.....	50

Samenvatting

Momenteel staat het gebruik van vloeibare meststoffen volop in de belangstelling. De verwachting is dat door de betere plaatsing en dosering van vloeibare meststoffen aanzienlijk op de mineralengift kan worden bespaard ten opzichte van het gebruik van vaste meststoffen. Door het gebruik van vloeibare meststoffen zou gemakkelijker kunnen worden voldaan aan de milieueisen van de overheid zonder dat dit ten koste gaat van de opbrengst van het gewas.

In deze studie is, in opdracht van het HPA, nagegaan wat de toepassingsmogelijkheden zijn van vloeibare stikstof-, fosfaat- en kaliummeststoffen in de akkerbouw. Onder vloeibare meststoffen worden alle meststoffen verstaan die in vloeibare vorm worden toegediend, hierbij worden dus ook de oplosbare vaste meststoffen gerekend. De volgende vragen staan hierbij centraal: (i) onder welke omstandigheden en bij welke gewassen kunnen vloeibare meststoffen leiden tot hogere opbrengsten en/of besparingen op de mestgift; (ii) welke toedieningsmethoden van vloeibare meststoffen zijn perspectiefvol en (iii) hoe verhoudt de kosten van het gebruik van vloeibare meststoffen zich (globaal) tot die van vaste meststoffen.

Stikstofmeststoffen

Stikstof kan in vloeibare meststoffen in de vorm van ureum, ammoniak, ammonium, nitraat of combinaties van verschillende vormen voorkomen. Nitraat is het snelst beschikbaar voor de plant en ureum het langzaamst. Onder bepaalde omstandigheden kan een deel van de ureum-, ammoniak- en ammoniummeststoffen verdwijnen door ammoniakvervluchtiging. Nitraat heeft als nadeel dat het gemakkelijk uitspoelt of vervluchtigt na denitrificatie.

Ammoniak werd tot voorkort gebruikt bij de teelt van zetmeelaardappelen op de noordoostelijke zand- en dalgronden. Door injectie van ammoniak in de bodem vindt op deze gronden bijna geen vervluchtiging plaats. In natte jaren werkt ammoniak iets beter dan KAS (kalkammonsalpeter), omdat minder stikstof uitspoelt. In droge jaren is dit het geval omdat ammoniak dieper en daardoor in vochtiger grond wordt geplaatst. De gemiddelde meeropbrengst is ca. één ton per ha bij eenzelfde gift. Op kleigrond leidt het gebruik van de zware injectiemachines echter gemakkelijk tot structuurbederf. Uit het onderzoek wordt niet duidelijk of door het gebruik van ammoniak wordt bespaard op de stikstofgift. Ammoniakinjectie wordt alleen in loonwerk uitgevoerd, momenteel zijn de kosten f 10 à f 20 per ha hoger dan het breedwerpig bemesten met KAS. Het gebruik van ammoniak is niet meer toegestaan.

Urean (een oplossing van 15% ammoniumnitraat en 15% ureum) wordt voornamelijk in granen toegepast, maar kan ook in andere gewassen, zoals aardappelen, worden gebruikt. Urean wordt zowel als basisgift en bijbemesting door middel van een aangepaste veldspuit toegediend. Hierbij vervluchtigt gemiddeld genomen ca. 8% van de stikstof als ammoniak. Op basische gronden is de ammoniakvervluchtiging het hoogst, op kalkrijke jonge zeeklei moet het gebruik van urean dan ook worden afgeraden. Op andere gronden is urean wel goed toepasbaar, maar door het optreden van ammoniakvervluchtiging levert een basisgift van urean, alhoewel het nauwkeuriger kan worden toegediend dan KAS, in het algemeen geen besparing in de mestgift op. Injectie van de basisgift kan vervluchtiging van ammoniak tegengaan, echter de kosten van het gebruik van urean nemen hierdoor sterk toe. Bijbemesten met urean heeft als voordeel dat de gift gespreid kan worden gegeven. Daarnaast kan snel worden ingesprongen op de gewasbehoefte, daar een klein deel van de stikstof direct wordt opgenomen via het blad. Dit kan zeker bij droogte voordelen bieden op percelen waar niet wordt beregend. Wel kan bijbemesting gemakkelijk tot bladverbranding leiden. Dit beperkt de grootte van de gift. Aangezien urean sterk corrosief is, zijn er extra kosten verbonden aan de opslag en toediening hiervan. Urean is financieel alleen aantrekkelijk voor de grote graanbedrijven in het noorden van het land. Ureum kan in opgeloste vorm, analoog aan de toepassing van urean, als bijgift in de graan- en aardappelteelt worden toegediend. Hierbij speelt de problematiek van ammoniakvervluchtiging nog sterker dan bij urean. Vanuit milieukundig perspectief is het gebruik van ureum daardoor niet aantrekkelijk.

Bij de cultanmethode wordt éénmalig een zeer hoge concentratie van ammoniummeststoffen, meestal een combinatie van ammoniumsulfaat en ureum, in de grond geïnjecteerd. Doordat nitrificatie bij een hoge concentratie van ammonium slechts langzaam verloopt, komt de meststof regelmatig vrij dan bij het gebruik van KAS, hetgeen de kans op nitraatuitspoeling aanzienlijk verkleint. Een groot nadeel van de cultanmethode is dat de gift gedurende het groeiseizoen niet wordt bijgestuurd. De toepassingsmogelijkheden

van deze methode lijken dan ook het grootst op (mineraalarme) uitspoelingsgevoelige zandgronden. Bij akkerbouwgewassen zijn vooralsnog geen voordelen van de cultanmethode gevonden ten opzichte van breedwerpig bemesten met KAS volgens een stikstofbijmeststelsysteem (NBS). Bij najaarsteelten van groentegewassen, met name prei, wordt vaak wel een hogere opbrengst gevonden, daarnaast zijn er aanwijzingen dat de kwaliteit verbetert, omdat zich minder nitraat in het blad ophoopt. Ook kan bij een neerslagoverschot op de totale mestgift worden gekort. De kosten van beide methoden verschillen niet veel bij najaarsteelten; de hogere kosten van met name de toediening van de cultanmeststof wegen hierbij op tegen de hogere opbrengsten en lagere kosten van gewas- en bodembemonstering.

Fosfaatmeststoffen

Vloeibare fosfaatmeststoffen worden veelal in de vorm van ammoniumfosfaat toegediend. Binnen deze groep van meststoffen wordt onderscheid gemaakt tussen de 'gewone' orthofosfaten en polyfosfaten. Polyfosfaten bestaan uit lange fosfaatketens, die niet aan bodemdeeltjes worden geadsorbeerd. Vaak wordt verondersteld dat het fosfaat in polyfosfaten beter beschikbaar komt voor het gewas dan dat in orthofosfaten.

Het volledig overschakelen op vloeibare fosfaatmeststoffen is financieel niet aantrekkelijk, omdat ze duurder zijn dan vaste meststoffen. De basisgift kan dan ook beter met vaste meststoffen of door de aanvoer van dierlijke mest worden gegeven. Daarnaast heeft het momenteel door het gemiddeld genomen hoog Pw-getal van percelen vaak weinig zin om gedurende het groeiseizoen bij te bemesten met fosfaat. Op percelen met een laag Pw-getal wordt rijenbemesting met fosfaat wel toegepast, maar vooralsnog zijn er geen aanwijzingen dat vloeibare meststoffen hierbij beter werken dan vaste. In een koud en/of droog voorjaar kan een startgift met (vloeibare) NP-meststoffen bij slecht wortelende gewassen wel zinvol zijn. De toediening van ammoniumpolyfosfaat (APP) blijkt hierbij geen meerwaarde te hebben ten opzichte van de toediening van andere NP-meststoffen. Wel kan een vloeibare meststof geconcentreerder en uniformer worden toegediend dan vaste meststoffen.

Kalimestoffen

Net zoals bij fosfaat is het financieel niet aantrekkelijk de gehele kaligift vloeibaar toe te dienen. Daarnaast zijn alleen de duurder goed oplosbare kalimestoffen bij hogere concentraties nog mengbaar met andere meststoffen. Op uitspoelingsgevoelige zandgronden kan het zinvol zijn de kaligift te splitsen, daarbij valt overigens niet te verwachten dat vaste kalimestoffen slechter werken dan vloeibare. Nadeel van vloeibare kalimestoffen is dat ze erg duur zijn en in het algemeen alleen bij zeer lage concentraties over het gewas kunnen worden toegediend. Wel zijn vloeibare kalimestoffen goed toepasbaar bij fertigatie.

Combinatie van bemesting en beregening (fertigatie)

Bij fertigatie kunnen meststoffen in zeer kleine doseringen op ieder gewenst moment aan het irrigatiewater worden toegevoegd. Bij aardappelen wordt in de rug gefertigeerd door middel van slangen met druppelaars. Voor een optimaal rendement van dit systeem moet enerzijds de nutriëntenbehoefte van het gewas bekend zijn, anderzijds moet zo'n goed mogelijke inschatting gemaakt kunnen worden van de nog door de bodem te leveren nutriënten. Vooralsnog wordt de opbrengst en kwaliteit van aardappelen onvoldoende door fertigatie verhoogd om rendabel te zijn ten opzichte van breedwerpig bijbemesten met KAS volgens de bladsteeltjesmethode. Daarnaast valt ook de besparing op de mestgift tegen.

Conclusies

Er zijn vele toepassingen van vloeibare meststoffen, die niet zonder meer met elkaar of met vaste meststoffen vergeleken kunnen worden. Het gemeenschappelijke voordeel ten opzichte van vaste meststoffen is dat ze nauwkeuriger en beter gedoseerd kunnen worden toegediend. In principe moet dit leiden tot een uniformere groei en hogere opbrengsten en kwaliteit van gewassen en minder gebruik van meststof.

In normale jaren werken vloeibare meststoffen in akkerbouwgewassen niet beter dan vaste. In extreme jaren wordt hoogstens een opbrengstverhoging van ca. 5% gevonden, terwijl de besparingen op de mestgift onduidelijk zijn. Vaak zijn door breedwerpig bemesten volgens een bijmeststelsysteem of door rijenbemesting met vaste meststoffen dezelfde besparingen in mestgift te behalen. Bij gebruik van urean wordt zelfs eerder meer dan minder meststof gebruikt. De geringe verschillen tussen het gebruik van vloeibare en vaste meststoffen zijn mede het gevolg van de hoge bodemvruchtbaarheid, waarbij vaak ongeacht de gebruikte mest

stof toch al maximale opbrengsten worden verkregen. Daarnaast zijn de tot nu toe ontwikkelde bijmestsystemen nog onvoldoende nauwkeurig om hierbij een meerwaarde te kunnen verkrijgen van kleine doseringen goed geplaatste vloeibare meststoffen. Met vloeibare meststoffen kan de gift dan ook nauwkeuriger worden gestuurd dan dat de behoefte kan worden ingeschat. Bij een verdere aanscherping van de milieuregels is het verder optimaliseren van bijmestsystemen en rijenbemesting zinvol. Hierbij kan mogelijk een hoger rendement uit vloeibare meststoffen worden behaald.

1. Inleiding

Als voordelen van vloeibare ten opzichte van vaste meststoffen worden vaak de zuiverheid, de hanteerbaarheid en de gemakkelijke en nauwkeurige toediening genoemd. Ook komen vloeibare meststoffen iets sneller voor het gewas beschikbaar. Daarnaast is het mogelijk vloeibare meststoffen in combinatie met sporenelementen en gewasbeschermingsmiddelen toe te dienen en eventueel aan irrigatiewater toe te voegen. Verder kunnen vloeibare meststoffen in hoge concentraties in de grond worden geïnjecteerd, en gemakkelijk in elk gewenste NPK-verhouding gemengd. Bovendien zijn vloeibare stikstofmeststoffen veelal goedkoper dan vaste meststoffen, omdat bij de productie van vaste meststoffen eerst de meststof moet worden ingedampt en tot korrels gemaakt. Ondanks deze voordelen van vloeibare meststoffen heeft het gebruik in Nederland geen hoge vlucht genomen. Minder dan 0,6% van de totale hoeveelheid kunstmest wordt in vloeibare vorm gegeven (Kasper e.a., 1999).

Wel is er in de 60- en 70-jaren veel onderzoek verricht naar de werking van vloeibare meststoffen. Ook werd er door de praktijk veel geëxperimenteerd. In het algemeen werden geen hogere opbrengsten verkregen dan bij het gebruik van vaste meststoffen. Bovendien waren kunstmeststoffen goedkoop en derhalve was er economisch gezien geen noodzaak hier zuiniger mee om te gaan. Ook vanuit de maatschappij was er geen druk om efficiënter met meststoffen om te gaan. Daarnaast werd vanuit de kunstmestindustrie het gebruik van vloeibare meststoffen niet gepropageerd; om de logistiek, opslag en distributie aan te passen zouden grote investeringen moeten worden gedaan (Kasper e.a. 1999). In situaties waar vloeibare meststoffen toentertijd wel perspectiefvol bleken te zijn, worden ze nu nog of tot voorkort toegepast. Voorbeelden zijn: de toepassing van ammoniak voor de aardappelteelt in de Veenkoloniën (niet meer toegestaan) en het gebruik van urean in de Groningse graangebieden.

Momenteel staan vloeibare meststoffen volop in de belangstelling. Dit hangt nauw samen met het landbouwkundig streven naar een betere afstemming van de meststofgift op de behoefte van het gewas. Daarnaast is het overheidsbeleid steeds meer gericht op het terugdringen van mineralenoverschotten, waardoor akkerbouwers steeds meer worden gedwongen om op het scherp van de snede te bemesten. De verwachting is dat bij vergelijkbare opbrengsten door de betere plaatsing en veelal grotere spreiding van doseringen van vloeibare vergeleken met vaste meststoffen kan worden bespaard op de kunstmestgift. Dit zou met name van belang kunnen zijn voor de uitspoelingsgevoelige zandgronden, waarvoor strengere Minasverliesnormen gelden. Daarnaast kan met vloeibare meststoffen nauwkeuriger langs perceelsranden worden bemest.

Tabel 1. **Factoren die een rol spelen bij de keuze van een stikstofmeststof.**

Meststof	N gehalte vorm van N: NO ₃ , NH ₄ , ureum basenequivalent enkelvoudig of samengesteld snel of langzaam werkend vast, oplossing, gas prijs per kg N
Bodem	vochthoudend vermogen: uitspoeling, denitrificatie, N-fixatie pH: nitrificatie CEC: NH ₄ adsorptie, NH ₃ -vervluchtiging
Gewas	groeiduur en -wijze behoefte aan (overige) nutriënten oogstproduct
Bedrijf	economisch rendement gewas kans op overschrijding Minasnormen grootte van het bedrijf en arbeidsverdeling benodigde investeringen in opslag- en toedieningscapaciteit combinatie met irrigatie en/of gewasbeschermingsmiddelen aanwezigheid van organische mest

Aangepast naar collegedictaat Nutrienten in bodem-plant relaties (1995). Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, LUW.

Naast de eventuele hogere efficiëntie van vloeibare meststoffen wordt vaak geclaimd dat deze beter werken, dat wil zeggen dat met vloeibare meststoffen hogere opbrengsten worden verkregen dan met vaste meststoffen. Dit zou met name het geval zijn bij de toediening van fosfaatmeststoffen als startgift, waarbij zowel de plaatsing als de samenstelling van de meststof een rol kan spelen.

De vraag blijft echter hoe de verwachte voordelen van vloeibare meststoffen, dat wil zeggen hogere opbrengsten en eventueel lagere Minasoverschotten, zich verhouden ten opzichte van de investeringen in opslag en toedieningsapparatuur. Daarbij kunnen ook andere facetten in de bedrijfsvoering een rol spelen (tabel 1). De keuze voor vloeibare of vaste meststof zal daarom niet zondermeer te maken zijn.

Opbouw van deze studie

In deze studie is, in opdracht van het HPA, ingegaan op de toepassingsmogelijkheden van vloeibare stikstof, fosfaat- en kaliummeststoffen. Inbegrepen zijn ook de vaste meststoffen die in opgeloste vorm kunnen worden toegediend. Alleen indien relevant voor de toepassing van deze macronutriënten zal het gecombineerde gebruik met sporenelementen worden besproken. Er is geen specifieke aandacht besteed aan de toepassingen van nitrificatieremmers.

De volgende vragen staan centraal: (i) onder welke omstandigheden en bij welke gewassen kunnen vloeibare meststoffen leiden tot hogere opbrengsten en/of besparingen op de mestgift; (ii) welke toedieningsmethode van vloeibare meststoffen lijkt de beste perspectieven te leveren en (iii) hoe verhouden de kosten van het gebruik van vloeibare meststoffen zich globaal tot die van vaste meststoffen. Naast akkerbouwgewassen is ter vergelijking een aantal groentegewassen in deze studie meegenomen.

In Hfst. 2 wordt ingegaan op verschillen in de samenstelling van meststoffen en de relatie tussen de meststofvorm en de beschikbaarheid voor het gewas. In Hfst. 3 t/m 7 worden de verschillende toepassingen van vloeibare meststoffen behandeld. De gecombineerde toediening van de watergift en bemesting (fertilisatie) wordt in Hfst. 8 besproken. In deze hoofdstukken wordt ingegaan op de vraag in hoeverre de verschillende toepassingen van vloeibare meststoffen landbouw- en milieukundige voordelen bieden ten opzichte van die van vaste meststoffen. Zoveel mogelijk worden de kosten van verschillende toepassingen met elkaar vergeleken, voor sommige toepassingen is dit slechts indicatief omdat ze in praktijk (nog) niet grootschalig worden toegepast. In hfst. 9 wordt de verschillende bemestingssystemen met elkaar vergeleken. In hfst. 10 wordt ingegaan op complicaties bij het onderzoek naar vloeibare meststoffen. Tot slot worden in hfst. 11 en 12 de perspectieven van vloeibare meststoffen besproken.

2. Samenstelling en werking van vloeibare meststoffen

2.1. Stikstofmeststoffen

In Nederland zijn ammoniak, ureum en urean de meest gangbare vloeibaar toegediende N-meststoffen (tabel 2). Urean is een samengestelde meststof van ammoniumnitraat en ureum. Zwavelzure ammoniak wordt in Nederland eigenlijk niet meer gebruikt. Wel wordt bij de cultanmethode (Hfst. 5) veelvuldig gebruik gemaakt van een combinatie van zwavelzure ammoniak en ureum. In binnen- en buitenland wordt ook ammoniumnitraat als vloeibare meststof bij fertigatie (Hfst. 8) gebruikt.

De stikstofmeststoffen verschillen niet alleen in samenstelling, maar worden vaak op verschillende manieren en plaatsen toegediend, hetgeen grote invloed heeft op de beschikbaarheid voor het gewas.

Tabel 2. **De belangrijkste vloeibaar toe te dienen stikstofmeststoffen. Ter vergelijking is ook de samenstelling van KAS gegeven.**

naam	basen equivalent	% N	vorm
VAST			
kalkammonsalpeter	-15	26	NH ₄ NO ₃ en 25% CaCO ₃
VAST MAAR VLOEIBAAR TOE TE DIENEN			
ureum	-46	46	46% CO(NH ₂) ₂
kalksalpeter	neutraal	15.5	Ca(NO ₃) ₂ ; 14,3% NO ₃ -N en 1,2% NH ₄ -N
VLOEIBAAR OF VLOEIBAAR LEVERBAAR			
ammoniumnitraat		34	17% NH ₄ + 17% NO ₃
urean	-30	30	7.5% NH ₄ + 7.5% NO ₃ + 15% CO(NH ₂) ₂
ammoniak	-93	82	82% NH ₃
zwavelzure ammoniak	-63	21	21% (NH ₄) ₂ SO ₄
chilisalpeter		15	NaNO ₃
magnesiumnitraat		10	Mg(NO ₃) ₂
salpeterzuur		38	HNO ₃

Gegevens uit Handboek Meststoffen (2000).

2.1.1. Ammonium en nitraat

Ammonium [NH₄⁺] wordt gemakkelijk gebonden door organische stof en kleideeltjes. Voordelen van ammoniummeststoffen zijn dan ook de geleidelijk werking en geringe uitspoelingsverliezen. Wel kan op kalkrijke gronden een deel van de stikstof in ammonium als ammoniak vervluchtigen [NH₄⁺ + OH⁻ → NH₃↑ + H₂O of 2NH₄⁺ + CaCO₃ → Ca²⁺ + CO₂ + H₂O + NH₃↑]. Ammoniakvervluchtiging neemt toe met toenemende pH en temperatuur.

De snelheid van omzetting van ammonium in nitraat [NO₃⁻] (nitrificatie) [NH₄⁺ + 2O₂ → NO₃⁻ + 2H⁺ + H₂O] wordt ook bepaald door de pH, daarnaast zijn de zuurstof- en vochtvoorziening van belang. Uit bovenstaande reactievergelijking volgt dat ammoniummeststoffen een sterk verzurende werking hebben. Overigens vindt in een sterk zuur milieu geen nitrificatie plaats. Nitrificatie treedt verder niet op onder zeer natte omstandigheden, vanwege zuurstofgebrek en bij weinig vocht, ten gevolge van een geringe microbiologische activiteit. Daarnaast vindt bij een temperatuur lager dan 5°C geen nitrificatie plaats. In de zomer wordt ammoniummeststof vaak in enkele dagen in nitraat omgezet. Om de omzetting naar nitraat af te remmen wordt vaak aan ammoniumhoudende meststoffen een nitrificatieremmer toegevoegd.

Nitraat wordt niet aan bodemdeeltjes gebonden en komt daardoor sneller ter beschikking van het gewas dan ammoniummeststoffen. Een groot nadeel van nitraatmeststoffen is dat ze veel gemakkelijker uitspoelen dan ammoniummeststoffen. Onder zeer natte, zuurstofloze omstandigheden kan nitraat worden gereduceerd tot gasvormige stikstofverbindingen (denitrificatie), die vervolgens vervluchtigen. De voordelen van nitraatmeststoffen komen het duidelijkst tot uiting op droge kalkrijke bodems.

De opname van ammonium door het gewas wordt bij lage bodemtemperaturen (< 12 °C) minder geremd dan dat van nitraat.

2.1.2. Ammoniak

Ammoniakgas [NH₃] kan onder druk vloeibaar worden gemaakt en zo in hogedruktanks worden opgeslagen en getransporteerd. Ammoniak moet op een diepte van ca. 15 cm worden geïnjecteerd om vervluchting te voorkomen. Doordat ammoniak in de bodemoplossing oplost, stijgt de pH aanvankelijk [NH₃ + H₂O → NH₄⁺ + OH⁻], uiteindelijk zal de pH dalen door nitrificatie van ammonium. Netto is de verzuring van de bodem dus lager dan bij bemesting met ammonium.

2.1.3. Ureum

Ureum [CO(NH₂)₂] is ten opzichte van nitraatmeststoffen een langzaam werkende stikstofmeststof. Als ureum in de grond komt, wordt het eerst door het enzym urease gehydrolyseerd tot ammonium [CO(NH₂)₂ + 2H₂O → 2NH₄⁺ + CO₃²⁻ → 2NH₃ + CO₂ + H₂O]. De hydrolysesnelheid van ureum is afhankelijk van de bodemtemperatuur. In een koud voorjaar verloopt de hydrolyse minder vlot en bestaat de kans dat ureum uitspoelt. Als ureum niet in de grond wordt ingewerkt, kan het door vervluchting verloren gaan (zie ook tabel 3). Deze ammoniakvervluchting is het grootst in droge, kalkhoudende gronden. Normaliter wordt het gevormde ammoniak omgezet tot nitraat. Ureum wordt ook als oplossing over het gewas gespoten. De bladeren nemen het snel op, waarbij ureum in de bladeren door het enzym urease wordt omgezet in ammonium (Harper, 1984).

Tabel 3. **Ammoniakverliezen uit kunstmest in de gematigde gebieden (Bouwman e.a., 1997; Asman, 1992). N.B. bij lage pH kunnen de verliezen lager zijn; op kalkrijke bodems veel hoger.**

meststof	NH ₃ verliezen als percentage van het N-gehalte
kalkammonsalpeter	2
ureum	15
ammoniumsulfaat	8
ammoniak	4
ammoniumnitraat	2
monoammoniumfosfaat	2
diammoniumfosfaat	5

2.2. Fosfaatmeststoffen

Tabel 4. **De belangrijkste vloeibaar toe te dienen fosfaatmeststoffen. Ter vergelijking zijn de belangrijkste vaste meststoffen vermeld.**

naam	basen-equivalent	% P ₂ O ₅	vorm	nevenbestanddeel
VAST				
superfosfaat	neutraal	16-22	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	50% CaSO ₄
tripelsuperfosfaat	neutraal	43-48	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	
gewone NP-meststoffen		7-34	diverse samenstellingen	23 – 26% N
VAST EN VLOEIBAAR TE GEBRUIKEN				
diammoniumfosfaat (DAP)	-38	46	(NH ₄) ₂ HPO ₄	18 % N
monoammoniumfosfaat (MAP) *	-34	16	NH ₄ H ₂ PO ₄	3 % N
VLOEIBAAR				
ammoniumpolyfosfaat (APP)	-23	34	ortho- en polyfosfaten	10% N + diverse sporenelementen
fosforzuur		52	H ₃ PO ₄	

* wordt zowel in korrelvorm als vloeibaar op de markt gebracht. Hier zijn de gehalten in de vloeibare meststof gegeven. Gegevens uit Handboek Meststoffen

2.2.1. Orthofosfaten

De ammoniumfosfaten (NP-meststoffen) zijn beter in water oplosbaar dan superfosfaat en tripelsuperfosfaat. Nitrificatie van ammonium in de NP-meststoffen werkt verzurend, hetgeen deels de vastlegging van fosfaat als CaHPO₄ op neutrale gronden voorkomt. Hierdoor blijft het fosfaat beter beschikbaar voor het gewas. Op gronden met een hogere pH kan ammoniakvervluchting optreden.

2.2.2. Polyfosfaten

Ammoniumpolyfosfaten (APP) lossen beter op in water dan orthofosfaten, waardoor de vloeibare meststof tweekeer zo geconcentreerd is. Verder verschilt APP van andere NP-meststoffen door de vorm waarin fosfaat voorkomt: APP bestaat voor ca. 40% uit orthofosfaat (de normale fosfaatvorm) en ca. 60% polyfosfaat. Bij polyfosfaten zijn de fosfaatmoleculen door verhitting en indamping aaneengeregen tot ketens. In APP kunnen verschillende vormen van polyfosfaten voorkomen, zoals ammoniumpyrofosfaat, -tripolyfosfaat en -tetrapolyfosfaat. In de grond breken polyfosfaten door hydrolyse langzaam af tot orthofosfaten. De hydrolysesnelheid is afhankelijk van de lengte van de polyfosfaatketens. Ook hebben de bodemstructuur, pH, temperatuur en hoeveelheid organische stof invloed op de hydrolysesnelheid (Dick en Tabatabai, 1987). APP zou met name gunstig werken als het voorjaar lang koud blijft, bij een warm en vochtig voorjaar breekt APP binnen 14 dagen af. Onder Nederlandse omstandigheden wordt er vanuit gegaan dat binnen 100 dagen alle polyfosfaat is afgebroken.

Aangezien polyfosfaten in tegenstelling tot orthofosfaat niet in de grond worden vastgelegd zou het fosfaat beter beschikbaar zijn voor de plant en daarnaast zou ook de benutting van de fosfaatgift hoger zijn. Uit buitenlands onderzoek blijkt echter dat op bodems met zeer lage bodemvruchtbaarheid eerder het omgekeerde het geval is, terwijl op bodems met hoge bodemvruchtbaarheid vaak geen verschil wordt gevonden (Sutton en Larsen, 1964; Englestad en Allen, 1971). Het is daarom de vraag in hoeverre polyfosfaat een goede meststof op fosfaatfixerende gronden is.

In de structuur van polyfosfaten kunnen sporenelementen worden gebonden, die daardoor direct opneembaar zouden zijn voor het gewas. Daarmee zouden polyfosfaten de beschikbaarheid van de in de bodem vastgelegde sporenelementen kunnen verhogen. Omdat wordt verondersteld dat bij toenemende fosfaattoestand van de bodem de beschikbaarheid van sporenelementen afneemt, zou genoemde nevenwerking onder Nederlandse omstandigheden aan de orde kunnen zijn. Uit de buitenlandse literatuur komt echter niet naar voren dat APP hierdoor beter zou werken dan andere NP-meststoffen (zie Vengopalan en Rajendra Prasad, 1994). Ook in Nederlands onderzoek wordt op fosfaatrijke gronden deze veronderstelde nevenwerking niet bewezen.

2.3. Kalimeststoffen

Alle kalimeststoffen zijn goed oplosbaar in water en kunnen daarom als vloeibare meststof worden gebruikt. Alle kalimeststoffen hebben een basenequivalent van 0.

Tabel 5. De belangrijkste vloeibaar toe te dienen kalimeststoffen.

naam	% K ₂ O	kaliumvorm	nevenbestanddeel
VAST			
kali-40	40	KCl	NaCl 48% Cl
kali-60	60	KCl	NaCl 48% Cl
zwavelzure kali	50	K ₂ SO ₄	< 3% Cl
patentkali	30	K ₂ SO ₄	MgSO ₄ <3% Cl
kalisalpeter	46	KNO ₃	14% N
VLOEIBAAR			
kaliloog	42	KOH	

Gegevens afkomstig uit Handboek Meststoffen

Chloorarme zijn duurder dan chloorhoudende meststoffen. Bij een aantal gewassen, waaronder aardappels, wordt ervan uitgegaan dat chloor een sterk negatief effect op de opbrengst heeft. Bij voorkeur worden chloorhoudende meststoffen daarom in het najaar toegediend, het chloor spoelt dan gedurende de winter uit. Echter uit het proefschrift van A. Veerman (2001) blijkt de kans op opbrengstderving door een chloorgift in de praktijk te zwaar te worden ingeschat. Als fertigatiemeststof (§8) is het gebruik van chloorhoudende kalimeststoffen alleen bij geringe concentraties mogelijk.

2.4. Combinaties van meststoffen

Op zich zijn allerlei combinaties van meststoffen mogelijk (zie hiervoor Handboek Meststoffen). Hierbij is het van belang dat het mengen van meststoffen niet tot een neerslag leidt. Een neerslag van APP en kalksalpeter kan worden voorkomen door de oplossing aan te zuren met salpeterzuur. APP wordt ook wel gecombineerd met urean toegediend, hierbij moet worden opgelet dat er geen gewasverbranding optreedt. Verder is APP goed mengbaar met andere stikstofmeststoffen. Bij fertigatie (§8) worden verschillende combinaties van stikstof, fosfaat en kalimeststoffen gebruikt. Bij samenstellingen met kali moet worden gelet dat er geen kristallisatie optreedt. Hiertoe moet de vloeistof vaak in sterke mate met water worden verdund.

3. Injectie van ammoniak (niet meer toegestaan)

3.1. Reactie van gewassen

Het meeste onderzoek naar het gebruik van ammoniak heeft in de 60-er en 70-er jaren plaatsgevonden. In deze periode is zowel onderzoek uitgevoerd naar het tijdstip van toediening als de werking ten opzichte van KAS. Ammoniak (82% N) wordt op een diepte van 20 cm in de grond geïnjecteerd, waarna de grond wordt aangedrukt. Resultaten van een groot aantal proeven laten zien dat ammoniak niet eerder dan een maand vóór de te verwachten zaai- of pootdatum moet worden geïnjecteerd. Wel geeft najaarstoediening van ammoniak in koude en droge winters hogere opbrengsten dan KAS, in natte warmere winters is het tegengestelde het geval. In het laatste geval verdwijnt veel ammoniak na omzetting in nitraat door uitspoeling. Wel kan ammoniakinjectie, door een grote afstand tussen de tanden, tot ongelijkmatige groei van het gewas leiden (Dilz en van Brakel, 1986).

Bij zomergranen geeft ammoniak vaak een gelijk of beter resultaat dan KAS. Bij wintergranen komt injectie in het najaar niet in aanmerking. In het voorjaar injecteren van ammoniak kan tot gewasbeschadiging leiden (zie ook tabel 6). In het algemeen werkt ammoniak op lichte gronden net zo goed als KAS, op verslechte zwavelgrond is de opbrengst met ammoniak vaak lager (van Burg e.a., 1966ab).

Bij zetmeelaardappelen wordt gemiddeld genomen één ton per ha hogere opbrengst verkregen dan met KAS. In natte jaren zou de betere werking van ammoniak te danken zijn aan minder uitspoeling, in droge jaren zou dit effect toegeschreven kunnen worden aan het dieper plaatsen (injecteren) van de meststof. Wel komt bij een koud voorjaar stikstof iets minder snel beschikbaar dan bij KAS (van Burg en Schepers, 1972).

Bij suikerbieten is maar een gering aantal proeven uitgevoerd. In het algemeen was de werking van ammoniak niet slechter dan van KAS (van Burg e.a., 1982).

Tabel 6. **Het effect van het in het voorjaar geïnjecteerde NH₃ op de opbrengst van verschillende gewassen, als percentage van de opbrengst van vaste meststoffen. Tussen haakjes is het aantal proefvelden vermeld. Het injecteren in het najaar had gemiddeld genomen een veel slechter resultaat dan het gebruik van vaste meststoffen in het voorjaar. Uit Van Burg (1970).**

Land	wintergranen	zomergranen	aardappelen	suiker- en voederbieten
Engeland	92 (4)	102 (27)	99 (17)	98 (17)
Denemarken	97 (82)	102 (183)	99 (35)	101 (84)
Duitsland	101 (3)	102 (10)	99 (21)	102 (27)
Frankrijk	105 (7)		107 (6)	101 (31)
Nederland ¹	84-103 (2)	103 (22)	103 (30)	101 (5)
Noorwegen		99 (8)	101 (5)	
Zweden		102 (57)		98 (19)
gemiddeld		102 (307)	100 (14)	100 (183)

¹ Bij wintergranen raakt het gewas beschadigd door injectie. Opbrengstderiving treedt vooral op bij een holle stand.

3.2. Perspectieven van ammoniak

Landbouw- en milieukundige aspecten

Ammoniakinjectie wordt in Nederland vanaf de 60-er jaren in praktijk gebracht, momenteel wordt ammoniak alleen nog gebruikt bij de teelt van zetmeelaardappelen op de noordoostelijke zand- en dalgronden. Op deze gronden is de vervluchtiging van ammoniak nihil. Op kleigrond is het gebruik van ammoniak af te raden; de zware injectiemachines leiden gemakkelijk tot structuurbederf. Uit het onderzoek wordt niet duidelijk of door het gebruik van ammoniak kan worden bespaard op de stikstofgift (van Burg en Schepers, 1972).

Kosten

Ammoniak is per kg N goedkoper dan KAS, maar de transport-, opslag- en toedieningskosten zijn veel ho

ger. Door de hoge kosten van opslag en toediening vindt ammoniakbemesting alleen in loonwerk plaats. De laatste jaren neemt het gebruik van ammoniak in Nederland af. Dit heeft voornamelijk te maken met het toenemende gebruik van dierlijke mest. Verder zijn de prijzen van ammoniak sterk afhankelijk van de koers van de dollar. Tot voorkort was het gebruik van ammoniak 10 à 20 gulden per ha duurder dan van KAS (mond. med. A. Verschoor, ACM Meppel). Momenteel is het gebruik van ammoniak niet meer toegestaan.

4. Volveldstoepassingen van urean en ureum

Onderzoek naar het toedienen van urean (30% N: 15% ammoniumnitraat en 15% ureum) en ureum (46% N) heeft net zoals bij ammoniak vooral in de 60- en 70-jaren plaatsgevonden in Nederland. In die tijd is voornamelijk onderzoek gedaan naar een ongedeelde meststofgift bij granen en aardappelen. Momenteel wordt in de Duitse vakbladen veel aandacht besteed aan de mogelijkheden om urean te combineren met gewasbeschermingsmiddelen. Resultaten hiervan zijn echter voornamelijk gebaseerd op praktijkervaring en zijn niet of nauwelijks door onderzoek onderbouwd. In Duitsland en Frankrijk wordt urean vooral op grote graanbedrijven veel toegepast. Daarnaast wordt urean in Duitsland ook in suikerbieten en koolzaad gebruikt. Ook in Nederland wordt urean vooral in granen gebruikt, toepassingen in andere gewassen vindt maar mondjesmaat plaats.

4.1. Urean

4.1.1. Reactie van gewassen bij ongedeelde gift

Op zand-, dal- en oudere kleigronden heeft urean in wintertarwe gemiddeld genomen dezelfde werking als KAS (tabel 7). In extreem natte jaren werkt urean op deze gronden wel beter, vanwege uitspoeling van nitraat uit KAS. Op jonge kalkrijke kleigronden is de werkingsfactor ten opzichte van kalksalpeter veel lager ca. 0,83. Als oorzaak wordt ammoniakvervluchtiging uit de ureumcomponent van urean genoemd (Dilz e.a., 1973).

Bij aardappelen blijkt op kalkrijke gronden de werkingsfactor van urean lager dan van KAS, ca. 90%. Op kalkarme kleigronden is de werking nagenoeg gelijk aan KAS. Wanneer urean niet in de grond wordt gewerkt, is in het algemeen een hogere gift van urean dan KAS benodigd. Daarnaast blijkt in een aantal gevallen dat met urean niet dezelfde maximale opbrengst kan worden verkregen (van Burg e.a., 1982).

Bij suikerbieten verschillen de opbrengsten op zand- en dalgrond niet, op kleigronden zijn de opbrengsten bij het gebruik van urean vaak lager dan die bij het gebruik van KAS. Ook moet rekening worden gehouden met het feit dat suikerbieten erg gevoelig zijn voor pH verlaging door urean. Overigens kan pH verlaging met extra kalkbemesting worden tegengegaan.

Ook uit Europees onderzoek blijkt dat met urean gemiddeld genomen een lagere maximale opbrengst wordt verkregen dan met KAS (van Burg e.a., 1982).

Tabel 7. **Werkingsfactor van urean bij verschillende gewassen op diverse grondsoorten ten opzichte van kas (kalkammonsalpeter) en ks (kalksalpeter). Uit van Burg e.a. (1982).**

Grondsoort	Granen	Aardappelen	Suikerbieten
zand, dalgrond	1,00 (kas)	ca. 0,98 - 1,02 (kas)	1,00 (kas)
oudere kleigronden	1,00 (kas)	ca. 0,93 - 1,03 (kas)	0,67 - 0,99 (kas)
kalkrijke jonge zeeklei	0,83 (ks)	ca. 0,93 - 1,03 (kas)	0,67 - 0,99 (kas)

4.1.2. Reactie van gewassen bij gedeelde gift

In zowel granen als aardappels wordt urean gebruikt als bijbemesting. Urean en ook ureum hebben als voordeel dat ze deels via het blad worden opgenomen, waardoor gebrekverschijnselen snel kunnen worden opgeheven. Wel kan het gebruik van beide tot bladverbranding leiden. Bij voorkeur moeten ze dan ook op een goed afgehard gewas, na een periode van zonnig weer, worden toegediend. Bij regenachtig weer verdwijnt de beschermende waslaag van het blad en treedt snel verbranding op.

Granen

Tegenwoordig wordt geadviseerd de stikstofgift bij wintergranen te delen. De eerste gift wordt vroeg in het voorjaar gegeven en is gebaseerd op de N-min van de bodem. Het tijdstip van de tweede en eventueel derde gift is afhankelijk van het groeistadium. Uit Duits onderzoek komt naar voren dat urean in het voorjaar onverdund op granen kan worden gespoten en daarnaast goed kan worden gemengd met herbiciden. Hierbij wordt uitgegaan van een besparing van 10 tot 20% in herbicidengebruik (Langbehn en Schmidtke,

1992). Bij gecombineerd gebruik hechten herbiciden zich beter aan het blad, verder veroorzaakt urean bladverbranding in onkruiden (Engel, e.a. 1992). Ook zou minder middel nodig zijn bij de bestrijding van meeldauw. Bij het ouder worden van het gewas, kan het gebruik van een hoge dosis urean gemakkelijk tot bladverbranding leiden, een tweede gift moet daarom in een verhouding van 1: 3 tot 1: 5 worden verdund. Dit komt neer op een gift van slechts 10 tot 20 kg N per ha per keer. Uit praktijkervaringen blijkt dat niet alle gewasbeschermingsmiddelen met urean kunnen worden gemengd (Weinand, 1994; Wolber, 2000). In het algemeen zijn herbiciden beter mengbaar dan insecticiden en fungiciden. Bij de derde gift (dus bij het in de aar komen) wordt geadviseerd insecticiden en fungiciden helemaal niet te mengen met urean of ten hoogstens met een gift van 5 kg N/ha. Teneinde verbranding van het gewas te voorkomen wordt vaak de derde gift met sleepslangetjes of met vaste meststoffen toegediend. Bij het gebruik hiervan kan urean niet meer via het blad worden opgenomen, hierdoor neemt de kans op ammoniakvervluchtiging toe (Weinand, 1994). Ook kan deze gift dus niet worden gecombineerd met gewasbeschermingsmiddelen, die via het blad worden opgenomen.

In Nederland is door het PAV (Timmer, 1997) onderzoek verricht naar de gecombineerde werking van gewasbeschermingsmiddelen en urean in wintertarwe op klei. De eerste gift van 100 kg N (256 liter/ha) werd gecombineerd met een herbicide (isoproturon). Het gebruik van alleen urean noch in combinatie met isoproturon leverde verschil op met het gebruik van KAS. Het grootste voordeel van gecombineerd gebruik was dat een werkgang kon worden bespaard. Ook de tweede stikstofgift viel goed te combineren met het gebruik van een herbicide, wel moest, conform de resultaten in Duitsland, urean met het ouder worden van het gewas steeds meer verdund worden toegediend om gewasverbranding te voorkomen. Ook bleek dat hoeveelheden van 15 tot 20 kg N/ha niet tot bladverbranding leidden. Wel leidde de derde gift in combinatie met een fungicide tot ernstige bladverbranding. Ook Timmer concludeerde dat het combineren van urean met een fungicide moet worden afgeraden. Wanneer beide apart worden gespoten kan de gewasschade beperkt blijven.

Koolzaad

In koolzaad wordt urean, om bladverbranding te voorkomen, vaak middels sleepslangetjes toegediend (Engel e.a., 1992).

Aardappelen

Uit onderzoek door van Loon (1996, 1998) komt naar voren dat op (uitspoelings- en droogtegevoelige) zandgrond bijbemesting met urean tot een lichte (niet-significante) opbrengstverhoging van ca. 3% kan leiden ten opzichte van bijbemesting met KAS. Op zandgronden spoelt bij veel neerslag de nitraatfractie van KAS eerder uit, terwijl bij droogte, bij afwezigheid van beregeningsmogelijkheden, de mestkorrels niet oplossen. Daarentegen wordt op kleigrond, vanwege ammoniakvervluchtiging, eerder een licht negatief effect bereikt (niet-significante opbrengstvermindering van 3%).

Bij het verspuiten van urean wordt ervan uitgegaan dat een deel via het blad wordt opgenomen. Goed afgeharde consumptieaardappelen kunnen met 15-20 kg N per keer worden gespoten, desgewenst in combinatie met een Phytophthora-bespuiting. In perioden van sterke groei zou dit eventueel tweekeer per week moeten gebeuren (C. van Loon, mond. med.). Bij pootaardappelen wordt aangeraden niet meer dan 10 kg N/ha per keer te geven. Dit omdat zeer lichte bladverbranding de selectie kan hinderen. Urean kan dus in zeer lage doseringen worden toegediend. In de huidige stikstofbijmestsystemen worden echter veel hogere giften (> 30 kg N/ha) geadviseerd, die ook in vaste vorm toegediend kunnen worden (zie ook Hfst 11). Wellicht zijn in de toekomst wel besparingen op de stikstofgift mogelijk indien de gift beter kan worden afgestemd op de behoefte van aardappelen (C. van Loon, mond. med.).

4.1.3. Perspectieven van urean

Landbouwkundige aspecten

Het toedienen van een basisgift met urean lijkt geen meerwaarde te hebben ten opzichte van KAS. De opbrengst lijkt eerder lager dan hoger te zijn, terwijl er gemiddeld genomen eerder meer dan minder meststof wordt gebruikt.

Bijbemesten met urean heeft als belangrijk voordeel dat lage doseringen nauwkeuriger kunnen worden toegediend dan die van KAS. Met KAS kunnen giften tot ca. 20 - 30 kg N (80 - 100 kg KAS) nog nauwkeurig (dat wil zeggen niet minder nauwkeurig dan bij hogere giften) worden toegediend met een kunstmeststrooier (van der Mheen, 2000). Urean kan met een veldspuit of een precisiebemester tot zeer lage verdun

ningen (ca. 7 kg N/ha) nauwkeurig worden toegediend (Kasper e.a., 1999). Ook zal langs perceelsranden met KAS, gebruikmakend van een kantstrooier, minder nauwkeurig kunnen worden bemest dan met vloeibare meststoffen. Door het PR zijn voor grasland de opbrengstverliezen door onnauwkeurig bemesten met vaste meststoffen vergeleken met die van urean. Hieruit blijkt dat de opbrengstverliezen ook bij zo nauwkeurig mogelijk bemesten met KAS ongeveer 2,5% zijn. Langs perceelsranden kan een opbrengstderving door onderbemesting met KAS van ca. 360 kg drogestof per km perceelsrand plaatsvinden (van der Mheen, 2000). Overigens kan ook bij urean onnauwkeurig worden bemest indien de stroken niet goed op elkaar aansluiten (dubbele of helemaal geen giften), bovendien kunnen de sproeiers verstopt raken. Een ander nadeel van urean is dat het sterk verzurend werkt (zie tabel 2), daarom is vaak een extra kalkbemesting noodzakelijk.

Een nevenvoordeel van urean zou zijn dat het de werking van herbiciden of fungiciden versterkt, waardoor minder middel nodig is. Echter, als deze versterkende werking te danken is aan een verbrandend effect van urean op onkruiden, die hierdoor gevoeliger worden voor herbiciden, kan worden afgevraagd in hoeverre dit ook geen nadelig effect heeft op de groei van het gewas zelf. Bij gecombineerd gebruik moet tevens rekening worden gehouden met het feit dat niet alle samenstellingen mogelijk zijn. Daarbij spelen ook nog eens de weersomstandigheden en het groeistadium van het gewas een belangrijke rol. Daarnaast worden meststoffen vaak met een zo grof mogelijke druppel onder lage druk toegediend, terwijl veel gewasbeschermingsmiddelen juist met een fijne druppel onder hoge druk worden verspoten. Wel levert de combinatie van bemesting en gewasbescherming arbeidsbesparing op. Een groot voordeel van urean als bijbemesting is dat het sneller beschikbaar komt voor het gewas dan KAS. Vooral bij droogte, in situaties waarin het niet mogelijk is te beregenen, biedt het gebruik van urean voordelen.

Als voorjaarsbemesting is urean goed te combineren met andere meststoffen zoals zwavel of ammoniumfosfaat. Daarnaast zou het gebruik van urean ook verschillen in bodemvruchtbaarheid binnen percelen beter op kunnen vangen (zie ook hfst. 12). Samenstellingen met sporenelementen bevatten te lage concentraties stikstof voor een zinvolle toepassing. Vaak wordt bij een dergelijke bespuiting niet meer dan 0,5 tot 1 kg per ha van een hoofdelement toegediend (Hotsma, 1989).

Milieukundige aspecten

Een aanzienlijk deel van de stikstof in urean kan als ammoniak vervluchtigen. De vervluchtiging van ammoniak uit ureum wordt op ongeveer 15% geschat, aangezien urean voor de helft uit ureum bestaat, zou dit voor urean op ongeveer 8% komen (zie tabel 3). In de Groningse graangebieden wordt rekening gehouden met 5 tot 10% ammoniakvervluchtiging. Daarbij zal vervluchtiging voornamelijk op droge grond plaatsvinden. Uit buitenlands onderzoek komt naar voren dat het toevoegen van CaCl_2 , KCL, ammoniumthiofosfaat en/of ammoniumpolyfosfaat de emissie van ammoniak sterk kan verlagen (Gascho, 1986; Fairly en Goosh, 1986). Daarnaast kan het injecteren van urean ammoniak vervluchtiging grotendeels voorkomen. Momenteel wordt door ACM (A. Verschuur, mond. med.) onderzoek gedaan naar de mogelijkheden de vervluchtigingsverliezen te beperken door puntinjectie met een spaakwielbemester. Deze methode is uiteraard niet toepasbaar indien urean als bijbemesting in het gewas wordt toegediend. Het gebruik van urean heeft echter ook milieukundige voordelen. Bij veel neerslag zal naar verwachting minder nitraat uitspoelen dan bij het gebruik van KAS. Deels vanwege een grotere spreiding van giften en deels vanwege het lagere aandeel nitraat. Verdere milieukundige voordelen liggen in het nauwkeuriger bemesten langs perceelranden.

Uit het voorgaande blijkt dat het gebruik van urean, vanwege ammoniakvervluchtiging, eerder tot een hogere dan een verminderde stikstofgift leidt. Wellicht zijn er wel besparingen te behalen indien de basisgift wordt geïnjecteerd en de gift beter wordt afgestemd op de gewasbehoefte. Normaliter wordt een vrij hoge basisgift gegeven, dit om zo'n gering mogelijk risico te lopen op tekorten in de loop van het groeiseizoen. Bij verlaging van de basisgift kan met urean sneller en beter worden bijgestuurd dan met KAS. Voor een snelle bijsturing van de mestgift is echter wel een snel en goed detectiesysteem van de gewasstatus nodig (hfst. 10 en 11).

Kosten toediening van urean

De afgelopen jaren was urean gemiddeld genomen f 0,23 per kg stikstof goedkoper dan KAS (Bussink, 1999). Momenteel is dit ca. f 0,20. Tegenover de gemiddeld genomen lagere kosten van de meststof zelf zijn aan het gebruik van urean veel hogere kosten van opslag en toediening verbonden.

Omdat urean zeer corrosief is, moeten zowel extra voorzieningen aan de opslag als toedieningsappa-

ratuur worden getroffen. Door Bussink (1999) zijn de kosten voor de opslag van urean voor rundveehouderijbedrijven berekend. Vooral nog worden er aan rundveehouderij- en akkerbouwbedrijven geen aanvullende eisen gesteld voor de opslag van vloeibare meststoffen, zoals in de tuinbouw te doen gebruikelijk is. Daarom is de goedkope opslag van urean in oude biertanks en afgeschreven opslag tanks nog steeds toegestaan. Indien er wel aanvullende maatregelen komen dan is de opslag van urean ongeveer tweekeer zo duur dan die van vaste meststoffen. Deze verschillen nemen af naarmate grotere hoeveelheden meststof worden opgeslagen.

Urean wordt voornamelijk door middel van een aangepaste corrosiebestendige veldspuit toegediend. Nieuwe spuitmachines zijn vaak al corrosievrij. Bijbemestingen worden toegediend door doppen te gebruiken waarmee de meststof via een grove druppel kan worden verspoten. Een opbouwveldspuit met een werkbreedte van 12 m kost ongeveer f 13000 en met een werkbreedte van 24 m ongeveer f 29000. Om insporing zoveel mogelijk te vermijden is het gewenst een getrokken veldspuit te gebruiken. Deze kosten tussen de f 40000 en f 50000. Injectie van urean vindt eigenlijk niet plaats, omdat dit met de bestaande apparatuur weinig nauwkeurig gebeurt. Met behulp van een spaakwielinjector (puntinjectie) kan urean wel nauwkeurig in de grond worden gebracht. De kosten hiervan zijn ongeveer vierkeer zo hoog als van een veldspuit. De verwachting is dat deze methode alleen voor loonwerkers rendabel zal zijn. Ter vergelijking kost in loonwerk de toediening van urean met een veldspuit ca. f 30-35 per ha en met een spaakwielinjector ca. f 50 per ha.

Naast het feit dat urean goedkoper is dan KAS worden als argumenten voor het gebruik van urean vooral arbeidsbesparing en -verlichting genoemd. Door een toenemende werkbreedte van kunstmeststrooiers en het gebruik van kunstmest in bulk i.p.v. zakken vervallen deze argumenten grotendeels. Het is moeilijk te zeggen in hoeverre het gebruik van urean rendabel zal zijn ten opzichte van vaste meststoffen. Gemiddeld genomen zal iets meer urean nodig zijn dan KAS om dezelfde opbrengst te verkrijgen. Gezien de hoge kosten van vloeibare kali- en fosfaatmeststoffen is het niet zinvol deze met een veldspuit toe te dienen. Er blijft dus altijd nog een kunstmeststrooier nodig. Wel zijn er bedrijven die urean gebruiken en daarbij de fosfaat- en kalibehoeftes van de gewassen zoveel mogelijk met organische mest dekken. Eventuele fosfaat- en kalite korten worden dan met vloeibare meststoffen aangevuld. Urean kan hierbij goed worden gecombineerd met NP-meststoffen. Voor de grote graanbedrijven in het noorden van het land wordt als vuistregel gehanteerd dat bemesting met urean pas economisch rendabel is bij een prijsverschil van meer dan f 0,15 per kg N ten opzichte van KAS. Naarmate het bedrijf groter is, zullen de kosten van bemesten met urean echter gunstiger uitvallen.

4.2. Ureum

In granen hebben ureumbesputtingen vaak een lagere opbrengst tot gevolg dan het gebruik van vaste meststoffen. Ook in combinatie met fungiciden wordt geen beter resultaat verkregen (van Burg e.a., 1982). In zetmeelaardappelen is in de zestiger jaren onderzoek gedaan naar de combinatie van ureum met fungicidenbesputtingen op zand- en dalgrond. Uit dit onderzoek bleek dat lage ureumgiften van 10 tot 20 kg N/ha per keer een lichte opbrengstverhoging tot gevolg hadden. Wel bracht een combinatie van een hoge basisgift (meer dan 100 kg N) met bijbemesting van 20 kg N ernstige bladverbranding teweeg (van Burg, 1967). Uit het door het PAV uitgevoerd onderzoek komt naar voren dat een combinatie van 40 kg N in KAS en beregenen een beter resultaat gaf dan tweekeer een gift van 20 kg N in ureum (Peusens, 1978). Uit dit onderzoek kwam ook naar voren dat een gift van 20 kg N in ureum bladverbranding kan veroorzaken. Tot slot blijkt in suikerbieten een bijgift met ureum weinig zinvol te zijn (van Burg, 1966).

Gezien het feit dat ureum als bijbemesting in granen en aardappelen tot nog hogere ammoniakvervluchting zal leiden dan urean, is het gebruik van ureum vanuit milieukundig perspectief weinig zinvol.

5. Rijenbemesting door middel van injectie van stikstof (Cultanmethode)

De cultanmethode (controlled uptake long term ammonium nutrition) is afkomstig uit de Verenigde Staten en is in Europa verder ontwikkeld aan de Universiteit van Bonn door Prof. Sommer. Bij de cultanmethode wordt een zeer hoge concentratie van met name ammoniummeststoffen in de rij geïnjecteerd, met behulp van een pomp en een schaarinjector.

Door het injecteren van een geconcentreerde hoeveelheid ammonium komt de meststof minder in contact met zich naar beneden verplaatsend water. Hierdoor zal minder ammonium uitspoelen dan bij lagere concentraties. Door de toxiciteit van de zeer hoge ammoniumconcentratie in het depot kunnen nitrificerende bacteriën niet alle ammonium in één keer in nitraat omzetten. Nitrificatie zal dan ook voornamelijk plaatsvinden aan de rand van het depot en aan het niet geadsorbeerde ammonium dat door diffusie iets buiten het depot is terechtgekomen. Ook de wortels van het gewas zullen vanwege deze toxiciteit niet tot het depot kunnen doordringen, en alleen in staat zijn de stikstof op te nemen die uit het depot diffundeert. Daarbij zal het gewas een deel van de stikstof als ammonium opnemen. De juiste plaatsing van het stikstofdepot is afhankelijk van het gewas en de grootte van de gift, maar moet minstens 5 cm naast de plant zijn. Bij de cultanmethode wordt uitgegaan van een éénmalige bemesting, er vindt dus gedurende het groeiseizoen geen bijsturing plaats.

Bij de cultanmethode wordt hoofdzakelijk gebruikgemaakt van een oplossing van ammoniumsulfaat en ureum. Door de praktijk wordt deze oplossing ammoniumwater genoemd. Teneinde verwarring te voorkomen wordt dit in dit rapport de cultanoplossing genoemd. Meestal wordt een verhouding gebruikt van 40 kg ammoniumsulfaat en 35 kg ureum in 100 liter water, hetgeen neerkomt op 24,5 kg N. Uit Duits onderzoek blijkt dat deze samenstelling niet voor alle gewassen de meest optimale bemesting is, daarom worden ook andere ammoniumhoudende meststoffen beproefd, al dan niet in combinatie met een nitrificatieremmer (zoals didin) of ammoniumfosfaat (Sommer, 2000). De stabiliteit van het depot zal sterk afhangen van de stikstofvorm, naarmate de meststof gemakkelijker om te zetten is in nitraat, zal het depot minder stabiel zijn (tabel 9).

Tabel 9. **Ammoniumconcentratie (mg/l) in het stikstofdepot na één en twee maanden bij gebruik in prei.**

Stikstofvorm	na één maand	na twee maanden
ammoniumsulfaat + ureum	37,7	0,5
ammoniumsulfaat + ureum + didin	27,2	4,1
ammoniumsulfaat + ureum + didin + APP	85,1	8,0
urean	14,9	0,3
ureum	40,0	0,9

Uit De Rooster en Spiessens (1999)

5.1. Reactie gewassen

In Duitsland worden wisselende resultaten gevonden met de cultanmethode. Volgens Sommer en Schumacher (1993) zou deze methode in aardappelen 15 tot 30% meeropbrengst leveren en eventueel een besparing van 30% op de totale stikstofgift. Deze grote opbrengstvermeerdering wordt echter niet door andere Duitse onderzoekers gevonden. Verder wijst Scharpf (1996) erop dat in het onderzoek van Sommer bij de cultanmethode wel lagere giften worden toegediend maar niet bij de vaste meststof, hierdoor is het moeilijk vast te stellen of het gebruik van de cultanmethode werkelijk tot verlaagde giften leidt. Bij granen wordt in het algemeen geen beter resultaat verkregen bij het gebruik van de cultanoplossing, omdat het hoge aandeel ureum hierin nadelig is voor de stevigheid van het stro. Door Sommer (2000) wordt voor granen dan ook een mengsel van diammoniumfosfaat en urean aanbevolen. Bij suikerbieten adviseert Sommer het injecteren van urean, vanwege het feit dat suikerbieten de opname van nitraat boven dat van ammonium prefereren. De cultanmethode is niet aan te bevelen voor stikstofbindende gewassen als bonen (Ke Feng e.a., 1997). In een aantal groentegewassen (ijssla, koolrabi en bloemkool) is geen meeropbrengst met de cul

tanmethode gevonden, wel blijkt de kwaliteit, voornamelijk lagere stikstofgehalten in het blad, van deze groentegewassen iets beter te zijn dan bij bemesting met nitraatmeststoffen (Andreas, 1996).

In Nederland is weinig onderzoek gedaan naar het gebruik van de cultanmethode in akkerbouwgewassen. Wel is er door het PAV onderzoek gedaan naar de werking van deze methode in consumptieaardappelen (Slabbekoorn, 1999; 2000). Uit dit onderzoek is niet gebleken dat de cultanmethode beter werkt dan KAS, noch was er sprake van dat op de stikstofgift kan worden bespaard. Vanuit de praktijk worden gunstige resultaten gemeld van het injecteren van urean in spuitkool. In dit gewas zou stikstof in de cultanoplossing (ammoniumsulfaat + ureum) in tegenstelling tot urean te langzaam beschikbaar komen voor het gewas.

In Nederland en België wordt wel veel onderzoek gedaan naar het gebruik van de cultanmethode in groentegewassen. In drie opeenvolgende jaren werd in prei door Van Geel de cultanmethode vergeleken met breedwerpig strooien van KAS volgens NBS. In het uitzonderlijk natte jaar 1998 werden met de cultanmethode slechtere resultaten verkregen; het ammoniumdepot spoelde uit bij extreme regenval. Met deelgiften van KAS kan dan beter worden bijgestuurd. In het droge jaar 1999 werd wel 3 ton extra veilbaar product verkregen met de cultanmethode, maar kon niet op de gift worden bespaard (Van Geel, 2000). Vanwege droogte spoelde bij beide weinig of geen nitraat uit. Tot slot werd in 2000 bij gelijke giften een meeropbrengst van 2 à 3 ton gevonden. Indien werd gestreefd naar gelijke opbrengsten dan kon met de cultanmethode tot ca. 100 kg N/ha op de gift worden bespaard (Van Geel, 2001). Ook de resultaten van Belgisch onderzoek zijn wisselend, in het algemeen verhoogt de cultanmethode de kwaliteit van groentegewassen wel, met uitzondering van kropsla, maar de effecten op de opbrengst zijn onduidelijk. In prei lijkt de cultanmethode de grootste opbrengstverhoging van ca. 3 à 5 % teweeg te brengen (de Rooster en Spiessens, 1998; 1999). Daarnaast worden na de oogst van prei vaak lagere N-min gehalten in de grond gevonden dan bij het breedwerpig bemesten met KAS.

5.2. Perspectieven van cultan

Landbouw- en milieukundige aspecten

Als voordelen van de cultanmethode worden vaak de efficiënte en gelijkmatige stikstofopname, verminderde uitspoeling van nitraat, minder onkruid en arbeidsbesparing genoemd.

Doordat de meststof dieper, dus dicht bij de wortels en in vochtiger grond, wordt geplaatst dan KAS, zal bij droogte minder beregend hoeven te worden, hetgeen naast besparingen op arbeid, ook aantastingen door schimmelziekten en andere infectieziekten vermindert. Ook zou een regelmatig aanbod van stikstof tot minder luxeconsumptie (minder hoge nitraatgehalten) en hogere percentage drogestof leiden, hetgeen de kans op ziekten doet verminderen. In hoeverre dit laatste werkelijk het geval is, is onvoldoende gekwantificeerd. Dit laatste geldt ook voor de eventuele verminderde groei van onkruid. Zeker bij de huidige hoge bodemvruchtbaarheid zal de groei van onkruid niet snel door stikstofgebrek worden geremd.

Alhoewel het éénmalig injecteren van meststoffen besparingen in arbeid en bemonstering oplevert, is dit meteen ook het grootste minpunt van deze methode omdat in de loop van het groeiseizoen niet wordt bijgestuurd. Op sterk mineraliserende gronden zal de bij mineralisatie vrijkomende nitraat worden opgenomen in plaats van die uit het depot, of andersom. Op deze gronden zijn de voordelen van het éénmalig injecteren van meststoffen dan ook minder groot en zou beter gebruik kunnen worden gemaakt van een bijmeststelsysteem. De perspectieven zijn dan ook het grootst op mineraalarme uitspoelingsgevoelige gronden met een N-min in het voorjaar van minder dan 40 kg N/ha. Het is wel de vraag in hoeverre het stikstofdepot stabiel is op deze gronden. Verder kan in een koud droog voorjaar het gewas mogelijk een trage start maken doordat nitrificatie dan erg langzaam verloopt. Bovendien moeten de wortels ook nog eens richting het depot groeien.

Uit het voorgaande mag duidelijk zijn dat het te betwijfelen valt in hoeverre in akkerbouwgewassen de cultanmethode meerwaarde biedt ten opzichte van breedwerpig bemesten van KAS volgens een NBS. Bij groentegewassen, waarbij ook de kwaliteit van het gewas van groot belang is, lijkt de cultanmethode wel perspectieven te leveren. Vooral bij late teelten is het éénmalig injecteren van geconcentreerde ammoniumoplossingen zinvol, omdat deze oplossingen minder gevoelig zijn voor uitspoeling dan KAS.

Teneinde de mestgift beter af te kunnen stemmen op de behoefte van het gewas, zou onderzoek gedaan kunnen worden naar de mogelijkheden van: (i) het meerdere keren injecteren van vloeibare meststoffen in gewassen met een grote rij- of plantafstand en (ii) het injecteren van een basisgift en bijbemesten

met hetzij vaste of vloeibare meststoffen. Momenteel wordt door Van Geel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van het meermalen injecteren van de cultanoplossing in prei. Wel moet voor prei nog een goede indicator van de gewasstatus worden gevonden. Bij een systeem met deelgiften wordt wel het principe van de cultanmethode (namelijk een éénmalige geconcentreerde gift van ammoniumstikstof) verlaten. Tevens vallen hierbij de voordelen, zoals arbeidsbesparingen en minder bemonsteringskosten, weg.

Kosten van toediening

In de akkerbouw wordt de cultanmethode niet in de praktijk toegepast. Bij najaarsteelten van prei is het gebruik van de cultanmethode vanwege de hogere opbrengst wel rendabel. Ook kan bij het gebruik van de cultanmethode aanzienlijk op de kosten van bemonstering worden bespaard ten opzichte van KAS bij gebruik van een bijmestsysteem. Wel moet rekening worden gehouden met het feit dat de cultanoplossing erg corrosief is.

De cultanoplossing bevat ammoniumsulfaat en ureum. Ammoniumsulfaat is duurder en ureum goedkoper dan KAS, respectievelijk f 1,53, f 1,10 en f 1,36 per kg N, exclusief BTW. Een kant en klare cultanoplossing kost ca. f 2,00 per kg N. Bij zelf mengen zou een cultanoplossing f 1,33 per kg N kosten. Toch wordt deze oplossing vaak kant en klaar gekocht, omdat bij menging van ammoniumsulfaat en ureum gemakkelijk een neerslag ontstaat. De cultanoplossing wordt in 1000 L muliboxen afgeleverd. Aflevering in bulk vindt vooralsnog niet plaats.

Bij de toediening van de cultanoplossing wordt onder andere een slangenpomp gebruikt, die op een bieten-maiszaaimachine of pootmachine wordt gemonteerd. Bij deze aanpassing wordt de vloeibare meststoffen vanuit een voorraadtank via een leidingstelsel naar metalen injectiekouters gepompt. Deze kouters zijn 10 centimeter vóór de plantvoet gemonteerd en brengen afhankelijk van het gewas en meststof de vloeistof op een bepaalde diepte in de bodem. De kosten van een montage-unit zijn tussen de f10.000 en f15.000, inclusief een computer voor automatische dosering.

6. Toepassingen van NP-meststoffen

6.1. Volveldsbemesting

In de 70-er jaren is er in België onderzoek verricht naar het gecombineerd toedienen van vloeibare NP-meststoffen en herbiciden in winter- en zomertarwe. In het algemeen worden hierbij eerder negatieve dan positieve effecten gevonden (Stryckers en Himme, 1973). Door Geelen (1996) is in 1996 de toepassing van polyfosfaten in zomergerst onderzocht op lössgrond. Op deze snel verslepende gronden zou polyfosfaat beter beschikbaar blijven voor de plant dan orthofosfaat. Er zijn echter geen positieve resultaten geboekt in dit onderzoek, hetgeen waarschijnlijk mede het gevolg was van het droge voorjaar, waardoor verslemping is uitgebleven.

In Engeland is onderzoek gedaan naar de effecten van fosfaatbladbemesting in aardappelen. Toediening op het tijdstip van knolzetting (stolonverdikking) zou de vorming van meer, maar kleinere knollen moeten stimuleren (Lewis en Kettlewell, 1995). Uit het onderzoek kwam naar voren dat fosfaatbladbemesting een opbrengstverhoging van 5% tot gevolg had, hetgeen zowel toe te schrijven viel aan een toename van het aantal knollen als van de knolgrootte. Er zijn geen verschillen gevonden tussen de toediening van ortho- en polyfosfaat. Naar aanleiding van deze resultaten is ook in Nederland onderzoek gedaan naar fosfaatbladbemesting omstreeks de tijd van knolzetting. Door Rops en Floot (1996) is de werking van de vloeibare NP-meststoffen Solafos (APP) en Seniphos (samenstelling 10-34-0 en 3-24-0 met 4% Ca) vergeleken met een in wateroplosbare vaste NP-meststof (12-61-0). Uit dit aan verschillende aardappelrassen uitgevoerde onderzoek is gebleken dat afhankelijk van het ras een opbrengstvermindering of -vermeerdering optrad ten opzichte van de onbehandelde objecten. Er kon echter geen duidelijk verband worden gevonden tussen de eigenschappen van een ras en de effecten van fosfaatbladbemesting. Daarnaast waren er geen verschillen tussen de NP-meststoffen. Volgens Rops en Floot is het daarom niet mogelijk een voorspelling te doen omtrent het effect van NP-meststoffen op de knolzetting.

6.2. Rijenbemesting

Gezien de geringe mobiliteit van fosfaat in de bodem kan een startgift met fosfaatmeststoffen zinvol zijn. Dit geldt met name bij een lage fosfaattoestand van de bodem, een koud voorjaar en/of een slechte bodemstructuur. Vooral gewassen die in het voorjaar slecht wortelen kunnen hiervan profiteren. Rijenbemesting heeft als voordeel ten opzichte van volveldsbemesten dat het fosfaat dicht bij de wortel wordt gebracht. Rijenbemesting kan zowel met vaste als met vloeibare meststoffen worden uitgevoerd. In het laatste geval wordt fosfaat veelal in de vorm van ammoniumfosfaten (ortho- of polyfosfaten) toegediend.

Uien

Uit Engels onderzoek kwam naar voren dat APP de start van het gewas versnelt en tevens een vervroegde afrijping tot gevolg heeft (Brewster e.a., 1991). Dit was aanleiding om APP ook in Nederland als startgift uit te proberen. In een bij het PAV in 1994 uitgevoerde proef is een meeropbrengst van 25% gevonden (de Visser, 1996). Echter in proeven uitgevoerd in 1996 werden helemaal geen verschillen gevonden met onbehandelde objecten, noch bij de toediening van APP noch bij dat van gewone NP-meststoffen (de Visser, 1997). In proeven uitgevoerd in 1997 en 1998 werd soms wel een positief effect van fosfaatbemesting op de begingroei wordt gevonden, maar dit vertaalde zich niet in verschillen in opbrengsten (Van Geel, 2000a). Volgens de Visser (1997) kunnen deze verschillen tussen onderzoeksjaren mogelijk worden geweten aan verschillen in weersomstandigheden. Vooral na droge winters in combinatie met droogte in het voorjaar zou weinig effect van fosfaatbemesting verwacht kunnen worden, omdat de wortels dan gemakkelijk naar beneden groeien, en dus als het ware van de meststof, die in de bovenlaag aanwezig blijft, afgroeien. In deze proeven is geen positief effect van polyfosfaten op de opname van sporenelementen gevonden.

Aardappelen

In 1997 is door het PAV onderzoek gedaan naar APP bij zetmeelaardappelen op zand en veenkoloniale grond (Wijnholds, 1997). APP gaf in het algemeen een meeropbrengst van 5 tot 6% (niet-significant) ten opzichte van alleen fosfaataanvoer met dierlijke mest. Een lagere dosis APP dan de standaard hoeveelheid van 100 l/ha gaf een verlaagde opbrengst.

In proeven met aardappels uitgevoerd in 1997 te Lelystad en Westmaas gaf APP een meeropbrengst van 4 ton bij een gift van 56 liter (27 kg fosfaat) ten opzichte van 270 kg superfosfaat (53 kg fosfaat) in de rij (Van Geel, 2000a). Een hogere gift met APP van 112 liter (53 kg fosfaat) gaf i.t.t. het onderzoek van Wijnholds een licht negatief effect op de groei. In 1998 werden in proeven, die in Lelystad zijn uitgevoerd geen verschil gevonden tussen beide meststoffen.

Peen

In peen heeft APP-rijenbemesting de begingroei van het gewas bevorderd, rijenbemesting met superfosfaat had geen groeistimulering tot gevolg. Bij de oogst waren de verschillen tussen beide meststoffen verdwenen (Van Geel, 2000a).

Prei

Bij prei werd door toevoeging aan het aangietwater van APP en een gewone NP-meststof een niet significante verhoging van 1 à 2 ton van het marktbaar product verkregen. Tussen de NP-meststoffen waren er geen verschillen (Van Geel, 2000a).

Stamslabonen

Bij stamslabonen werden wisselende resultaten behaald. In een aantal proeven te Lelystad en Valthermond werden geen verschillen gevonden tussen fosfaatmeststoffen. Te Westmaas verhoogde APP de opbrengst ten opzichte van superfosfaat in een proef; in een andere proef was duidelijk minder APP nodig dan superfosfaat om tot dezelfde opbrengst te komen.

Tabel 10. **Overzicht van de resultaten met polyfosfaat ten opzichte van andere NP-meststoffen of superfosfaat in proeven uitgevoerd door het PAV tussen 1996 en 2000. In deze proeven is geen verband gevonden tussen de werking van NP-meststoffen en het Pw-getal van de grond.**

gewas	locatie	jaar	Pw-getal	significante effect op de opbrengst
zaaiuien	Lelystad (zavel)	1996	24	geen
	Lelystad	1997	29	alle fosfaatmeststoffen gaven een opbrengstverhoging
	Lelystad	1998	21	geen
	Colijnsplaat (zavel)	1996	37	geen
	Westmaas (zavel)	1997	85	geen
plantuien	Lelystad	1998	31	geen
aardappelen	Lelystad	1997	19	betere werking van APP t.o.v. superfosfaat
	Lelystad	1998	38	geen
	Westmaas	1997	66	betere werking van APP t.o.v. superfosfaat
stamslabonen	Lelystad	1997	27	geen
	Lelystad	1998	44	geen
	Westmaas	1997	76	betere werking van APP t.o.v. superfosfaat
	Westmaas	1998	27	betere werking van APP t.o.v. superfosfaat
	Valthermond	1998	57	alle fosfaatmeststoffen gaven een opbrengstverhoging
peen	Lelystad	1997	28	geen
	Meterik (zand)	1998	79	geen
	Meterik	1998	125	geen
herfstprei	Meterik	1997	78	geen
zomerprei	Meterik	1998	119	geen
witlofwortels	Westmaas	1997	30	geen

Uit Van Geel (2000a).

6.3. Perspectieven van vloeibare NP-meststoffen

Landbouw- en milieukundige aspecten

Concluderend kan worden gesteld dat in de akkerbouw de volveldstoediening van snel beschikbare vloeibare fosfaten gedurende het groeiseizoen vooralsnog weinig zinvol lijkt. In het algemeen is in Nederland de bodemvruchtbaarheid zodanig hoog dat fosfaat 's zomers niet beperkend is voor de groei van gewassen. Daarnaast zijn vloeibare fosfaatmeststoffen te duur om het hele bouwplan van fosfaat te voorzien (Bussink, 1999). In droge zomers zou bladbemesting met fosfaatmeststoffen eventueel wel zinvol kunnen zijn. Bij de verschillende aardappelrassen is het vooralsnog moeilijk de juiste dosering en tijdstip van toediening te bepalen.

Een startgift met een NP-meststof kan bij fosfaatbehoefte gewassen wel zinvol zijn. Zowel de samenstelling van de fosfaatmeststoffen als de plaatsing van fosfaat in de bodem lijkt van invloed te zijn op de gemiddeld genomen iets betere werking van vloeibare fosfaatmeststoffen ten opzichte van (tripel)superfosfaat, met name in aardappelen en stamslabonen. Deze betere werking uit zich in een snellere begingroei, en soms een hogere opbrengst of benutting van meststoffen. Als verklaring wordt vaak gegeven dat op neutrale en basische kalkarme gronden de omzetting van de in de vloeibare NP-meststoffen aanwezige ammonium in nitraat verzurend werkt, waardoor fosfaat in deze gronden minder snel wordt vastgelegd. Daarnaast wordt de begingroei gestimuleerd door het uit de meststof vrijkomende ammonium. Uit Duits onderzoek blijkt dat ook rijenbemesting met vaste NP-meststoffen gemiddeld genomen tot een hogere opbrengst (van 2 ton per ha) leidt ten opzichte van breedwerpig bemesten (Puschner, 1991). Deze opbrengstverhoging ligt in de orde van grootte van hetgeen met vloeibare NP-meststoffen wordt behaald. Wel treedt bij het gebruik van vloeibare NP-meststoffen mogelijk minder grondverstoring op, omdat dunnere toedieningskouters kunnen worden gebruikt. Ook onder Nederlandse omstandigheden is er geen eenduidige meerwaarde gevonden van APP ten opzichte van andere NP-meststoffen. Daarnaast is er geen relatie gevonden met het Pw-getal (tabel 10) en de opname van sporenelementen door gewassen. Bij gebruik van NP-meststoffen moet wel rekening gehouden worden met het feit dat de stikstoffractie Minas-plichtig is.

APP wordt ook wel aan de cultanoplossing toegevoegd. Het is echter de vraag of dit voor een startgift zinvol is, omdat bij een zeer hoge ammoniumconcentratie is het gewas vermoedelijk niet in staat is het meegemengde fosfaat direct op te nemen. Om die reden is het overigens ook niet zinvol bestrijdingsmiddelen en sporenelementen toe te voegen aan de cultanoplossing. Indien het gewenst is dat de diverse meststoffen en bestrijdingsmiddelen gedurende het groeiseizoen geleidelijk vrijkomen, zou het éénmalig toedienen hiervan wel tot aanzienlijke arbeidsbesparing kunnen leiden.

Kosten van injecteren van NP-meststoffen

De prijs van APP (NP10-34) is momenteel f 0,81 (per 25 kg) en f 0,60 (bulk) per kilo. De kosten van de vaste NP-meststoffen zijn iets lager NP26-14 f 0,50, NP23-23 f 0,55 en NP20-34 f 0,62 per kilo. Net zoals bij het oplossen van de cultanoplossing is nogal wat arbeid nodig om de goedkopere NP-meststoffen op te lossen. Voor kleine hoeveelheden is dit dan ook nauwelijks rendabel. Vloeibare NP-meststoffen worden op dezelfde wijze aangeleverd en toegediend als de cultanoplossing (§5).

7. Bemesting met andere vloeibare meststoffen

7.1. Volveldstoepassingen

Naast het volvelds toedienen van urean en ureum is het uiteraard ook goed mogelijk andere stikstofmeststoffen zoals ammoniumnitraat en zwavelzure ammoniak te gebruiken. Ook wordt in de praktijk wel geëxperimenteerd met het toedienen van de cultanoplossing (ureum en zwavelzure ammoniak) in granen met een veldspuit. Ammoniumnitraat zou zeker gedurende het groeiseizoen een goed alternatief kunnen zijn voor urean. Een groot nadeel van ammoniumnitraat is dat het veel duurder is dan urean.

Net zoals voor vloeibare fosfaatmeststoffen geldt, zijn vloeibare kalimeststoffen te duur om het hele bouwplan van kalium te voorzien. In het verleden is kali toegepast als bladbemesting in aardappelen, met name op uitspoelingsgevoelige zandgronden. Bij kaligebreksverschijnselen wordt daarbij geadviseerd om minstens 50 kg en bij ernstige gebreksverschijnselen 100 à 150 kg K_2O per ha bij te bemesten. Bij bladbemesting zijn vanwege de verbrandende werking van de sulfaat- of chloorhoudende kalimeststoffen maar kleine concentraties mogelijk, respectievelijk 7 à 10% en 3 à 4% oplossingen (Prummel, 1981).

7.2. Rijenbemesting

Door het PAV is in 1996 onderzoek gedaan naar het gebruik van Nitro-plus in poot- en zetmeelaardappelen. Nitro-plus is een vloeibare samengestelde meststof met 12% $N-NH_4^+$, 12% Ca en 3,2% Bo. De aanleiding van dit onderzoek was dat in Canada gunstige resultaten waren bereikt met deze meststof, het zou namelijk grondbehandelingsmiddelen tegen Rhizoctonia overbodig maken. Uit het PAV-onderzoek is niet naar voren gekomen dat Nitro-plus voordelen biedt ten opzichte van de met KAS bemeste objecten (Wijnholds, 1996).

Een mogelijke nieuwe toepassing is het flex fertilizer systeem, hierbij worden de verschillende basis-meststoffen van tevoren in een precies gewenste verhouding samengesteld. Bij het productieproces worden complexe moleculen gevormd. Net zoals bij polyfosfaten bepaalt de lengte van de molecuulketens hoe snel de meststof vrijkomt, het vrijkomen is daarbij onafhankelijk van de vochtvoorziening in de bodem. De basisbemesting wordt in de bodem geïnjecteerd, bijbemesting kan plaatsvinden door de vloeistof over het gewas te spuiten. De fabrikant beweert dat zowel op de meststof kan worden bespaard als hogere opbrengsten kunnen worden verkregen. De werking van dit systeem wordt momenteel bij het PPO onderzocht; de resultaten zijn echter nog niet bekend (Wijnholds, mond. med.).

8. Fertigatie

Fertigatie is het toedienen van nutriënten met het irrigatiewater aan een gewas. Fertigatie kan zowel volvelds (toediening via beregeningsinstallatie) als via rijenbemesting (toediening via irrigatieslangen) plaatsvinden. Een voordeel van fertigatie is dat een goede verdeling van water en meststoffen over het seizoen wordt verkregen. Waarbij de gift kan worden aangepast aan het groeistadium van de plant. De hoeveelheid minerale stikstof die na de oogst overblijft zou daarmee kunnen worden verkleind.

In principe is een heel scala van enkelvoudige en samengestelde meststoffen voor fertigatie bruikbaar (zie Handboek Meststoffen). Stikstof- en kaliummeststoffen zijn in het algemeen goed oplosbaar. Van de fosfaatmeststoffen komen fosforzuur en NP-oplossingen het meest in aanmerking. Bij veel neerslag wordt de meststof vaak in hogere concentraties toegediend, bij concentraties $> 100 \text{ g L}^{-1}$ kan echter ontmenging optreden. Ook zijn niet alle meststoffen goed mengbaar, zeker bij gebruik van nutriënten als calcium, magnesium en ijzer kan gemakkelijk een neerslag ontstaan. Verder kunnen ook calcium en ijzer in het water tot een neerslag van meststoffen leiden, het is dan ook aan te raden het water eerst te filteren. Overigens kan een neerslag grotendeels worden voorkomen door de oplossing aan te zuren. Verder moet er rekening mee worden gehouden dat in gebieden met bruinrot niet uit het oppervlaktewater kan worden geïrrigeerd.

8.1. Volvedsfertigatie

In Nederland heeft onderzoek aan volveldsfertigatie voornamelijk aan groentegewassen plaatsgevonden (Titulaer, 1999; Titulaer en Kanters, 2000). Zowel uit het in 1999 als 2000 uitgevoerde onderzoek is naar voren gekomen dat volveldsfertigatie visueel de homogeniteit van het gewas verhoogt, maar niet leidt tot een hogere opbrengst of verlaagde meststofgift. In 2000 is ook de werking van verschillende vloeibare meststoffen, namelijk urean, ureum en Krisalon wit (15-15-30 + 3 MgO met 11% nitraatstikstof) met die van KAS vergeleken. Alle meststoffen werden toegediend volgens het NBS. Er zijn in het algemeen geen verschillen gevonden in de werking van de meststoffen. Wel spoelden de nitraatmeststoffen gemakkelijker uit. Door Titulaer wordt dan ook voorgesteld de gift van de nitraatmeststoffen bij veel neerslag nog verder op te spitsen dan geadviseerd volgens het NBS.

Nadelen van volveldsfertigatie zijn dat bij gebruik van sectorsproeiers en beregeningshaspels de meststof bij veel wind niet homogeen wordt verdeeld. Daarnaast kan met volveldsfertigatie eventueel bladverbranding optreden. Bij vaste sproeiers kan dit overigens worden verholpen door na fertigatie met een kleine hoeveelheid water te beregenen.

8.2. Druppelfertigatie

In Nederland wordt deze techniek met name in groentegewassen en aardappelen toegepast. In aardappelen zou deze methode perspectieven kunnen bieden vanwege de geringe efficiëntie van de opname van nutriënten van dit gewas en vanwege het feit dat bij droogte de aardappelrug snel uitdroogt, waardoor meststoffen niet direct ter beschikking van het gewas komen. Bij aardappelen worden slangen met druppelaars bij het aanfrozen of aanaarden vier tot vijf centimeter diep in de top van de rug gelegd. De druppelslangen zijn aangesloten op een grotere verdeelslang waar water doorheen wordt gepompt. Bij sloot- en grondwater is een extra filter noodzakelijk. De meststoffen worden met een pompje geïnjecteerd of via een venturie meegezogen in het systeem. Een speciale oprolmachine trekt de slangen vóór het rooien weer uit de ruggen. Dit kan gelijktijdig met het loofklappen gebeuren.

Fertigatie met stikstof

Uit door het NMI uitgevoerd onderzoek aan aardappelen blijkt dat met fertigatie zowel onder zeer natte omstandigheden als droge omstandigheden bij het achterwege blijven van beregenen een hogere knolopbrengst en/of stikstoffefficiëntie mogelijk is vergeleken met breedwerpig bemesten met KAS. Onder natte omstandigheden spoelt minder stikstof uit, terwijl onder droge omstandigheden voornamelijk de watergift

tot een verhoogde opbrengst leidt (Postma en van Erp, 1998).

Onderzoek uitgevoerd door het PAV heeft geen eenduidige resultaten opgeleverd. Door Van Geel (2000b) werd zowel in 1999 als 2000 onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van fertigatie op uitspoelingsgevoelige zandgronden, hierbij werd de stikstofgift zowel bij fertigeren als breedwerpig strooien van KAS gevarieerd. In 1999 zijn geen verschillen in opbrengsten en onderwatergewichten gevonden tussen fertigatie en beregenen gecombineerd met breedwerpig bemesten. Ook werd door fertigatie niet bespaard op de nutriënten- en watergift. Het achterwege blijven van verschillen tussen systemen heeft alles te maken met het feit dat 1999 een droog jaar was, hierdoor trad er geen uitspoeling op. In 2000 was de opbrengst het hoogst bij irrigeren en het laagst bij beregenen, en intermediair bij fertigeren. Ook in 2000 kon bij fertigatie niet op de gift worden bespaard. Als mogelijke verklaring voor de slechte resultaten van beregenen wordt door Van Geel aangegeven dat door het ophopen van beregeningswater in de geulen enige stikstof uitspoelt. De slechte resultaten van fertigatie zijn moeilijker te duiden. Mogelijk zou fertigatie met ammoniummeststoffen kunnen leiden tot toxische concentraties ammonium net onder de druppelaars. Opvallend is ook dat aan het einde van het groeiseizoen geen verschillen in N-min in de bodem werden gevonden, terwijl dit wel te verwachten was gezien de verschillen in stikstofbenutting tussen de systemen. Vooralsnog is er geen verklaring gevonden voor dit verschil. Door Paauw (2000; 2001) werd tussen 1998 en 2000 op zavel gemiddeld genomen geen effect op het uitbetalingsgewicht gevonden ten opzichte van breedwerpig bemesten met KAS met of zonder beregenen. De maximale opbrengstverhoging was 5%. In hoeverre er op de stikstofgift kan worden bespaard, werd uit dit onderzoek niet duidelijk omdat de objecten niet volgens een NBS werden bemest.

In alle onderzoek leidt zowel irrigatie als beregenen tot minder schurft aantasting. Een bijkomend voordeel van druppelirrigatie ten opzichte van beregenen is dat het gewas droog blijft. Hierdoor vermindert de ziektedruk en is het perceel eerder berijdbaar.

Combinaties van N, P en K meststoffen

Bij het AB (nu PRI) in Wageningen is onderzoek verricht naar de combinatie van verschillende vloeibare meststoffen. In 1998 is onderzoek gedaan naar de invloed van APP en kalksalpeter op de benutting van meststoffen en opbrengst van zetmeelaardappelen (Booij et al, 1999). Irrigatie als zodanig had in dat jaar geen zin, vanwege te hoge neerslag. In 1998 had vooral bemesting met APP een gunstig effect op de knolopbrengst, vermoedelijk vanwege het geleidelijk vrijkomen van de meststof. Het fertigeren met kalksalpeter verhoogde het calciumgehalte in de plant, zowel in de knol als in het loof. In 1999 werd ook de werking van kalisalpeter (Krista-K 13,5% N en 46% K₂O) onderzocht bij pootgoed en consumptieaardappelen. Bij toediening van alleen nitraatmeststoffen bleef de opbrengst achter ten opzichte van bemesting met ammonium. APP gaf ook in deze proef een verhoging van de opbrengst, met meer knollen groter dan 28 mm. Daarnaast gaf de toediening van kalium een geringere kans op blauwgevoeligheid. In dit onderzoek werd niet onderzocht of er eventueel met minder meststof kon worden bemest.

8.3 Perspectieven van fertigatie

Landbouw- en milieukundige aspecten

Bij fertigatie kunnen meststoffen zeer nauwkeurig in de tijd en in de lage concentraties worden toegediend. Fertigatie is minder geschikt voor de aanvoer van hoge concentraties meststoffen. Basisgiften kunnen dan ook beter middels dierlijke mest of vaste meststoffen worden gegeven. Fertigatie is vooral zinvol voor gewassen die baat hebben bij een regelmatige aanvoer van nutriënten en voor bijbemestingen. In principe zou fertigatie zeker op droogte- en uitspoelingsgevoelige percelen tot hogere opbrengsten en/of aanzienlijke besparingen in de gift moeten leiden. Dit geldt met name voor fertigatie van stikstof en op zandgronden ook kali. Fertigatie van fosfaat lijkt minder zinvol. Ten eerste is fosfaat weinig mobiel in de grond en ten tweede hebben de meeste gewassen vooral behoefte aan een startgift met fosfaat. De positieve resultaten van het AB met fertigatie van fosfaat lijken dan ook eerder uitzondering dan regel te zijn.

Teneinde een optimaal rendement uit fertigatie te kunnen halen, moet enerzijds het opnamepatroon en daarmee de nutriëntenbehoefte van het gewas bekend zijn, anderzijds moet zo'n goed mogelijke inschatting kunnen worden gemaakt van de nog door de bodem te leveren nutriënten. Bij fertigatie zal dan ook regel

matig bodem- of gewasbemonstering plaats moeten vinden. Een handicap bij druppelfertigatie, en trouwens bij rijenbemesting in het algemeen, is dat het moeilijk is om een betrouwbaar beeld te krijgen van de voorraad N-min in de bodem. Bij aardappel kan de gewasstatus redelijk goed worden ingeschat met behulp van de bladsteeltjesmethode. Wel lijken de voor deze methode ontwikkelde normlijnen voor fertigatie minder goed te voldoen (Van Geel, mond. med.). Ook komt het voor dat bij fertigatie teveel op de basisgift wordt gekort; eventueel ontstane tekorten gedurende het groeiseizoen kunnen dan vaak niet goed worden gecompenseerd. Dit zou betekenen dat voor aardappel fertigatie nog onvoldoende is geoptimaliseerd. Het grootste probleem bij het verder optimaliseren van fertigatie is echter dat het moeilijk is te schatten in welke hoeveelheid nutriënten in de bodem voor het gewas beschikbaar komt. Hierdoor wordt in aardappel geen hoger rendement behaald dan met vaste meststoffen volgens een bijmeststelsel. Zowel bij fertigatie als bij het gebruik van vaste meststoffen volgens een bijmeststelsel ligt dit op ongeveer 50 kg N/ha ten opzichte van éénmalig bemesten (van Loon en Houwing, 1989; zie ook Hfst. 11). Met fertigatie kan dan ook nauwkeuriger worden bemest dan de gewasbehoefte (vooralsnog) kan worden geschat. Eventueel zou door de toepassing van stikstofvensters het rendement van fertigatie verder kunnen worden verhoogd.

Een voordeel van irrigatie ten opzichte van beregenen is dat het gewas droger blijft, hetgeen de ziektedruk vermindert en mogelijk minder schurftaantasting geeft. In hoeverre er reductie mogelijk is op het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen is ook bij deze toepassing niet goed gekwantificeerd. Deze kunnen overigens ook via het fertigatiesysteem worden toegediend.

Kosten fertigatie

De kosten van fertigatie nemen wel af in de loop van de tijd, maar zijn nog altijd aanzienlijk te noemen. Momenteel liggen de kosten voor de slangen op ca. f 1600 per ha. Daarnaast zijn er nog kosten verbonden aan de afschrijving en onderhoud van de pomp en andere apparatuur van ca. f 650. Hierbij zijn de kosten van eventueel extra bemonsteren en arbeid niet meegerekend. Wanneer alleen rekening wordt gehouden met de materiele kosten van fertigatie zelf, zal gemiddeld genomen per jaar bij pootaardappelen bij een prijs van f 0,45 een meeropbrengst van vier à vijf ton per ha benodigd zijn, bij consumptieaardappelen bij een prijs van f 0,22 zal dit het dubbele zijn. Gezien het feit dat fertigatie in de meeste jaren geen meeropbrengst geeft, zijn de kosten hiervan niet gemakkelijk terugverdiend.

9. Vergelijking tussen bemestingsystemen

In dit hoofdstuk worden de verschillende toepassingen van vloeibare en vaste meststoffen vergeleken. Bemestingsystemen met vloeibare meststoffen zijn onderverdeeld op basis van de methode van toediening, namelijk verspuiten, injecteren en fertigeren. In tabel 11 zijn de belangrijkste verschillen tussen bemestingsystemen met vaste en vloeibare meststoffen aangegeven. De resultaten voor stikstof- en fosfaatmeststoffen zijn weergegeven in respectievelijk tabel 12 en 13.

Tabel 11. **Verschillen tussen vloeibare en vaste meststoffen. NB: Nitraat en kali op zandgrond zijn erg mobiel; daarentegen is fosfaat weinig mobiel. Fosfaatmeststoffen zijn dan ook weinig gevoelig voor uitspoeling.**

	verspuiten	injecteren	fertigeren
toepassing	-basisgift en bijbemesting -volvelds	-éénmalig, basisgift of startgift -volvelds of in de rij	-geleide bemesting -volvelds of in de rij
spreiding adviesgift in de tijd	-bijbemestingen hoger	- gift wordt niet gespreid	-hoger
nauwkeurigheid van toedienen; ruimtelijke spreiding	nauwkeuriger toediening	- bij volvelds injectie van ammoniak onregelmatiger verdeling van de gift (bij gebruik spaakwielinjector mogelijk uniformere verdeling) - bij rijenbemesting uniformere verdeling en minder grondverstoring	nauwkeuriger toediening
concentratie gift	-bij bijbemestingen laag	-laag-hoog. Bij een hoge ammoniumconcentratie van N-meststoffen wordt nitrificatie geremd.	-laag
voordelen bij droogte	-hoeven niet op te lossen -deels direct via blad opneembaar	-hoeven niet op te lossen -plaatsing in veelal vochtiger grond -bij rijenbemesting plaatsing dicht bij de wortels	-hoeven niet op te lossen -door combinatie met irrigatie geen vocht tekort
voordelen bij neerslagoverschot	-minder uitspoeling door grotere spreiding gift -minder uitspoeling door lager aandeel nitraat in N-meststoffen	-minder uitspoeling door regelmatig vrijkomen van meststoffen -minder uitspoeling door lager aandeel nitraat in N-meststoffen	-minder uitspoeling door grotere spreiding gift
nadelen bij neerslagoverschot		-kunnen ook bij zeer veel neerslag uitspoelen	-extra aanvoer van vocht
nadelen algemeen	-bijbemesting alleen bij lage concentraties van N- en K-meststoffen mogelijk	-bij éénmalige toediening geen bijsturing -bij rijenbemesting van de basisgift moet voor bijbemestingen een gewasindicator worden ontwikkeld	-voor gewassen die een hoge basisgift nodig hebben, moet eerst een bodemvoorraad worden opgebouwd -bij druppelfertigatie moet een gewasindicator worden ontwikkeld
bemonsteringsfrequentie	-verschilt niet	-lager (niet of éénmalig)	-verschilt niet of hoger
gewasgezond	-combinatie met gewasbeschermingsmiddelen leidt mogelijk tot betere werking	-mogelijk minder gevoelig voor ziekten door regelmatig groei	-bij druppelfertigatie mogelijk een lagere ziektedruk t.o.v. beregenen en bemesten doordat de bovengrondse delen droog blijven. -mogelijk minder gevoelig voor ziekten door regelmatig groei
arbeid	-arbeidsbesparend	-arbeidsbesparend	-arbeidsintensiever

9.1. Éénmalige giften en basisgiften van stikstof

Op gronden met een (potentieel) sterke nalevering van stikstof (kleigronden en zandgronden met een hoge aanvoer van (dierlijk) organische meststoffen) kan in het algemeen beter worden gekozen voor een basisgift met bijbemestingen dan voor een éénmalige injectie van ammoniumhoudende meststoffen. Voor een basisgift kan beter worden gekozen voor KAS dan voor een bespuiting van urean. Het verspuiten van urean leidt namelijk niet tot hogere opbrengsten, maar wel tot hogere giften dan het gebruik van KAS. Zeker op kalkrijke kleigrond, zal een aanzienlijk deel van de stikstof in de vorm van ammoniak vervluchtigen. Wel heeft urean een aantal nevenvoordelen, zoals het gemak van toediening, arbeidsbesparing en eventueel besparing op het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Gebruik van urean is alleen rendabel voor de grote graanbedrijven. Het gebruik van alleen ammoniumhoudende meststoffen, die minder gevoelig zijn voor ammoniak vervluchtiging, is vanwege hun prijs niet rendabel.

Op uitspoelinggevoelige, weinig mineraliserende zandgronden zou het éénmalig injecteren van ammoniak, urean of de cultanoplossing een mogelijkheid kunnen zijn. Zover deze methoden momenteel worden toegepast, worden nauwelijks hogere opbrengsten verkregen of lagere giften gegeven dan met (bij)bemestingsystemen met vaste meststoffen. Overigens lijkt de cultanoplossing minder geschikt voor gewassen die voor de begingroei veel stikstof nodig hebben. Verder zal gedurende de zomer het geïnjecteerde ammonium vrij snel in nitraat worden omgezet, hetgeen bij veel neerslag bijbemesting mogelijk noodzakelijk maakt.

Een andere mogelijkheid is bovengenoemde ammoniumhoudende meststoffen in de grond te injecteren, waarbij vervolgens met vaste of vloeibare meststoffen wordt bijbemest. Vooralsnog wordt deze combinatie niet toegepast, zodat over de meerwaarde geen uitspraken kunnen worden gedaan. Wel valt het te verwachten dat ook injectie van meststoffen niet snel rendabel zullen zijn voor de in het algemeen laag salderende akkerbouwgewassen.

Tabel 12. **Resultaten met stikstofmeststoffen. Een inschatting van het rendement is gemaakt ten opzichte van gangbare (bij)bemestingsystemen met vaste meststoffen (NB gebruik van ammoniak is niet meer toegestaan).**

	verspuiten	injecteren	fertigeren
Toepassing	basisgift en bijbemesting (volvelds)	éénmalig of basisgift (volvelds of de rij)	geleide bemesting (volvelds of in de rij)
N-meststoffen	ureum urean	ammoniak (volvelds) cultanoplossing (in de rij) urean (volvelds/in de rij)	veelal urean
Gewassen	basisgift: -alle akkerbouwgewassen bijbemesting -aardappel, granen en groentegewassen	zomergranen, aardappel en groentegewassen	aardappel en groentegewassen
Bodem	niet op kalkrijke bodems	akkerbouwgewassen: -bij eenmalige gift alleen op weinig mineraliserende zandgronden najaarsteelten groenten: -alle gronden	alle gronden
Verhoging opbrengst	basisgift: eerder lagere opbrengst vanwege ammoniakvervluchtiging deelgiften: -op zand vermoedelijk iets hoger -op klei vermoedelijk iets lager	akkerbouwgewassen: -ammoniak: ca. 3% opbrengstverhoging -cultan: niet -urean: onbekend najaarsteelten groenten: -cultan: gem. ca. 8% in prei -urean: vermoedelijk in spuitkool	aardappel: -gemiddeld niet; max. tot ca. 5% verhoging groentegewassen: -vooral uniformere groei; verlaagd zich vooralsnog niet in een hogere uitbetaling
Verlaging gift	gemiddeld hogere gift vanwege ammoniak vervluchtiging	akkerbouwgewassen: -waarschijnlijk niet najaarsteelten groenten: -alleen bij overeenkomstige opbrengsten	aardappel: -onduidelijk groenten: -naar verwachting wel
Kosten	urean is voor grote graanbedrijven rendabel indien dit ca. f0,15 goedkoper is dan KAS	akkerbouwgewassen: -niet rendabel najaarsteelten groenten - wel rendabel	aardappel : -niet rendabel groenten -vermoedelijk wel rendabel

9.2. Deelgiften en bijbemestingen van stikstof

Voor bijbemestingen en deelgiften kan KAS, urean of fertigatie worden gebruikt. Op droogte- en uitspoelingsgevoelige zandgronden zal de keuze tussen KAS en urean sterk afhangen van de beregeningsmogelijkheden. Indien kan worden beregend, lijkt urean geen meerwaarde te bieden ten opzichte van KAS. Indien niet beregend kan worden, zal stikstof uit urean eerder dan uit KAS voor het gewas beschikbaar komen. Op deze gronden lijkt het gebruik van urean dan ook tot een iets hogere opbrengst te leiden. Daar bij droogte een aanzienlijk deel van de stikstof als ammoniak kan vervluchtigen zal in het algemeen niet op de gift bespaard kunnen worden. Daarentegen zou bij veel neerslag het toedienen van kleine giften urean wel tot een aanzienlijke besparing van de mestgift moeten leiden. Dit is echter onvoldoende gekwantificeerd. Op kleigronden lijkt het bijbemesten met urean geen voordelen te bieden ten opzichte van KAS. Bij fertigatie vindt geleide bemesting plaats door gedurende het groeiseizoen kleine porties direct voor het gewas beschikbare meststof met het irrigatiewater mee te geven. Hierbij is het voor een goede sturing van de gewasgroei noodzakelijk dat regelmatig de bodem en/of het gewas word(en)(t) bemonsterd. Zoals eerder gezegd lijkt de besparing op de N-gift bij aardappel niet wezenlijk hoger te zijn dan bij het breedwerpig toedienen van KAS volgens de bladsteeltjesmethode. Terwijl de meeropbrengst hoogstens 5% zal zijn. Hogere besparingen op de gift zijn wellicht mogelijk bij het verder optimaliseren van de bemestingsadviezen voor fertigatie. Een nevenvoordeel van druppelfertigatie ten opzichte van beregenen en bemesten zou zijn dat er mogelijk minder ziektes optreden vanwege een regelmatigere groei (door een regelmatigere aanvoer van meststof) en het droog blijven van de bovengrondse delen bij de vochtverziening. Dit komt in het onderzoek echter onvoldoende tot uiting.

Geconcludeerd kan worden dat fertigatie, vanwege de hoge kosten, alleen zinvol is voor hoog salderende gewassen op droogtegevoelige percelen.

9.3. Stikstofbemesting bij najaarsteelten

In late preiteelten is de cultanmethode perspectiefvol (hfst 5). Door de éénmalige gift (meestal in loonwerk uitgevoerd) kan aanzienlijk op arbeid worden bespaard, daarnaast worden gedurende het groeiseizoen geen gewas- en bodemonsters genomen. Vooral vanwege de hogere opbrengsten hoeft deze methode niet duurder te zijn dan breedwerpig strooien volgens NBS. In hoeverre bij najaarsteelten van andere groentegewassen de injectie van ammoniumhoudende meststoffen perspectief biedt, zou verder onderzocht kunnen worden (zie ook hfst. 5 en 11).

Tabel 13. **Resultaten met NP-meststoffen. Een inschatting van het rendement is gemaakt ten opzichte van gangbare bemestingssystemen met vaste meststoffen.**

	verspuiten	injecteren	fertigeren
Toepassing P-meststoffen	bijbemesting (volvelds) NP-meststoffen APP werkt niet beter dan andere NP-meststoffen	startgift (in de rij) NP-meststoffen APP werkt niet beter dan andere NP-meststoffen	geleide bemesting (in de rij) NP-meststoffen APP werkt mogelijk beter dan andere NP-meststoffen
Gewassen	fosfaatbehoefte gewassen	fosfaatbehoefte gewassen; vooral aardappelen en stamslabonen	aardappel
Bodem	bij laag Pw-getal	geen relatie met Pw-getal binnen of boven het streeftraject	n.v.t.
Verhoging opbrengst	gemiddeld niet: toepassing is nog niet uit ontwikkeld	bij een koud en droog voorjaar. In aardappel gem. 3% hogere opbrengst; in stamslabonen ca. 2%.	moeilijk los te koppelen van effecten N en K
Verlaging gift	niet bekend	niet	niet bekend
Kosten	wordt niet in de praktijk toegepast	geen verschil met vaste NP-meststoffen. Waarschijnlijk iets gemakkelijker toe te dienen.	niet rendabel

9.4. Startgiften met NP-meststoffen

Fosfaatbehoefte gewassen hebben in het algemeen een slechte begingroei van het wortelstelsel. Bij deze gewassen komt een startgift met NP-meststoffen het beste tot zijn recht (tabel 13).

Bij toediening in de rij kunnen NP-meststoffen in een band of vlak bij het plant/zaai/pootgat worden geplaatst. Dit kan zowel met vaste als vloeibare meststoffen. Logischerwijs kan ervan worden uitgegaan dat vloeibare meststoffen bij rijenbemesting nauwkeuriger kunnen worden toegediend dan vaste meststoffen. Naarmate de dosering lager is, zal de onnauwkeurigheid bij vaste meststoffen toenemen. Daarnaast kunnen bij vloeibare meststoffen dunnere toedieningskouters worden gebruikt, hetgeen minder grondverstoring geeft. Echter uit het onderzoek naar NP-bemesting in aardappelen (Puschner, 1991; Van Geel, 2000a) en uien (de Visser, 1996; Van Geel, 2000a) kan niet worden achterhaald of vloeibare meststoffen beter werken dan vaste. Ook zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat polyfosfaten (APP) beter werken dan orthofosfaten.

9.5. Basis- en deelgiften van fosfaat en kali

Vloeibare fosfaat- en kalimeststoffen zijn te duur om hiermee het hele bouwplan van fosfaat of kali te voorzien. Bij lage fosfaattoestanden lijkt het dan ook het meest voor de hand te liggen rijenbemesting met vaste fosfaatmeststoffen toe te passen, zoals nu al voor een aantal gewassen wordt geadviseerd. Eventuele tekorten in het groeiseizoen (bijvoorbeeld vanwege droogte) zouden mogelijk met vloeibare fosfaatmeststoffen op te vangen zijn. Uit het onderzoek met bijbemestingen met vloeibare fosfaatmeststoffen komen echter (nog) geen duidelijke resultaten. Vloeibare kalimeststoffen zijn momenteel ook voor bijbemestingen te duur. Daarnaast kunnen kalimeststoffen alleen bij lage concentraties, vanwege bladverbranding, worden toegepast.

10. Complicaties bij het onderzoek naar vloeibare meststoffen

Door de betere plaatsing en dosering (in tijd en ruimte) van vloeibare dan van vaste meststoffen zouden deze tot (i) hogere opbrengsten, (ii) lagere kunstmestgiften en/of (iii) lagere stikstofuitspoeling moeten leiden. In de praktijk worden hooguit meeropbrengsten van ca. 5% gevonden, terwijl de besparingen op de kunstmestgift, en daardoor verminderde uitspoeling van stikstof, veelal onduidelijk zijn. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op factoren die een rol kunnen spelen bij de teleurstellende en/of onduidelijke resultaten met vloeibare meststoffen.

10.1. Proefopzet

Vergelijking tussen bemestingssystemen

In proeven met vloeibare en vaste meststoffen verschilt vaak zowel de vorm, plaatsing als ook het tijdstip en de hoeveelheid van de gedoseerde meststoffen. De meeste proeven kunnen daarom beter worden beschouwd als een vergelijking tussen bemestingssystemen dan tussen meststoffen. Voor het bepalen van de meerwaarde van een nieuw ontwikkeld bemestingssysteem zou altijd een vergelijking moeten worden gemaakt met een in de bemestingsadviesbasis (van Dijk, 1999) genoemd bemestingssysteem met vaste meststoffen (bijvoorbeeld bladsteeltjes bij aardappel). Ook kan het zinvol zijn verschillende alternatieve bemestingssystemen rechtstreeks met elkaar te vergelijken, bijvoorbeeld cultanmethode versus Entec (breedwerpig en in de rij toegediend) in prei en fertigatie versus flexfertilizersysteem in aardappelen.

In specifieke gevallen is het lastig conclusies uit het onderzoek te trekken. Voor zover bekend zijn er in Nederland geen proeven uitgevoerd waarbij de werking van vloeibare en vaste NP-meststoffen direct met elkaar wordt vergeleken. Daarom blijft de vraag onbeantwoord of vloeibare NP-meststoffen beter werken dan vaste. In Duitsland is er kritiek op het onderzoek van Sommer, omdat de cultanmethode alleen wordt vergeleken met een éénmalige breedwerpig toegediende gift van een vaste meststof. Uit dit onderzoek kan ten onrechte worden geconcludeerd dat wel kan worden bespaard op de gift van de vloeibare meststof, maar niet op die van de vaste meststof. Ook in Duitsland is het gebruikelijk vaste meststoffen volgens een NBS te geven. Daarnaast is er geen onderzoek bekend waarbij de cultanmethode wordt vergeleken met rijenbemesting met vaste meststoffen. Andersom komt het overigens ook voor dat de vloeibare meststof niet naar gewasbehoefte wordt gegeven, maar teveel in deelgiften over het groeiseizoen wordt gespreid (bijvoorbeeld bij onderzoek naar fertigatie en bijmestsystemen in aardappelen). Hieruit kan ten onrechte worden geconcludeerd dat vloeibare meststoffen niet werken.

Vraagstelling

Het dient aanbeveling het onderzoek op één vraagstelling te concentreren, waardoor het aantal objecten afneemt. Het is daarentegen wel nodig om meerdere niveaus per factor, zoals mestgift of tijdstip van toediening, mee te nemen. Waarschijnlijk kunnen hierdoor betrouwbaardere uitspraken worden gedaan dan nu veelal het geval is. Daarnaast kan bij meerdere niveaus per factor de gewasrespons beter modelmatig worden beschreven, hetgeen vaak meer inzicht geeft in de uitkomsten en mogelijke trends dan alleen op basis van de resultaten van een variantie-analyse. Teneinde de effecten van weers- en bodemomstandigheden te kunnen kwantificeren verdient het aanbeveling onderzoek, met dezelfde opzet, over meerdere jaren en locaties uit te strekken. Hierdoor kunnen omgevingsfactoren veel beter worden gekwantificeerd en eventueel gemodelleerd. De relevante parameters moeten dan wel in kaart worden gebracht.

Het onderzoek wordt verder gecompliceerd doordat de verschillen tussen objecten vaak gering zijn, terwijl die tussen herhalingen relatief groot zijn. Vanwege kostenaspecten wordt in het landbouwkundig onderzoek vaak niet meer dan vier herhalingen per object aangelegd. Het verhogen van zowel het aantal herhalingen als niveaus van factoren zal mogelijk eerder tot significantie leiden. Verder is het aan te bevelen dat in een achtergronddocument de volledige ANOVA (d.w.z. met restvariantie) wordt weergegeven. Voor vervolgonderzoek kan dan beter worden ingeschat in hoeverre een verhoging van het aantal herhalingen wel tot significantie van factoren zal leiden.

10.2. Hoge bodemvruchtbaarheid

De gemiddelde bodemvruchtbaarheid is hoog te noemen in Nederland. Ook indien niet met stikstof wordt bemest, wordt ca. 80% van de opbrengst van optimaal bemeste objecten gevonden. Voor kali en fosfaat geldt dat voor de meeste percelen de kali- en fosfaattoestanden zodanig hoog zijn dat een startbemesting of bijbemesting vaak geen verschil geeft ten opzichte van het achterwege laten van bemesting. Slechts in uitzonderlijke jaren zal gedurende het groeiseizoen een tekort aan fosfaat of kali ontstaan. Hierdoor vallen voor fosfaat en kali per definitie de verschillen tussen vloeibare en vaste meststoffen weg.

Bovendien zijn de bemestingsadviezen gebaseerd op exponentiele gewasresponsmodellen. Dit impliceert dat zeker in het traject vanaf ca. 95% van de maximale marktbaar opbrengst in verhouding veel meststof nodig is om tot een kleine meeropbrengst te komen. Het lijkt dan ook niet erg realistisch te verwachten dat door de inzet van vloeibare meststoffen veel hogere opbrengsten worden verkregen. Hetgeen door de resultaten van het onderzoek wordt bevestigd. Bij de veelal laag salderende akkerbouwgewassen zijn de hogere kosten van bemestingssystemen met vloeibare meststoffen dan ook niet snel terugverdiend.

Bij verdere aanscherping van de milieuregels biedt het wellicht perspectief het zwaartepunt van het onderzoek te verplaatsen naar lagere giften in plaats van hogere opbrengsten. Zoals eerder gezegd verdient het aanbeveling de besparing op de mestgift bij het gebruik van vloeibare meststoffen steeds af te zetten tegen de in de bemestingsadviesbasis geadviseerde bemestingssystemen of andere (in ontwikkeling zijnde) systemen met vaste meststoffen. Eventuele extra kosten van de meststof zelf en/of van de toediening ervan zouden dan moeten worden afgezet tegen de financiële consequenties van overschrijdingen van milieunormen.

10.3. Hoogte van de giften

Bij geleide bemesting kan zowel gebruik gemaakt worden van vaste als vloeibare meststoffen. Met de komst van meer geavanceerde kunstmeststrooiers kan ook met kunstmest steeds nauwkeuriger, tot een N-gift van ca. 30 kg N/ha (KAS), worden bemest. Wel wordt vaak uitgegaan van een VC (variatioëfficiënt) van ca. 15%. Bij het gebruik van urean in aardappelen en granen kan afhankelijk van het groeistadium hoogstens 10 à 20 kg N/ha in één keer worden toegediend. Terwijl bij de huidige akkerbouwadviezen vaak giften van minimaal 30 tot 40 kg N worden geadviseerd (zie Hfst. 11).

Het is de vraag of lagere giften zinvol zijn. Zo kunnen binnen percelen aanzienlijke verschillen in bodemvruchtbaarheid aanwezig zijn. In een modelstudie van van Noordwijk en Wadman (1992) naar economisch en ecologisch optimale stikstofbemestingsniveaus wordt op basis van literatuurgegevens uitgegaan van verschillen in N_{min} in het voorjaar van 30 kg/ha en in mineralisatie van 17 kg/ha. Verder moet rekening worden gehouden met een afwijking van ca. 10 kg N/ha in de bepaling van N_{min} in bodemmonsters. Kleine giften van 10 – 20 kg N/ha zoals die met vloeibare meststoffen kunnen worden gegeven, vallen in het niet bij deze ruis.

Daarnaast blijkt het in de praktijk moeilijk te zijn het juiste tijdstip en de juiste dosering van de mestgift te bepalen. Bij bijmestsystemen wordt de gift bepaald aan de hand van N_{min} in de bodem of stikstofgehalten in bladeren (niet destructief via chlorofyl- en reflectiemetingen) of bladsteeltjes (destructief door bepalingen van het N-gehalte). Daarnaast zijn modellen in ontwikkeling waarbij aan de hand van de gewasontwikkeling, weersomstandigheden en mineralisatie van de bodem wordt voorspeld wat de toekomstige behoefte aan meststof zal zijn. Met beslissingsmodellen kan worden bepaald of al dan niet bemest moet worden. Gebruikmakend van de bladsteeltjesmethode wordt bij aardappelen gemiddeld genomen ca. 40 á 50 kg N/ha op de stikstofgift bespaard met vaste meststoffen. Vooralsnog worden met de andere systemen geen betere resultaten verkregen (Wijnholds, 2000). Verdere verfijning (d.w.z. een hogere frequentie van de bepaling van de gewas- en/of bodemstatus en daaruit voortvloeiend lagere adviesgiften) lijkt, naast ruimtelijke variatie, vooral te worden belemmerd door het feit dat (i) de mineralisatie van organische stof en weersomstandigheden moeilijk te voorspellen zijn en daardoor de hoogte van de mestgift; (ii) de indicatoren die de gewasstatus bepalen nog te onnauwkeurig zijn en (iii) behoorlijk veel tijd kan verstrijken tussen het tijdstip van bemonstering (alleen bij destructieve methoden) en het tijdstip van bemesten. Hierbij kan worden afgevraagd dat indien een (meetbare) suboptimale N-status van het gewas wordt aangetroffen een bijbemesting al niet te laat plaatsvindt.

11. Mogelijkheden voor een efficiëntere bemesting door de inzet van vloeibare meststoffen

Het is te verwachten dat de efficiëntie van bemesting vooral zal kunnen worden verhoogd bij gewassen waarvoor het zinvol is meststoffen in de rij en/of in deelgiften toe te dienen. Factoren die hierbij van belang zijn: (i) de fysiologie (nutriëntenbehoefte in de tijd en ontwikkeling wortelstelsel) en teeltwijze (tijdstip van de teelt; rijafstand) van het gewas; (ii) bodemfactoren (hierbij al dan niet aanvoer van dierlijke mest) en (iii) weersomstandigheden (hierbij mogelijkheid tot beregenen). In dit hoofdstuk wordt per gewas ingegaan op de mogelijkheden de efficiëntie van bemesting te verhogen door de inzet van vloeibare meststoffen.

Door Smit (1994) is de benuttingsindex (verhouding tussen opgenomen stikstof en beschikbare stikstof) voor verschillende gewassen berekend (tabel 14). Hierbij valt op dat aardappelen, uien en prei een slechte stikstofbenutting hebben (lage NBI en daardoor N-min na de teelt). Spruitkool en prei worden beide laat in het seizoen geteeld. In de tweede helft van de veldperiode is de kans op stikstofuitspoeling bij deze gewassen dan ook hoog. Wel heeft spruitkool een veel hogere stikstofbenutting dan prei. De overige gewassen hebben ook een hoge stikstofbenutting. Normaliter laten deze gewassen dan ook een schoon profiel achter. In tabel 15 is aangegeven welke gewassen fosfaatbehoefte zijn.

Tabel 14. **Stikstofopname, stikstofadvies, gemiddelde mineralisatie gedurende de veldperiode, stikstofbenuttingsindex (NBI) en N-min. NBI is berekend op basis van het advies en de te verwachten mineralisatie. Bij het advies is uitgegaan van een N-min van 50 in het voorjaar. Bij de mineralisatie is uitgegaan van een mineralisatiesnelheid van 0,7 kg N per ha per dag bij een bodemtemperatuur van 20 °C en een Q₁₀ van 2. Er is vanuit gegaan dat de mineralisatiesnelheid alleen afhankelijk is van de temperatuur (naar Smit, 1994).**

gewas	planten	oogst	N-opname totaal	N-beschikbaar			NBI	N-min ¹ na de teelt	
				adviesgift	mineralisatie	totaal		klei	zand
aardappel	15/4	15/9	200	230	84	364	0,55	68	68
prei	15/6	15/1	200	220	81	351	0,57	91	91
spruitkool	1/6	15/1	232	190	89	329	0,71	7	
suikerbiet	1/4	1/11	210	125	109	284	0,74	15	25
zaaiui	15/3	1/10	125	130	102	282	0,44	60	
wintertarwe	najaar	1/8	245	200	84	284	0,86	22	36
witlof	15/5	15/1	315	10	99	159	0,72	24	
wortelen	15/4	1/1	150	50	105	205	0,73	24	

1 Gegevens uit het project 'sturen op nitraat'

Aardappel

Aardappel heeft een lage NBI (tabel 14). Deze lage NBI hangt samen met een slecht ontwikkeld wortelstelsel in het begin van het seizoen. In de loop van het groeiseizoen breidt het wortelstelsel zich in de breedte goed uit. In de diepte blijven de wortels beperkt tot een bodemlaag van 40 à 50 cm.

Rijenbemesting: Bij de huidige hoge bodemvruchtbaarheid wordt met rijenbemesting van zowel stikstof als fosfaat geen of slechts een kleine opbrengstverhoging gevonden (van Erp en Dijksterhuis, 1991; van Erp en Titulaer, 1992; Alblas, 1999). Wel kan met stikstofrijenbemesting ca. 13% op de gift worden bespaard (Prummel, 1957). Deze besparing is minder dan in het algemeen met volvelds bemesten met KAS volgens NBS wordt gevonden. Rijenbemesting met stikstof lijkt dan ook niet zinvol. Ook rijenbemesting met fosfaat leidt in het algemeen niet tot een verhoging van de opbrengst, maar kan wel tot besparing in de gift van ca. 33% (van Erp en Titulaer, 1992). Bij een algehele daling van de bodemvruchtbaarheid zou fosfaatrijenbemesting dan ook eerder zinvol zijn dan die van stikstof. Een startgift met een NP-meststof leidt in het algemeen wel tot een opbrengstvermeerdering (zie hfst. 6). In hoeverre bij rijenbemesting vloeibare meststoffen meerwaarde bieden, zou verder onderzocht kunnen worden. Hierbij zouden dan ook aspecten als uniformiteit van toediening, grondverstoring en structuurbeschadiging moeten worden meegenomen.

Gedeelde giften: Voor consumptieaardappel wordt geadviseerd 60-70% van de adviesgift als basisbemesting te geven. In het algemeen leidt het verlagen van deze basisgift tot opbrengstderving. Vervolgens kan worden gekozen om de resterende gift één week na de knolzetting te geven of te laten afhangen van de gewasbehoefte. Bij de bladsteeltjesmethode wordt 1x in de 4 à 5 weken het N-gehalte in bladsteeltjes bepaald. Afhankelijk van het N-gehalte wordt geadviseerd om niet te bemesten of te bemesten met een gift

van ca. 40-50 kg N/ha. Deze gift kan nog voldoende nauwkeurig met KAS worden gegeven. Bij het gebruik van urean moet deze gift worden gedeeld, vanwege de kans op bladverbranding. Wel kan het delen van de gift tot minder uitspoeling leiden. Overigens zal bij een maximaal productief (en verdampend) gewas als aardappelen gedurende het groeiseizoen niet snel een neerslagoverschot ontstaan. Bij de bladsteeltjesmethode kan bij een basisgift van 60% (ca. 150 kg N/ha) en een gift van 20% (ca. 50 kg N/ha) één week na de knolzetting maximaal 50 kg N/ha op de totale gift worden bespaard. Bij weglaten van de tweede gift is dit ca. 100 kg N/ha. In het algemeen wordt bij deze methode een besparing van ca. 50 kg/ha op de N-gift verkregen t.o.v. van een éénmalige gift (van Loon en Houwing, 1989). Op kleigrond lijkt de momenteel gehanteerde bemonsteringsfrequentie bij toepassing van de bladsteeltjesmethode voldoende te zijn. Het verhogen van de frequentie zou op uitspoelingsgevoelige zandgrond nog wel tot een efficiënter gebruik van meststoffen kunnen leiden. Echter, uit de resultaten verkregen met fertigatie kan worden geconcludeerd dat het toedienen van zeer kleine porties van nutriënten vooralsnog niet tot veel hogere besparingen op de mestgift en/of hogere opbrengsten leiden. Een complicatie bij fertigatie kan echter zijn dat soms te veel op de basisgift wordt gekort (zie ook hfst. 8).

Bij zetmeelaardappelen wordt ongeveer dezelfde strategie gevolgd als bij consumptieaardappelen. Door van Loon e.a. (1995) werd 60% van de stikstof vóór poten; 20% na de knolaanleg en vervolgens bijbemesten op basis van de bladsteeltjesmethode vergeleken met 60% voor poten en vervolgens bijbemesten op basis van deze methode. Dit leverde in beide gevallen een besparing van 25 - 40 kg N/ha op ten opzichte van een éénmalige adviesgift. Bemesten op basis van N_{min} (NBS) voldeed iets minder. De resultaten van bijmestsystemen zijn echter vaak niet eenduidig. Zo komt uit onderzoek van Wijnholds (2000) naar voren dat het bijmesten van stikstof met behulp van verschillende bijmestsystemen op veenkoloniale gronden en dalgrond niet duidelijk heeft geleid tot een hogere opbrengst of benutting van stikstof ten opzichte van een éénmalige gift.

Samenvattend kan worden gesteld dat een hoge N-basisgift (minimaal 60% van het advies) noodzakelijk is. Bijbemesten met twee volggiften (op basis van bladsteeltjes) lijkt vooralsnog voldoende. Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat de gewasbehoefte niet nauwkeuriger kan worden bepaald met de tot nu toe ontwikkelde bijmestsystemen (zie ook hfst. 10). Bij opsplitsing in maximaal twee deelgiften zal de gift voldoende nauwkeurig met vaste meststoffen toegediend kunnen worden. Het gebruik van vloeibare meststoffen zal vooralsnog alleen op droogte- en uitspoelingsgevoelige zandgronden, waarop niet of slechts beperkt beregend kan worden, meerwaarde kunnen bieden. Het meest voor de hand liggend is dit met urean te doen.

Bij droogte zou fosfaatbijbemesting zinvol kunnen op gronden met een lage fosfaattoestand. Echter, goede indicatoren voor een tijdige herkenning van fosfaatgebrek zijn vooralsnog niet aanwezig. In hoeverre vloeibare fosfaatmeststoffen hierbij meerwaarde bieden is onduidelijk. Op uitspoelingsgevoelige zandgronden zou gebruikt kunnen worden gemaakt van een kalibijmeststelsel. Gezien de hoge prijs van vloeibare kalimeststoffen en de kans op bladverbranding biedt het gebruik hiervan geen meerwaarde ten opzichte van vaste meststoffen.

Prei en spruitkool

Prei en spruitkool worden laat in het seizoen geteeld, hierdoor neemt de kans op stikstofuitspoeling toe. De begingroei van prei is langzaam: de wortels ontwikkelen zich zowel in de breedte als diepte slecht. Bij veel neerslag zal de stikstof al gauw wegzakken tot beneden de wortelzone. Daarentegen is de begingroei en de doorworteling van het bodemprofiel van spruitkool goed.

Prei is bij uitstek een gewas dat baat heeft bij rijenbemesting met een langzaam vrijkomende meststof. Het is daarom niet verwonderlijk dat de injectie van de cultanoplossing bij prei het meeste perspectief lijkt te bieden (hfst. 5). Voor spruitkool komt stikstof uit de cultanoplossing vermoedelijk te langzaam vrij. Uit de praktijk worden wel goede resultaten gemeld met de injectie van urean.

Door Van Geel wordt momenteel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om de cultanoplossing tweemaal te injecteren in prei. Ook zou het interessant zijn een rechtstreekse vergelijking te maken tussen de cultanmethode en de toepassing van Entec (al dan niet in de rij toegediend). Daarnaast kan het zinvol zijn de injectie van een basisgift te combineren met bijbemesting.

Suikerbieten

De stikstofbehoefte van suikerbiet is vooral hoog in het begin van de groei. Relatief gezien t.o.v. de overige

gewassen is de totale behoefte echter laag (ca. 125 kg N/ha). Bovendien is suikerbiet een gewas dat het bodemprofiel goed doorwortelt (tot een diepte van 150 cm). Door van der Beek & Wilting (1994) is onderzoek gedaan naar rijenbemesting bij suikerbieten. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat door rijenbemesting met vaste stikstofmeststoffen ca. 30% op de stikstofgift kan worden bespaard en bij een trage ontwikkeling (vroeg zaai/lage temperaturen) tot een meeropbrengst van 3% kan leiden. Rijenbemesting wordt echter vanwege de hoge kosten niet geadviseerd. Omdat de stikstofbehoefte vooral in het begin van de groei hoog is, lijkt bijbemesten met stikstof niet zinvol te zijn (Wilting, 2000; de Jager, 2001). Bovendien kan suikerbiet later in het groeiseizoen, door de goede doorworteling van het bodemprofiel, ook stikstof die uit het bovenste deel van het bodemprofiel is uitgespoeld, opnemen. Bij de cultanmethode komt de stikstof mogelijk te geleidelijk vrij, hetgeen het suikergehalte negatief kan beïnvloeden. Wel zou rijenbemesting met andere stikstofmeststoffen mogelijk perspectieven kunnen leveren.

Zaaiui

Uien hebben net als prei een slecht ontwikkeld wortelstelsel. Daarnaast zijn uien gevoelig voor een continue nalevering van stikstof. Zeker in de afrijpingsfase geeft dit verlating van het gewas. Bovendien kan te veel stikstof de kwaliteit nadelig beïnvloeden.

Alhoewel het te verwachten valt dat N-rijenbemesting een positief effect zal hebben, is dit niet uit het onderzoek naar voren gekomen (de Visser, 1996). Een mogelijke verklaring is een te hoge concentratie van de vloeibare meststof dicht bij de wortels. Overigens blijkt uit de door de Visser (1996) geciteerde buitenlandse onderzoek dat de resultaten met zowel vaste als vloeibare meststoffen niet éénduidig zijn. In het bemestingsadvies, gebaseerd op dit onderzoek, wordt aanbevolen een N-startgift van 30 kg N/ha te geven; de rest van de stikstof bij het vierde bladstadium, volgens 150-Nmin(0-60). Bij een Nmin van 50, zal de tweede gift dan 100 kg N/ha zijn. Het verder opdelen van de gift levert geen verdere winst op. Bij zaaiui lijken vloeibare meststoffen, zoals het er nu naar uitziet, weinig perspectief te bieden. De resultaten van een startgift met een NP-meststof zijn niet eenduidig. Het kan zijn dat bij een lagere fosfaattoestanden dit meer perspectief biedt.

Zomergerst

In het algemeen hebben granen een goede stikstofbenutting. Bij brouwergerst leidt zowel een tekort als overmaat tot verminderde opbrengst en kwaliteit. Deling van de stikstofgift leidt niet tot een verhoogde opbrengst, op zandgrond wordt dit zelfs afgeraden. Bij voergerst wordt wel geadviseerd dit te delen, dit kan leiden tot een opbrengstverhoging van 3 à 4%. De tweede gift dient echter niet meer dan 30-40 kg N/ha te bedragen. De eerste gift ligt dan in dezelfde orde van grootte. Gezien de geringe giften zou dit eventueel goed door middel van bespuiting met vloeibare meststoffen kunnen. Bij gevaar voor bladverbranding zou overwogen kunnen worden om dit met sleepslangetjes te doen. Milieukundig gezien lijkt er bij zomergerst echter geen noodzaak scherper te bemesten.

Wintertarwe

Dit gewas wortelt diep en kan dus, net zoals suikerbiet, ook stikstof die uit de bovenste bodemlaag is gespoeld, opnemen. Uit milieukundig oogpunt is het niet direct noodzakelijk wintertarwe scherper te bemesten. Op kleigronden wordt geadviseerd de stikstofgift in drieën te delen als 100-60-40 kg N/ha. Op zandgrond worden lagere, maximaal twee, stikstofgiften geadviseerd met een totale maximale gift van 160 kg N/ha. De eerste gift is gebaseerd op N-mineraal. De volggiften staan min of meer vast. Deze giften zijn dusdanig hoog (≥ 40 kg N/ha) dat het gebruik van vloeibare meststoffen niet erg zinvol lijkt.

Momenteel wordt veel onderzoek gedaan naar bijmestsystemen die zijn gebaseerd op de gewasstatus. Als indicator voor de bepaling van de tweede en (eventuele) derde gift wordt een cropscaan (reflectiemetingen) of chlorofylmeter gebruikt. Ook wordt nagegaan of op de eerste gift kan worden bespaard, waarbij eventueel hogere tweede of derde giften kunnen worden gegeven (Timmer, 2001). Met bovengenoemde methoden kan in één werkgang de gewasstatus en daaraan gekoppeld de N-gift worden bepaald. Het is vooralsnog onduidelijk hoe nauwkeurig dit systeem zal zijn. Bij een hoge mate van nauwkeurigheid, waarbij het ook zinvol is ruimtelijke variatie mee te nemen, kunnen vloeibare meststoffen zeker perspectieven bieden. In Hfst 12 wordt hier verder op ingegaan. Naast urean, kan de toepassing van duurdere meststoffen, die minder gevoelig zijn voor ammoniakvervluchtiging, perspectieven bieden (zie ook hfst. 7).

Witlof en wortelen

De behoefte van deze gewassen is in het algemeen gering zodat een deling van de stikstofgift weinig zinvol is. Zeer kleine giften kunnen wel nauwkeuriger worden toegediend met vloeibare meststoffen.

Samenvatting

In tabel 15 zijn de resultaten samengevat. In het algemeen zal bij rijenbemesting geen meeropbrengst worden verkregen. Wel kan op de gift worden bespaard. Bij geleide bemesting zal een mogelijke meeropbrengst en verdere besparing op de mestgift vooral afhangen van de nauwkeurigheid van gewas- en bodemindicatoren.

Tabel 15. **Samenvattende tabel gewaseigenschappen en perspectieven voor rijenbemesting en geleide bemesting. De totale N-gift is gebaseerd op een N-min van 50 in het voorjaar. NBI= stikstofbenuttingsindex.**

gewas	gewaseigenschappen			hoge kans N-uitspoeling door:		rijenbemesting		volveldstoepassingen N		
	NBI	P-behoef-tig	beperkte bewor-teling	beperkte bewort-eling	tijdstip jaar	NP-start-gift	N	totaal kg N/ha	verdeling over de giften (in % van de totale gift)	verdere opsplitsing zinvol?
aardappel	0,55	ja	diepte	ja	nee	ja	nee	230	hoge basisgift + een of meerdere bijgiften: 60-20-rest of 60-rest	klei: nee zand: ja
prei	0,57	ja	diepte/ breedte	ja	ja	ja/nee	ja	220	meerdere giften: 33-33-33	ja
spruitkool	0,71	ja	nee	nee	ja	nee	ja	190	meerdere giften: klei: 50-50 zand: 40-20-20-20	klei: nee zand: ja
suikerbiet	0,74	nee	nee	nee	nee	nee	ja/nee	125	éénmalig of 2 ^{de} gift in 4 ^{de} bladstadium	nee
zaaiui	0,44	ja	diepte/ breedte	ja	nee	ja/nee	ja/nee	130	hoogste gift in 4 ^{de} bladstadium: 25-75	nee
zomergerst		nee	nee	nee	nee	nee	nee	50	éénmalige gift	nee
winter-tarwe	0,86	nee	nee	nee	nee	nee	nee	klei: 200 zand: 160	hoge 1 ^{ste} of 2 ^{de} gift klei: 45-36-18 zand: 50-50	neemest-systemen zijn nog in ontwikkeling
witlof	0,72	nee	nee	nee	nee	nee	nee	10	éénmalige gift	nee
wortelen	0,73	ja	nee	nee	nee	nee	nee	50	éénmalige gift	nee

12. Toekomstige ontwikkelingen en perspectieven voor onderzoek naar vloeibare meststoffen

Het overgrote deel van de akkerbouwbedrijven blijkt aan de Minaseindnormen te kunnen voldoen. Ook op uitspoelingsgevoelige gronden, waarbij een verliesnorm van 60 kg N/ha wordt gehanteerd, lijkt geen Minasoverschot voor stikstof te ontstaan. Ook niet als volgens goede landbouwpraktijk met dierlijke mest wordt bemest. Zolang fosfaatkunstmest niet onder Minas valt, lijkt dit ook het geval te zijn voor fosfaat (Dekkers en Smid, 1999). Indien dit wel het geval is, kunnen middels rijenbemesting veel van de problemen worden opgelost.

Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat het gebruik van vloeibare meststoffen in de akkerbouw voornamelijk te weinig rendement oplevert. In hoofdstuk 11 is al ingegaan op perspectieven van vloeibare meststoffen voor de afzonderlijke gewassen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op toekomstige ontwikkelingen waarbij het gebruik van vloeibare meststoffen zinvol kan zijn.

- Op korte termijn zal door een efficiënter gebruik van dierlijke mest hoogstwaarschijnlijk meer winst te behalen zijn dan dat van kunstmest. Op langere termijn kan bij een verdere aanscherping van de milieu-regels en daaruit voortvloeiend een verlaagd aanbod van dierlijke mest de bodemvruchtbaarheid van landbouwpercelen dalen. Hierbij is het te verwachten dat precisiebemesting met vloeibare meststoffen beter tot haar recht komt.
- Momenteel ligt de prioriteit bij het verder optimaliseren van bijmestsystemen. Hierbij kan vooral worden gedacht aan betere indicatoren voor het bepalen van de gewasbehoefte en voor het voorspellen van de mineralisatie van organische stof. Bij een verdere verfijning van bijmestsystemen zullen niet alleen de doseringen lager worden, maar zal het ook belangrijker worden dat de meststoffen snel opneembaar zijn. Dit zal gemakkelijker te bereiken zijn met vloeibare dan met vaste meststoffen.
- Het is niet voor alle gewassen zondermeer duidelijk of (onder het huidige advies) op de basisgift kan worden gekort. Bij gewassen waarbij dit wel mogelijk is, kan met vloeibare meststoffen beter worden ingespeeld op eventuele tekorten in het groeiseizoen. Het is echter de vraag of agrariërs momenteel dit risico willen nemen. Daarnaast zal het verder verfijnen van de mestgift tot hogere kosten van bemons-tering, toedieningsapparatuur en arbeid leiden.
- Door een afname van het gebruik van dierlijke mest zal in de toekomst de mineralisatie afnemen. Wellicht zal bij akkerbouwgewassen het éénmalig in de rij of volvelds injecteren van stikstofmeststoffen dan meer perspectief bieden dan op dit moment. Daarnaast valt het te verwachten dat bij aanscherping van de milieuregels voor fosfaat rijenbemesting meer zal worden toegepast. In hoeverre rijenbemesting met vloeibare meststoffen meerwaarde biedt ten opzichte van vaste meststoffen zou nader onderzocht kunnen worden. Hierbij zouden ook facetten meegenomen moeten worden als arbeidsbesparing, struc-tuurschade en gewasschade veroorzaakt door toedieningskouters.
- De combinatie van injectie van de basisgift en bijbemestingen zou met name voor groentegewassen perspectieven kunnen leveren. Wel moet bij injectie in de rij voor een aantal groentegewassen, zoals prei, nog een gewasindicator worden ontwikkeld.
- Met vloeibare meststoffen zijn meer dan met vaste meststoffen allerlei combinaties van en variaties op meststoffengebruik mogelijk. In hoeverre gewas- en perceelsspecifieke vloeibare mengmeststoffen meerwaarde bieden ten opzichte van vaste is niet onderzocht.
- In Nederland is tot voor kort weinig belangstelling voor precisiebemesting geweest voor het opvangen van verschillen binnen percelen. Dit heeft te maken met het feit dat: (i) de percelen vrij klein zijn; (ii) in het verleden veel cultuurtechnische maatregelen zijn uitgevoerd om de bodemgesteldheid te verbeteren en (iii) de gemiddelde bodemvruchtbaarheid al erg hoog is. Maatregelen die in het waterbeheer worden genomen (zoals waterconservering), leiden waarschijnlijk tot een grotere heterogeniteit binnen perce-len. Daarnaast kan een afname van de algehele bodemvruchtbaarheid eerder tot ruimtelijke verschillen in opbrengsten leiden. Uit simulatiestudies blijkt dat indien de mestgift voor iedere ruimtelijke eenheid gedurende het seizoen zoveel mogelijk in overeenstemming wordt gebracht met de vraag, besparingen tot soms 50% mogelijk zijn (Kasper e.a., 1999). Verificatie van deze studies middels praktijkproeven heeft echter niet plaatsgevonden. Bovendien is de apparatuur benodigd voor precisiebemesting mo

menteel niet snel rendabel (Visser en Dekking, 2000). Te verwachten is dat deze apparatuur in de toekomst snel goedkoper zal worden. Daarnaast zullen detectiemethoden van de gewasstatus, zoals de cropscan, waaraan meteen de benodigde mestgift wordt gekoppeld wellicht goedkoper zijn dan methoden gebaseerd op GPS.

- Zowel met vaste als vloeibare meststoffen kan de meststofgift in de rijrichting (lengterichting van een perceel) gemakkelijk worden gevarieerd. Bij kunstmeststrooiers is het niet mogelijk de strooibreedte te variëren. Afhankelijk van de breedte van de kunstmeststrooier wordt dan een strook van ca. 24-36 meter uniform bemest. Bij toediening van vloeibare meststoffen via een veldspuit of een precisiebemester is het gemakkelijker de mestgift over de werkbreedte te variëren dan met een kunstmeststrooier.

Conclusies

- Er zijn vele toepassingsmogelijkheden van vloeibare meststoffen, die niet zonder meer met elkaar of met vaste meststoffen kunnen worden vergeleken. Het gemeenschappelijke voordeel ten opzichte van vaste meststoffen is dat ze nauwkeuriger en beter gedoseerd kunnen worden toegediend. In principe moet dit leiden tot een uniformere groei, hogere opbrengsten en kwaliteit van gewassen en lager gebruik en minder uitspoeling van meststoffen.
- In normale jaren is er meestal geen verschil in opbrengst tussen vaste en vloeibare meststoffen. In extreme jaren wordt met vloeibare meststoffen hoogstens een opbrengstverhoging van ca. 5% bereikt. Verder valt ook bij vaste meststoffen, zowel volvelds als in de rij toegepast, ongeveer dezelfde besparingen in mestgift te behalen. In het geval van bespuitingen met urean wordt eerder meer dan minder meststof gebruikt. De geringe verschillen tussen vloeibare en vaste meststoffen zijn waarschijnlijk het gevolg van de hoge bodemvruchtbaarheid in Nederland. Verschillen vallen dan snel weg. Daarnaast kan met vloeibare meststoffen de gift nauwkeuriger worden toegediend dan dat momenteel de behoefte aan een gift kan worden ingeschat.
- In het algemeen zijn de perspectieven voor vloeibare meststoffen het grootst op mineraalarme droogte- en uitspoelingsgevoelige zandgronden. In de rij geïnjecteerde vloeibare meststoffen zijn bij droogte in het voordeel omdat ze onder of naast de wortels worden geplaatst. Bespuitingen met vloeibare meststoffen als bijbemesting hebben als voordeel dat een deel van de meststof direct via het blad wordt opgenomen. Daarnaast vindt door de grotere spreiding van de gift minder snel uitspoeling plaats. Voor stikstofmeststoffen geldt dat minder uitspoeling optreedt door het lagere aandeel nitraat in vloeibare meststoffen dan in KAS.
- Op kleigronden en zandgronden met een hoge aanvoer van dierlijke mest vindt gedurende het groeiseizoen veel nalevering van stikstof plaats. Het is niet goed mogelijk deze nalevering goed in te schatten. Het éénmalig injecteren van vloeibare meststoffen op deze gronden levert vanwege deze onnauwkeurigheid geen voordelen op ten opzichte van het geven van deelgiften van vaste meststoffen. Op kalkrijke jonge zeekleigronden moet vanwege ammoniakvervluchting het gebruik van ammoniumhoudende meststoffen sterk afgeraden worden. Wel kan hier een methode als fertigatie met nitraatmeststoffen goed worden gebruikt.
- Vloeibare stikstofmeststoffen bieden het meest perspectief bij najaarsteelten en/of gewassen met een slecht ontwikkeld wortelstelsel. Voor de typische akkerbouwgewassen is het perspectief het grootst voor aardappelen, ongeacht de gebruikte toepassing. Urean kan het gemakkelijkst bij meerdere gewassen worden ingezet. Late teelten van groentegewassen reageren in het algemeen positief op het injecteren van ammoniumhoudende meststoffen.
- Het geven van een startgift met vloeibare fosfaatmeststoffen is het meest zinvol in fosfaatbehoefteige gewassen. In het algemeen lijken de NP-meststoffen iets beter te werken dan superfosfaat en tripelsuperfosfaat. De meerwaarde van APP ten opzichte van andere NP-meststoffen is nihil.
- Vloeibare meststoffen hebben een aantal nevenvoordelen ten opzichte van vaste meststoffen. Bij zowel het volvelds toedienen van urean, als ook bij de cultanmethode hoeft minder te worden berekend dan bij het gebruik van vaste meststoffen. Ook druppelfertigatie leidt tot een besparing van ca. 10-15% in watergift. Verder leidt minder of helemaal niet beregenen mogelijk tot een lagere ziektedruk. Een voordeel van urean is dat de mestgift veelal gecombineerd kan worden met het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Bovengenoemde voordelen zijn echter niet goed gekwantificeerd.
- Momenteel is het niet rendabel om alle meststoffen vloeibaar toe te dienen. Voor het in stand houden van de fosfaat- en kalistoestanden van percelen kan beter dierlijke mest of vaste kunstmeststoffen worden gebruikt. Zeker voor kali is het veel rendabeler dit in vaste vorm te geven. Het gebruik van urean is alleen voor de grote graanbedrijven rendabel. Wel kunnen de kosten van opslag toe nemen bij aanscherping van de milieueisen. Het éénmalig injecteren van ammoniumhoudende meststoffen hoeft bij najaarsteelten van groentegewassen niet noodzakelijkerwijze duurder te zijn dan breedwerping strooien van KAS volgens een stikstofbijmestsysteem. De hogere kosten van toediening worden grotendeels gecompenseerd door de iets hogere opbrengst en de lagere kosten van bemonstering. Fertigatie is vooralsnog bij aardappelen economisch niet rendabel, zeker niet als hierbij ook nog eens de kosten van ar

beid en bemonstering worden meegeteld.

Referenties

- Alblas, J. (1999). Stikstofrijenbemesting heeft geen effect op de wortelverdeling bij aardappelen. PAV-Bulletin Akkerbouw oktober. Pp: 29-31.
- Andreas, C. (1996). Düngung nach dem Cultan-Verfahren: Projekt von Praxis, Beratung und Versuchsanstalt im Anbaugebiet Straelen. Gemüse 32(4): 14- 20.
- Asman, W.A.H. Ammonia emission in Europe: Updated emission and emission variations. Technisch. Rapport 228471008, RIVM, Bilthoven.
- van der Beek, M.A. en Wilting P. (1994). Onderzoek naar de mogelijkheden van stikstofrijentoediening bij suikerbieten in 1990-1992. IRS PAGV verslag 167.
- Booij, R., Smid, H. en Wijnolds, K. (1999). Bepaling van de effectiviteit van fertigatie met polyfosfaten en calciumnitraat in zetmeelaardappelen. AB-DLO. Wageningen. Nota 152.
- Booij, R., Smid, H., en Eijnholds, K. (2000). Bepaling van de effectiviteit van fertigatie met HydroTerra, CalciNit en Krista-K in aardappelen (pootgoed en consumptie) geteeld op zandgrond. PRI, Wageningen. Nota 5.
- Bouwman, A.F., Lee, D.S., Asman, W.A.H., Dentener, F.J., Van der Hoek, K.W., en Olivier, G.J. (1997). A global high-resolution emission inventory for ammonia. Global Biogeochemical Cycles 11: 561-587.
- van Brakel, G.D (1967). De bemesting met ammoniak in de praktijk. Stikstof 56: 380-384.
- Brewster, J.L., Rowse, H.R.en Bosch, A.D. (1991). The effects of sub-seed placement of liquid N and P fertilizer on the growth and development of bulb onions over a range of plant densities using primed and non-primed seed.
- van Burg, P.F.J. (1966). Een bespuiting van suikerbieten met ureum. Landbouvoorlichting 23: 357 - 359.
- van Burg, P.F.J. (1967). De stikstofbemesting van aardappelen. 3. De invloed van een bespuiting met ureum. Stikstof 54: 315-316.
- van Burg, P.F.J. (1970). Ammoniakinjectie als methode van stikstofbemesting. 9. Overzicht van proefveldresultaten in West-Europa. Stikstof 64: 127-132.
- van Burg, P.F.J., Dilz, K. en Prins, W.H. (1982). Landbouwkundige waarde van verschillende stikstofmeststoffen. Stikstof 100: 518-540.
- van Burg, P.F.J. en Schepers, J.H, (1972). Ammoniakinjectie als methode van stikstofbemesting. 10: Resultaten van proefvelden met fabriksaardappelen 1964-1970. Stikstof 70: 416-418.
- van Burg, P.F.J., Schepers, J.H., van Brakel, G.D. (1966a). Ammoniakinjectie als methode van stikstofbemesting. 2. Het effect van het tijdstip van injecteren in de herfst en in het vroege voorjaar op de opbrengst van zomergewassen.
- van Burg, P.F.J., Schepers, J.H., van Brakel, G.D. (1966b). Ammoniakinjectie als methode van stikstofbemesting. 4. Resultaten van proeven met wintertarwe.
- Burt. C., O'Connor, K., Ruehr, T. (1998). Fertigation. Irrigation Training and Research Center. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA.
- Bussink, D.W. (1999). Perspectieven van vloeibare meststoffen op grasland. NMI-Verslag 509.99.
- Dekkers, W.A. en Smid, J. (1999). Bedrijfskundige en financiële gevolgen invoering Minas. In: Naar maatwerk in bemesting. PAV themaboekje 22.
- van Dijk, W. (1999). Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PAV Publicatie 95.
- Dilz, K. en van Brakel, G.D. (1986). Ongelijkmatig strooien van meststoffen kost geld. Meststoffen 1: 6-11.
- Englestad, O.P. en Ellen, S.E. (1971). Proc. Soil Sci. Soc. Am. 35: 1002
- Engel, M., Langbehn, C., Schmidtke, A. (1992). AHL (Ammonitrat-Harnstoff-Losung) und Pflanzenschutz. Rationalisieringskuratorium für Landwirtschaft (RKL). Kiel.
- van Erp, P. en Titulaer, H.H.H. (1992). Rijenbemesting in de akkerbouw met vollegrondsgroenteteelt. Meststoffen 1992. Pp 10-15.
- Fairly, T.E. en Goos, R.J. (1986). Urea hydrolysis and ammonia volatilization characteristics of liquid fertilizer mixtures. II. Studies on modified field conditions. J. of Fertilizer Issues 3(3): 86-90.
- Van Geel, W.C.A. (2000). Fertigatie zand valt tegen: secure irrigatie en bemesting is duur en doet weinig. Akkerbouw 85(11): p25.

- Van Geel, W.C.A. (2000). Geen meerwaarde polyfosfaat. PAV Bulletin Akkerbouw April pp. 38-41.
- Van Geel, W.C.A. (2001). Cultan beter in prei dan in ijsbergsla. Groenten en Fruit 24: 48-49.
- Geelen, P. (1996). Het gebruik van polyfosfaat in zomergerst (resultaten 1996). Stichting Proefboerderij Wijnandsrade.
- Gascho, G.J. (1986). Improving the fertilizer efficiency of urea ammonium nitrate solutions by adding other nutrients. J. of Fertilizer Issues 2(2): 38-41.
- Handboek Meststoffen. NMI (2000). Onder redactie van M.A.A. Evers, V.R.C. Hensgens en R. Pothoven.
- Harper, J.E. (1984). Uptake of Organic Nitrogen Forms by Roots and Leaves. In: R.D. Hauck ed. Nitrogen in Crop Production. Proceedings of a symposium held 25-27 May 1982 at Sheffield, Alabama. Am. Soc. of Agric. Madison, Wisconsin.
- Hotsma, P.H. (1989). Oplossing voor sommige gebreksziekten: bladbemesting beperkt toepasbaar. Vollegrond 11(4): 13.
- de Jager, M. (2001). Bijbemesten in suikerbieten niet zinvol. Oogstplus Landbouw 1 juni: pp 7.
- Janssen, B.H. en M.L. van Beusichem (1995). Nutriënten in bodem-plant relaties (J100-200). Collegedictaat Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding. LUW.
- Kasper, G.J., Lokhorst, C. en Booij, R. (1999). (On)mogelijkheden van granulaire en vloeibare meststoffen bij toepassing van precisielandbouw. IMAG-DLO Nota P99-58.
- Kost, W. (1998). Hohenheimer Cultan-Gesprache. Gemuse 34: 6, S14-S17.
- Langben, C., en Schmidtke A. (1992). Fest oder flüssig: Stickstoff gezielt einsetzen. Wann AHL-Düngung wirtschaftlich ist. DLZ: Die landwirtschaftliche Zeitschrift für Produktion – Technik – Management 43(1): 21 – 28.
- Lewis, J. en Kettlewell, P. (1995). Phosphat-Blattdüngung mit positiven Effekten.- 3 jährige Untersuchungen am Harper-Adams College, Shropshire, England. Der Kartoffelbau 46(4): 158-160.
- van Loon, C.D. en Houwing, J.F. (1989). Optimalisering van de stikstofvoeding van consumptie-aardappelen. PAGV-publicatie 42.
- van Loon, C.D., Wijnholds, K.H. en Baltissen, A.H.M.C. (1995). Optimalisering van de N-voeding van zetmeelaardappelen. PAV-verslag 192.
- van Loon, C.D. (1996). Vloeibare stikstof geen oppepper: bladbemesting bij aardappelen doet opbrengst iets dalen. Boerderij/Akkerbouw 81(12): 31.
- van Loon, C.D., Floot, H.W.G. en Verstegen, H.A.G. (1998). Urean goed alternatief. PAV-Bulletin Akkerbouw November pp: 3-5.
- Mayen, A.W. (1994). Stickstoff gezielt einsetzen. AHL-Düngung mit Vor- und Nachteilen. DLZ 94: 56-61.
- van der Mheen, H. (2000). Precisiebemesten. Intern rapport 440. Praktijkonderzoek Veehouderij.
- van Noordwijk, M. en Wadman, W.P. (1992). Effects of spatial variability of nitrogen supply on environmentally acceptable nitrogen fertilizer application rates to arable crops. Neth. J. Agric. Science 40: 52-72.
- Paauw, J. (2000). Duidelijke meeropbrengst door irrigatie en fertigatie: ook flinke besparing op stikstof lijkt binnen handbereik door nauwkeurig sturen van de watergift. Akkerbouw 85 (8): pp 24-25.
- Paauw, J. (2001). Druppelirrigatie en fertigatie in Bintje consumptie-aardappelen. PPO-Bulletin Akkerbouw 1: 5-6.
- Peusens, J.B. (1997?). Ureumbladbemesting en overbemesting met kalkammonsalpeter bij het aardappelras Hansa op zandgrond. Jaarverslag PAGV.
- Postma, R. en van Erp P. (1998). Meer knol, hogere stikstof-efficiëntie: stikstofbemesting van aardappelen door fertigatie biedt perspectieven. Boerderij/Akkerbouw 83(10) 24-25.
- Prummel, J. (1981). Bemestingsbeleid voor fosfaat en kali op bouwland. 2 kalium. Stikstof 99: 478-483.
- Puschner, Ch., (1991). NP-Unterfussdüngung Variierte Phosphatform in der Grunddüngung zu Kartoffeln. Der Kartoffelbau 42(1) 22-25.
- de Rooster, L. en Spiessens, JK. (1998). Cultan een stikstofvrijbemestingssysteem. Proeftuinnieuws 1998(6): 25-28.
- de Rooster, L. en Spiessens, JK. (1999). Stikstofvrijbemesting bij prei: Hoopvolle resultaten! Proeftuinnieuws 1999(4): 21-23.
- Rops, A.H.J. (1996). Invloed van fosfaat-bladbemesting op de opbrengst en het knolaantal van poot-aardappelen. PAV-jaarverslag 1996: pp. 41-44.
- Scharpf, H.C. (1996). Ammonium-Depotdüngung: Pro und Contra beim Cultan-Verfahren. Deutscher Gartenbau 50: 13. Suppl. p.: XXI-XXII.

- Slabbekoorn, J.J. (1999/2000). Cultan in consumptieaardappelen 1999 en 2000. Rapport PAV-regio Zuid-west.
- Smit, A.L. (1994). Stikstofbenutting. Themadag stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. Themaboekje 18 PAV: 9-22.
- Strijckers, J. en van Himme M. (1973). Interactie tussen herbiciden en vloeibare meststoffen in winter- en zomertarwe. Mededelingen van het Centrum voor Onkruidkunde van de Rijksuniversiteit Gent. pp: 44-46.
- Sommer, K. (2000). "Cultan" cropping system: Fundamentals, state of development and perspectives. In: Nitrogen in a sustainable ecosystem: from the cell to the plant. Ed. M.A. Martins-Loucao and S.H. Lips : pp. 361-375. Bakhuy's Publ, Leiden.
- Sommer, K. en Schumacher, H.J. (1999). Anbau von Kartoffeln nach dem Cultan-Verfahren. Abstracts of Conference Papers, Posters and demonstrations. 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Italy. pp.: 84-85.
- Sutton, C.D. en Larsen, S. (1964). Soil Sci. 97: 196
- Timmer, R.D. (1997). Toepassing urean bij wintertarwe een goed alternatief? PAV-Bulletin Akkerbouw. Februari 1997.
- Timmer, R.D. (2001). Wintertarwe op maat bemesten. PPO-Bulletin Akkerbouw 2: 5-7.
- Titulaer, H.H.H. (1995). Fertigatie in de vollegrondsgroenteteelt. Meststoffen 1995: 58-66.
- Titulaer, H.H.H. (1999). Vloeibare stikstofmeststoffen perspectiefvol. PAV-bulletin Vollegrondsgroenteteelt. Februari 1999.
- Titulaer, H.H.H. en Kanters, F.M.L. (2000). Bemestingssystemen met vloeibare meststoffen. PAV Bulletin Vollegrondsgroente December 2000. pp 32-35.
- Veerman, A. (2001). Variatie in knolkwaliteit tussen en binnen partijen van consumptieaardappelrassen. Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Venugopalan, M.V. en Prasad, R. (1994). Nature, Behavior and Agronomic Value of Ammonium Polyphosphate as Phosphate Fertiliser – A Review. Fertiliser News 39: 27-33.
- Visser, A.J. en Dekking, A.J.G. (2000). Haalbaarheidsstudie high-tech landbouw. PAV projectrapport 39.0.38
- de Visser, C.L.M. (1996). Toepassing van het stikstofbijmeststelsel in zaaiuien. PAGV verslag 220.
- de Visser, C.L.M. (1997). Stroperig spul geeft geheim niet prijs. Polyfosfaten: de ene keer wondermiddel, de andere keer gewone meststof. Boerderij/Akkerbouw 82 (5): 36-37 AK
- Weinand, A. (1994). Stickstoff gezielt einsetzen: AHL – Düngung mit Vor- und Nachteilen. D.L.Z. 45(2): 56-61.
- Wijnholds, K.H. (1996). Effecten van Nitro-plus op Rhizoctonia en opbrengst bij poot- en zetmeelaardappelen. Jaarverslag PAGV-Lelystad. No 81A: 50-52.
- Wijnholds, K.H. (1997). Het gebruik van ammoniumpolyfosfaat (Hydro Terra) in zetmeelaardappelen. Jaarverslag PAV.
- Wijnholds, K.H. (2000). Opbrengst en onderwatergewicht van zetmeelaardappelen sturen door stikstofbemesting aan te passen. PAV Bulletin Akkerbouw 4 December: 31-36.
- Willige, Moritz en Breuniger (1991). Stickstoff-Düngung: AHL wird immer attraktiver Nitrogen application. Top agrar 12: 22-27.
- Wiltling, P. (2000). Stikstofbijbemesting. Project 04-01. IRS Jaarverslag 1999.
- Wolber, D (2000). Tankmischungen im Getreide: was geht, was geht nicht? Top Agrar 2000(2): p. 70-74.