

# KUNSTMEST

## De natuur een handje helpen

**P**lantten halen de benodigde voedingsstoffen, zoals water en nitraten, via hun wortels uit de bodem. Voor een goede groei moet de grond wel voldoende voedingsstoffen bevatten. Bij een toenemende voedselproductie – die voedselrijke en vruchtbare grond vereist – kan dit problemen geven. Van oudsher heeft de mens al gezocht naar manieren om de natuurlijke voedingsstoffen in de bodem aan te vullen. Dit heeft de afgelopen 150 jaar geleid tot de ontdekking, ontwikkeling en verbetering van kunstmest.

Als de wereldbevolking in 2030 de teller van acht miljard mensen passeert en als de welvaart door de wereldwijde economische groei dan nóg groter is, zal de behoefte aan landbouwgewassen alleen maar verder zijn toegenomen. Niet in de laatste plaats omdat welvarende mensen liever

dierlijk dan plantaardig voedsel willen eten, en er voor 1 kg rundvlees toch al gauw 7 kg graan nodig is als veevoer. Om de bestaande landbouwgronden veel efficiënter te gebruiken moeten dan ook vernieuwde en aangepaste mestmethoden worden ontwikkeld.

### In deze Chemische Feitelijkeid

- De Context: Wat is kunstmest en waaruit bestaat het? Waarom kiezen boeren voor kunstmest in plaats van dierlijke mest?
- De Basis: Het vereist veel chemische creativiteit om zuivere stikstof om te zetten in bruikbare stikstofverbindingen. Hoe wordt kunstmest gemaakt?
- De Diepte: Mest is nodig, maar te veel is niet goed. Nieuwe methoden moeten leiden tot bemesting op maat.

Sinds de ontdekking van de landbouwchemie weten we dat stikstof van levensbelang is voor de groei van planten. Maar aan het gewone gas uit de lucht hebben ze niets. Planten eten stikstof in de vorm van nitraat en ammonium.

# Zonder stikstof geen leven

Water en kooldioxide zijn qua hoeveelheid de belangrijkste bouwstoffen voor planten. Van andere voedingsstoffen hebben ze minder nodig, al zijn die wel essentieel voor de groei. Stikstof (N) is zo'n onontbeerlijke bouwsteen. Planten gebruiken het om levensbelangrijke verbindingen te maken, zoals aminozuren, eiwitten, DNA, enzymen en vitamines. En niet te vergeten chlorofyl, de groene bladkleurstof die verantwoordelijk is voor de fotosynthese: het proces waarbij onder invloed van zonlicht zowel zuurstof als koolhydraten worden gevormd uit kooldioxide en water. Kortom: waar stikstof is, is leven.

De meeste planten kunnen stikstof alleen in minerale vorm uit de bodem opnemen: als nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Deze stikstofmineralen verplaatsen zich vervolgens naar de hogere delen van de plant, meestal in de vorm van amino-stikstof ( $-\text{NH}_2$ ), waar ze verder worden omgezet naar complexe organische stikstofverbindingen zoals aminozuren en eiwitten. In groene planten is ongeveer 85 procent van de totale hoeveelheid stikstof aanwezig in de eiwitten.



De introductie van kunstmest en moderne landbouwmethoden heeft geleid tot efficiëntere akkerbouw. Zo steeg sinds 1950 de graanopbrengst van gemiddeld 2.000 tot 9.500 kg per hectare.

Naast stikstof hebben planten voor hun groei ook andere voedingsstoffen nodig, zoals fosfaat voor de wortelontwikkeling, kalium voor de sapstroom en zwavel voor de vorming van eiwitten.

## HANDJE HELPEN

Planten halen de benodigde voedingsstoffen via hun wortels uit de grond. Voor een goede groei moeten daarin natuurlijk wel genoeg voedingsstoffen

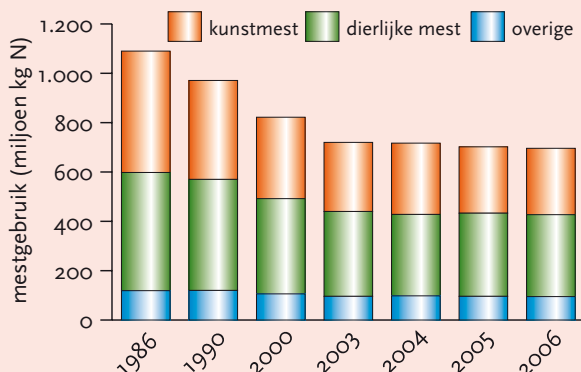
zitten. Als de natuur tekortschiet, kunnen deze broodnodige nutriënten via bemesting worden aangevuld. Vroeger gebeurde dit alleen met dierlijke mest, het biologisch afval dat het vee uitscheidt. Tegenwoordig vooral ook met kunstmest, een kunstmatig mengsel van minerale groeistoffen. Kunstmest bestaat uit een mix van zogenoemde hoofd- en sporenelementen, waarvan de samenstelling is afgestemd op een optimale groei van planten. Hoofdelementen zijn stikstof, fosfor en kalium (de zogeheten NPK-elementen), maar ook magnesium, zwavel en calcium. Van sporenelementen als ijzer, mangaan, zink, boor en koper hoeven planten slechts een klein beetje te krijgen.

Kunstmest moet gewassen goed laten groeien. Er bestaat daarom niet één kunstmest; de precieze samenstelling hangt af van wat een bepaald gewas nodig heeft op een bodem. In Europa wordt kalkammonsalpeter het meest gebruikt. Dit is een kunstmest op basis van ammoniumnitraat met als vulstof dolomiet (calciummagnesiumcarbonaat). Ammoniumnitraat is een belangrijke voedingsstof, die zowel stikstof in de vorm van ammonium als nitraat bevat.

## LANDBOUWCHEMIE

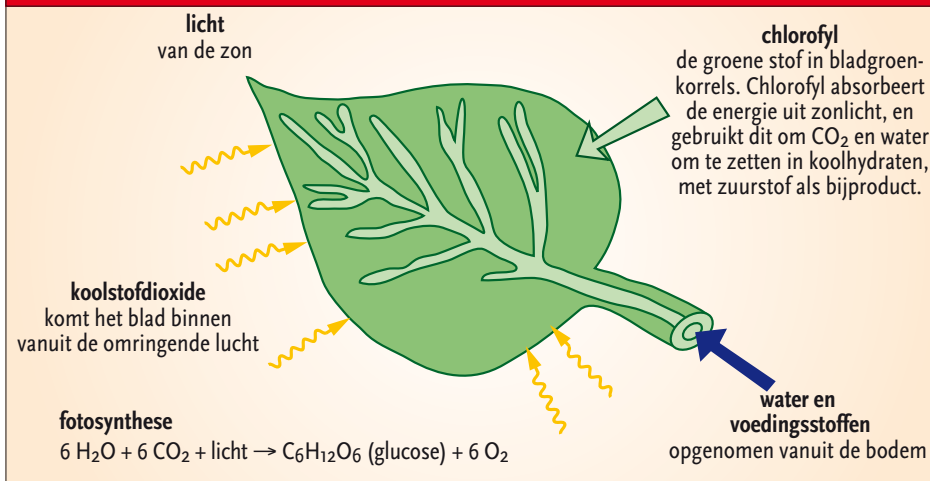
Al rond 1850 is kunstmest in de Europese landbouw geïntroduceerd, nadat Justus von Liebig de principes van plantenvoeding en plantengroei had ontdekt. Hij ontdekte de mogelijkheden van kunstmatige bemesting en hij legde daarmee de basis voor onze moderne landbouw. De Duitse chemicus onderzocht nauwkeurig welke elementen planten nodig hebben voor de groei. Hij kwam tot de conclusie dat daarvoor behalve

## STEEDS MINDER MEST



Tussen 1986 en 2006 daalde de aanvoer van stikstof op landbouwgrond in Nederland met 36 procent. Van de totale aanvoer van stikstof komt bijna 90 procent op landbouwgronden terecht, vooral in de vorm van dierlijke mest en kunstmest.

## FOTOSYNTHESE IN GROENE PLANTEN



koolstofdioxide en water ook elementen als stikstof, fosfor, kalium en zwavel nodig zijn. Door te experimenteren met mineralen slaagde Von Liebig erin om de bodem veel vruchtbaarder te maken. Hij gebruikte fosfaten als bron voor fosfor, sulfaten voor zwavel, kaliumzouten voor kalium en nitraten of ammonium voor stikstof.

Fosfaten, sulfaten en kaliumzouten waren destijds al volop verkrijgbaar. Anders lag het voor stikstof. De natuurlijke en geschikte basismaterialen hier-

voor moesten in die tijd uit verre landen komen als Chili, Peru en India. Daar beschikte men onder meer over *guano*, een natuurlijke afzetting van de uitwerpselen van zeevogels. Guano is rijk aan stikstof, fosfor en kalium en daardoor uitermate geschikt om landbouwgronden vruchtbaarder te maken. De natuurlijke voorraden waren echter al snel uitgeput. Salpeterlagen uit India eveneens. Nitraten uit Chili, de zogenoemde chilisalpeter (voornamelijk NaNO<sub>3</sub>), waren rond 1900 nog de enige geschikte stikstofbron. Door de Eerste Wereldoorlog (1914-1918) kwam de toevoer naar Duitsland volledig plat te liggen. Dit zette de Duitsers aan tot de ontwikkeling van chemische methoden om stikstofmineralen te maken. Het leidde tot de ontdekking van de ammoniaksynthese, de basis voor de huidige grootschalige kunstmestproductie.

## INDUSTRIEEL OF UIT DE STAL

Voor planten maakt het niet echt uit of hun voedingsstoffen afkomstig zijn van kunstmest of dierlijke mest. Voor de boer wel. Mest uit de stal is gratis, maar het gebruik ervan is gebonden aan strenge regelgeving. Vroeger mocht de boer zoveel gebruiken als hij wilde. Het enige wat telde was een maximale opbrengst.

Dat ligt tegenwoordig wel anders. Zo moet volgens de Europese Nitraatrichtlijn de hoeveelheid nitraat in het grondwater onder landbouwgrond uiteindelijk dalen tot minder dan 50 mg per liter. Daarom geldt vanaf 2009 voor bemesting van gemaaid grasland op zandgronden een maximum van 340 kg totale werkzame stikstof per hectare grond, waarvan maximaal 150 kg afkomstig mag zijn van dierlijke mest. In de praktijk zal dit

## (ON)GEWENSTE GROEI

Kunstmest bevordert de groei van gewassen, maar ook van ongewenst onkruid. De beste remedie is het onkruid in de kiem te smoren. Dit kan bijvoorbeeld met speciale wiede-eggen: apparaten met lange verende tanden die jonge kiemende onkruiden lostrekken en een stukje meenemen. Het gewenste gewas groeit dan door, terwijl het onkruid doodgaat of een fikse groeiachterstand oploopt. Als het gewas eenmaal 'gesloten' is en het licht wegneemt voor alles wat eronder groeit, krijgt onkruid weinig kans meer.



betekenen dat boeren hun stalmest zullen uitrijden tot die maximaal toegestane hoeveelheid en de overige 190 kg aanvullen met kunstmest.

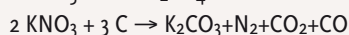
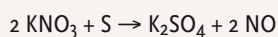
Dierlijke mest heeft als natuurproduct enkele nadelen. Zo zijn de samenstelling en de hoeveelheden voedingsstoffen niet constant, waardoor het lastig blijft om de bemesting goed af te stemmen op de behoefte van bodem en gewassen. Bovendien zijn vraag en aanbod niet altijd in evenwicht. In de periodes dat deze organische mest volop beschikbaar is, hebben boeren het vaak niet nodig op hun land – en omgekeerd. Het grote voordeel van dierlijke mest is dat het organisch (stikstof)materiaal bevat, waardoor de bodemvruchtbaarheid op langere termijn beter op peil blijft. Het stimuleert de activiteit van het leven in de bodem.

Kunstmest valt daarentegen beter te doseren, en planten kunnen de nutriënten vaak sneller opnemen. Daar staat weer tegenover dat de productie van kunstmest veel fossiele brandstof vergt (600 gram aardgas per kilo stikstof), waardoor het milieuonvriendelijk en duur is. Bovendien kan nitraat uit kunstmest vrij gemakkelijk uitspoelen bij veel regenval. Om kort te gaan: in dierlijke mest zitten, met de huidige regels voor het uitrijden, te weinig voedingsstoffen om aan de totale gewasbehoefte te voldoen. Minerale meststoffen uit kunstmest moeten dit tekort aanvullen.

## EXPLOSIEVE KRACHT



Nitraat heeft meer eigenschappen dan alleen planten helpen groeien. Het kan ook explosief zijn. Kaliumnitraat (salpeter) is als zuurstofleverancier een belangrijk onderdeel (75%) van zwart buskruit, dat verder bestaat uit houtskool (15%) en zwavel (10%). Ontsteking levert de volgende chemische reacties:



Hierbij gaan de vaste stoffen in een fractie van een seconde over in gassen. Dit principe wordt bijvoorbeeld gebruikt bij het afschieten van vuurpijlen. Kunstmest (met veel nitraten) is echter ook berucht voor het maken van gevaarlijke en zeer explosieve bommen.

Door de uitvinding van de **ammoniaksynthese** bleek het mogelijk om van inert stikstofgas een actieve stikstofverbinding te maken. Ammoniak vormt nog altijd de basis van de huidige kunstmestproductie.

# Van stikstof tot meststof

**H**oewel stikstofgas ( $N_2$ ) volop in de lucht aanwezig is en in direct contact staat met planten, kunnen die het niet gebruiken als stikstofvoeding. Het gas is namelijk zeer inert door de stevige drievoudige binding tussen de twee stikstofatomen. Daardoor kost het veel energie om deze binding te verbreken tot twee actieve stikstofatomen die kunnen reageren met koolstof, zuurstof of waterstof. Voor de aanmaak van stikstofverbindingen – zoals eiwitten – hebben planten dan ook stikstof nodig in een ‘actieve’ vorm. Deze bruikbare vorm van stikstof halen ze uit nitraten ( $NO_3^-$ ) en ammonium ( $NH_4^+$ ).

## NATUURLIJKE VOORZIENINGEN

**D**e omzetting tot reactieve stikstofatomen en actieve stikstofverbindingen heet het vastleggen van stikstof. In de natuur is dat geen probleem. Zo leveren bliksemontladingen voldoende energie om de N–N-binding te verbreken. De

gevormde actieve stikstofatomen kunnen neerslaan op de bodem en door planten worden opgenomen. Maar dit proces draagt maar voor 10 procent bij aan de natuurlijke vastlegging van stikstof. Een veel belangrijkere rol spelen bacteriën. *Azotobacter*-bacteriën zetten bijvoorbeeld in de bodem stikstofgas om in nitraat. Op een heel andere manier werken *Rhizobium*-bacteriën. Die gaan een symbiose aan met gewassen zoals bonen, erwten of klaver en maken zo ammonium uit stikstof. Via deze route komt jaarlijks circa 20 gram stikstof per  $m^2$  bodem beschikbaar. In ruil voor de levering van ammonium krijgen deze bacteriën koolhydraten van de planten.

Rottende planten of plantendelen brengen stikstof terug in de bodem als organische stikstofverbindingen. Bacteriën en schimmels breken deze af tot minerale stikstof (ammonium en nitraat), dat weer als voedingsstof dient voor andere planten. Dit proces heet mineralisatie. Maar er

is concurrentie: ook andere in de bodem levende organismen gebruiken deze organische voedingsbron. Daardoor komt via mineralisatie jaarlijks niet meer dan 0,2 gram stikstof per  $m^2$  beschikbaar.

## INDUSTRIËLE TEGENHANGER

**D**e Duitse chemicus Fritz Haber baarde in 1904 veel opzien toen hij er aan de Universiteit van Karlsruhe in slaagde om stikstof kunstmatig vast te leggen. Hij wist ammoniak te maken uit waterstof en stikstof. Helaas was de opbrengst erg laag, maar dat veranderde toen Haber de thermodynamica beter in de vingers kreeg. Bij een druk van 175 tot 200 atmosfeer, een temperatuur van 550 à 600 °C en een katalysator van osmium wist hij uiteindelijk ongeveer 6 procent van een waterstof/stikstof-gasmengsel om te zetten in ammoniak. Door zeer sterk te koelen werd het vloeibare ammoniak afgevoerd, waardoor de overgebleven waterstof en stikstof opnieuw konden worden gebruikt.

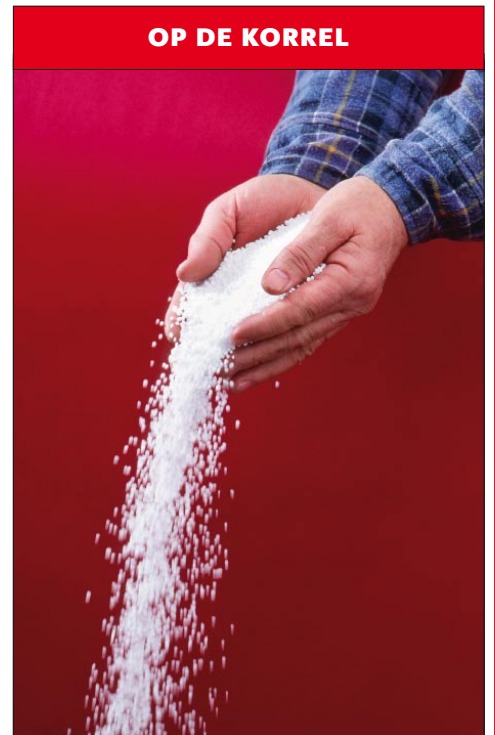
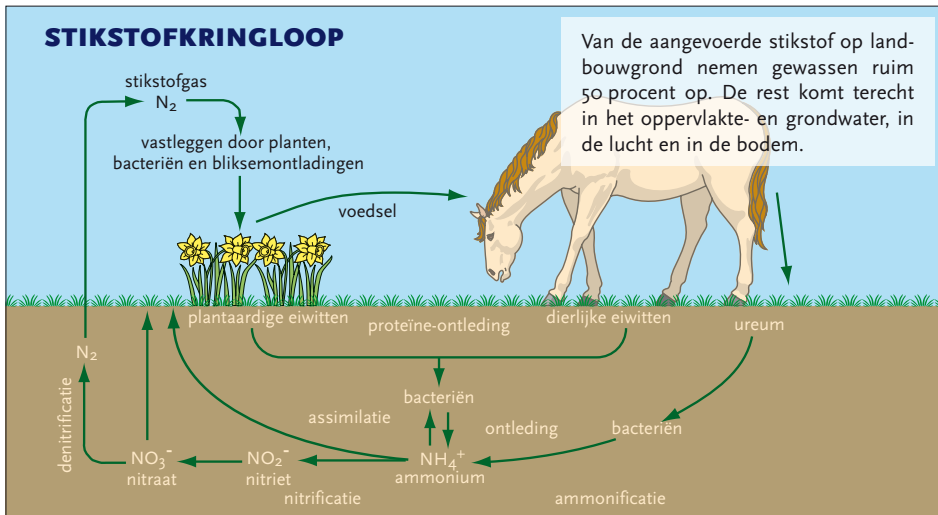
Voor verdere ontwikkeling en verbetering van dit proces nam Haber contact op met de Badische Anilin und Soda-Fabrik (BASF) in het Duitse Ludwigshafen. Hier onderzocht Paul Alwin Mittasch welke type katalysator de reactie sneller kon laten verlopen. Tegelijkertijd kreeg Carl Bosch, een chemicus met metallurgische achtergrond, opdracht om de opstelling op te schalen tot een proeffabriek. Daarbij bleken de nodige hobbels te moeten worden genomen. Zo bezweken zelfs buizen van de sterkste staalsoort na een paar uur proefdraaien. Waterstofmoleculen bleken het staal binnen te dringen, waardoor ze de structuur van het materiaal aantastten en het bros werd. Bosch loste dit probleem op met dubbelwandige buizen, bestaande uit een geperforeerde sta-

## CHEMIE VAN DE KUNSTMEST

naam	bestanddelen
kalkammonsalpeter	$NH_4NO_3$ (13,5 % $NH_4$ -N en 13,5 % $NO_3$ -N) + $CaMg(CO_3)_2$ (vulstof)
chilisalpeter	32 % $NaNO_3$ (15,5 % N) + 0,2 % B + 37 % $Na_2O$
zwavelzure ammoniak	$(NH_4)_2SO_4$ (21% $NH_4$ -N) + 24 % S
ureum	$(NH_2)_2CO$ (koolzuurdiamide) met 46 % N
superfosfaat	$P_2O_5$ ( $H_2PO_4^-$ en $HPO_4^{2-}$ )*
Kali 60	KCl met 60 % $K_2O$
NPK 12+10+18	12% N (7 % $NH_4$ -N en 5 % $NO_3$ -N) + 10 % $P_2O_5$ + 18 % $K_2O$
patentkali	30 % $K_2O$ + 10 % $MgO$ + 42 % $SO_3$

\*Fosfaat wordt – vanuit de historie – als difosforpentoxide ( $P_2O_5$ ) weergegeven. Wat de plant daadwerkelijk opneemt zijn de zouten  $H_2PO_4^-$  en  $HPO_4^{2-}$ .





len mantel met aan de binnenkant een zachte waterstofbestendige ijzeren laag. In 1913 produceerde zijn proeffabriek dagelijks ongeveer 0,4 ton ammoniak. Twee jaar later waren de eerste commerciële fabrieken al operationeel, met een totale capaciteit van ongeveer 85 ton ammoniak per dag.

En dat was nog maar het begin. Vandaag de dag hebben de grootste ammoniakfabrieken een productiecapaciteit van zo'n 3.000 ton per dag. De industriële vastlegging van stikstof gebeurt vrijwel uitsluitend (voor 99 procent) via de Haber-Bosch-synthese. Het proces, de energieuishouding en de katalysator zijn inmiddels aanzienlijk verbeterd. Lucht is nog altijd de stikstofbron, maar de waterstofbron veranderde in de loop der jaren. Aanvankelijk was het steenkool. Tegenwoordig worden aardolieproducten gebruikt zoals nafta. En vooral het zeer waterstofrijke aardgas: wereldwijd is ongeveer 80 procent van de ammoniakproductie gebaseerd op aardgas.

Helaas vergt de ammoniaksynthese nog altijd veel energie, al is het wel tot eenderde verminderd. Kostte de productie van een kilo ammoniak in 1913 nog 100 MJ, tegenwoordig is dat gereduceerd tot 28 à 30 MJ.

**KUNSTMEST UIT AMMONIAK**

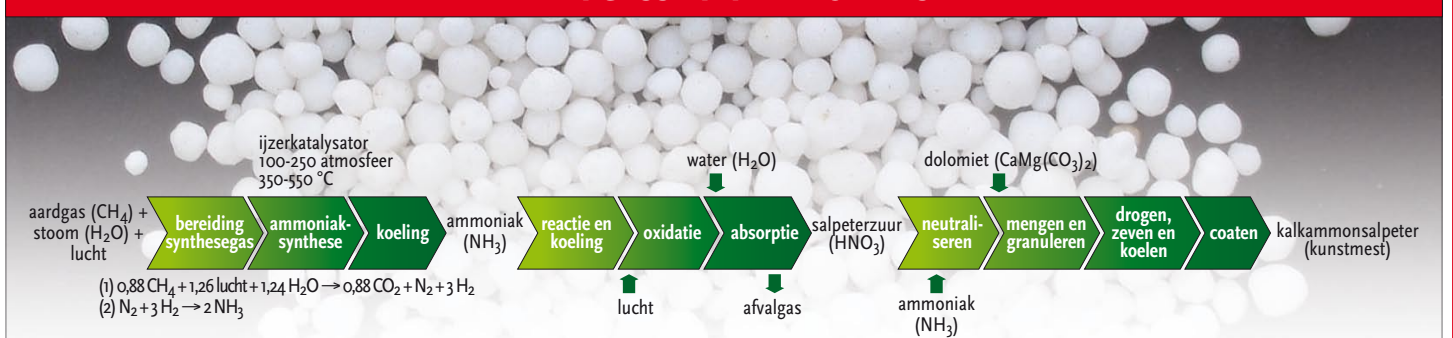
De Haber-Bosch synthese vormt nog steeds de basis voor de grootschalige kunstmestproductie. Maar ammoniak ( $NH_3$ ) is nog geen kunstmest. Daarvoor zijn nog verdere stappen nodig. Door het toevoegen van water en lucht reageert ammoniak tot een waterige oplossing van 60 procent salpeterzuur ( $HNO_3$ ). Na menging van deze oplossing met ammoniakgas ontstaat de kunstmeststof ammoniumnitraat ( $NH_4NO_3$ ). De menging veroorzaakt een intense reactie met veel warmteontwikkeling, waardoor het water uit de salpeterzuuroplossing heel snel verdampt. Een zogeheten 'smelt' van ammoniumnitraat blijft over en die kan verder worden verwerkt tot kunstmestkorrels.

Aan deze korrels, ofwel *granules*, worden nogal wat eisen gesteld. Zo moeten ze mechanisch sterk zijn, want ze mogen niet vergruizen tijdens transport, opslag of bij het uitstrooien. Al is het alleen maar om inademing van kunstmest in de vorm van fijn stof te voorkomen. Ook de inwendige structuur en de korrelsamenstelling moeten homogeen zijn. Daarnaast moeten ze een optimale grootte en vorm hebben. Om de korrels ver te kunnen uitstrooien, moeten ze groot genoeg zijn

Kunstmesten zijn anorganische zouten die gemakkelijk vocht opnemen, waardoor de korrels samenklonteren. Om dit te voorkomen worden de korrels gecoat met een mengsel van paraffine en minerale olie, maar deze stoffen veroorzaken bodemvervuiling. Het bedrijf Holland Novochem heeft twee milieuvriendelijke alternatieven ontwikkeld: een biologisch afbreekbare polyamide-coating en een coating van eiwitrijke reststromen afkomstig uit de verwerking van plantaardige stoffen. Door deze twee varianten te mengen in verschillende verhoudingen ontstaan coatings die geschikt zijn voor verschillende typen kunstmest.

en voldoende rond. Aan de andere kant moeten ze klein genoeg zijn om ze zo gelijkmatig mogelijk te kunnen verspreiden – voor elke plant ongeveer evenveel. Tot slot moeten kunstmestkorrels een waterafstotende coating hebben om te voorkomen dat ze aan elkaar klonteren. Hiervoor wordt meestal een mengsel van paraffine en minerale olie gebruikt.

**VAN GASSEN NAAR KORRELS**



Mest is goed, maar overdaad schaadt. Te veel mest is slecht voor gewassen, bodem en milieu en onnodig duur. **Nieuwe mestmethoden** zijn daarom gericht op de juiste samenstelling op de juiste plek en op het juiste moment. Bemesting op maat.

# Verspilling voorkomen

De kunst van bemesting is ervoor te zorgen dat planten krijgen wat ze nodig hebben. Niet minder, maar zeker ook niet meer, want overbemesting geeft overlast. Zo leidt een overmaat ammonium tot onnodige verzuring van de grond, doordat nitrificerende bacteriën zoals *Nitrosomonas* en *Nitrobacter* het omzetten in salpeterzuur. Een extra verzurende factor is dat planten na opname van ammoniumzouten protonen afgeven aan de omgeving om hun ionenbalans elektrisch neutraal te houden. Daarnaast nemen planten op een verzuurde bodem minder goed fosfaat en zwavel op. Uitstrooien van kalk helpt om de verzuring tegen te gaan.

Ook een teveel aan nitraten geeft problemen. Nitraationen zijn erg mobiel in de bodem en kunnen gemakkelijk uitspoelen naar het grondwater. Vooral in de winter als er op het land geen gewassen staan die de nitraten opnemen. Dit effect wordt verergerd door de grotere regenkans in dit seizoen en de verminderde waterverdamping door de zon. Hoge nitraatgehaltes

in grondwater vereisen extra maatregelen voor de drinkwatervoorziening.

Een teveel aan stikstof in de bodem veroorzaakt ook extra uitstoot van stikstof in de vorm van gassen zoals ammoniak, distikstofoxide ( $N_2O$  – beter bekend als lachgas) en stikstofgas. Ammoniak leidt via ammoniumverbindingen tot bodemverzuring, terwijl distikstofoxide een bekend broeikasgas is dat bijdraagt aan de versterkte opwarming van de aarde. Verder kan de biodiversiteit in gevaar komen door een overmaat aan stikstofnutriënten. Sommige plantensoorten groeien dan bijzonder goed, terwijl andere er niet tegen kunnen en ziek worden.

## BESTE DOSIS, HOOGSTE PRECISIE

De beste remedie tegen overbemesting is ervoor te zorgen dat na de oogst alle meststoffen zijn verbruikt. Daartoe moet de bodem tijdens de groei voorzien worden van de juiste meststoffen in de juiste hoeveelheid. Dat lijkt misschien eenvoudig, maar in de praktijk blijkt het toch lastig te realiseren. Tegenwoordig

zijn dan ook hulpmiddelen beschikbaar, zoals computermodellen die op basis van specificaties van bodem en gewas bemestingsadviezen geven voor zowel stalmest als kunstmest. Een voorbeeld hiervan is het programma *NutriNorm* van DSM Agro. Om de stikstoftoediening en stikstofbehoefte beter op elkaar af te stemmen wordt gewerkt aan systemen die stikstof gecontroleerd of langzaam afgeven.

Daarnaast zijn technieken in ontwikkeling waarmee kunstmest nauwkeuriger is toe te dienen, bijvoorbeeld via rijenbemesting. Wageningen UR doet onderzoek aan toediening van kunstmest in vloeibare vorm door puntinjectie met behulp van een spaakwielbemester. De eerste resultaten hebben al laten zien dat de stikstofopname door planten hierdoor verbetert.

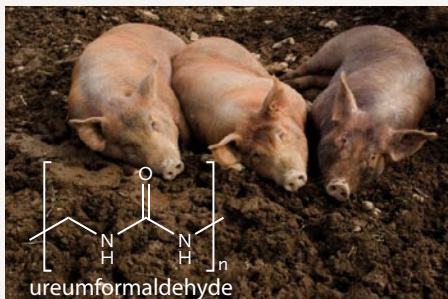
Verder experimenteren onderzoekers met zogeheten precisiebemesting. Hierbij wordt de benodigde hoeveelheid mest afgestemd op de bodemvruchtbaarheid ter plekke en op de respons van het gewas. Plekken met een lagere vruchtbaarheid of minder respons krijgen een andere bemesting dan plekken die vruchtbaarder zijn of waar planten goed reageren. Op die manier realiseert de boer met eenzelfde hoeveelheid mest toch een betere opbrengst van zijn perceel. Om stikstofverlies te beperken, kunnen bij deze aanpak ook specifieke hulpstoffen worden toegevoegd, zoals nitrificatie- en ureaseremmers.

## MINDEREN MOET

Vroeger ging de aandacht primair uit naar het gewas: hogere opbrengst en betere kwaliteit. Tegenwoordig komt er steeds meer belangstelling voor verbetering van de kwaliteit en vruchtbaarheid van de bodem zelf. Illustratief is de

## HOUTLIJM UIT VARKENSMEST

Afval voor de een is een grondstof voor de ander: varkensmest uit de veehouderij is een mogelijke bron voor lijm in de meubelindustrie. Het Deense bedrijf Agriplast lijkt daarin te zijn geslaagd met een techniek om ureumformaldehyde uit het vloeibare deel van varkensmest te halen. Eerst wordt de vloeibare mest gescheiden van het vaste bestanddeel door de productie van ammoniak te remmen. Het vaste deel kan de boer als mest uitrijden, zonder nare geuren. In de vloeistof wordt vervolgens de vorming van ammoniak volledig stilgelegd en na filtratie blijft een vloeistof over die bestaat uit ureum, water en diverse zouten.



Na verdamping resteert geconcentreerd ureum. Hieraan wordt paraformaldehyde toegevoegd dat met ureum reageert tot ureumformaldehyde, ofwel houtlijm.

## ZELFBEMESTING

Stikstofbindende *Rhizobium*-bacteriën gaan een symbiose aan met vlinderbloemige gewassen als bonen, erwten en klaver. De bacteriën worden opgenomen in de uitstulpingen van de wortels, waar ze stikstofgas uit de lucht omzetten in ammonium. Dat geven de bacteriën af aan de plant, waardoor deze vlinderbloemigen beschikken over een natuurlijke stikstofvoorziening. Onderzoekers hebben ontdekt dat ze wortelcellen kunnen veranderen in uitstulpingvormende cellen, door genetische modificatie van het gen dat een speciaal enzym (CCaMK) genereert. Hun theorie is nu dat deze uitstulpingen door gentechnologie ook aan wortels van andere planten kunnen groeien, waardoor deze planten ook gebruik kunnen maken van stikstofbindende bacteriën. Er zijn nog veel



experimenten nodig om te achterhalen of deze theorie klopt. Als het werkt zou het mogelijk zijn 'zelfbemestende' versies te maken van gewassen als mais, tarwe, gerst en rijst. Het einde van de kunstmest? |

biologische landbouw, waarbij natuurlijke bodemprocessen een belangrijke rol spelen. In plaats van bemesting met stikstofhoudende kunstmest wordt geprobeerd de productie van nitraat en ammonium door bodemorganismen (wormen, schimmels en bacteriën) te stimuleren. Dit kan door ervoor te zorgen dat de voedingsbron (organische stoffen) voor deze organismen op peil blijft – bijvoorbeeld door gebruik van compost. Verder mag een biologische boer alleen specifieke vormen van kalium en fosfaten gebruiken, zoals patentkali. Overigens is het aandeel biologische landbouw in Nederland klein, zo'n 2 procent van alle landbouwgrond.

Op Europees niveau is het gebruik van stikstofhoudende kunstmest de laatste decennia afgenomen. Sanering heeft geleid tot een lagere productiecapaciteit. Wereldwijd gezien stijgt het kunstmestgebruik echter nog steeds en worden er veel nieuwe ammoniak- en ureumfabrieken bijgebouwd. Toch zal de trend naar zuiniger en zorgvuldiger gebruik

zich voortzetten. Kunstmest wordt steeds duurder, vooral vanwege de toenemende schaarste aan grondstoffen en de hoge brandstofprijzen. Het dure aardgas, dat als waterstofbron wordt gebruikt bij de productie van ammoniak, heeft bijvoorbeeld een direct effect op de prijs van stikstofhoudende kunstmest.

Ook de kosten van kalium nemen snel toe door de energievervlindende zuiveringstechnieken voor kalium uit de zoutlagen in Duitsland en Rusland. Voor fosfaten dreigt schaarste doordat er steeds minder fosfaathoudende gesteenten zijn. Bovendien is zwavel, dat nodig is om fosfaathoudende gesteenten te ontsluiten, duurder geworden. Daar staat tegenover dat onlangs grote nieuwe fosfaatmijnen zijn gevonden in het noorden van Saoedi-Arabië. Desondanks blijft de vraag het aanbod overstijgen, waardoor op de wereldmarkt de prijs van fosfaat in 2007 bijna verdubbelde. Hoge prijzen en eindige voorraden dwingen tot zuinigheid en hergebruik.

## GENTECHNOLOGIE

De behoefte aan landbouwgewassen neemt toe door de snelgroeiende wereldbevolking – ruim 80 miljoen mensen per jaar – en doordat mensen in opkomende economieën als China, India en Brazilië steeds meer vlees eten. Dit vraagt om veel extra landbouw, want voor 1 kg rundvlees is 7 kg graan nodig. Ook door de behoefte aan steeds meer biobrandstoffen stijgt de vraag naar meer gewassen en efficiëntere landbouwmethoden.

Naast selectie en kruising en de toepassing van irrigatie en pesticiden heeft kunstmest een belangrijke bijdrage

## KUNSTMEST UIT URINE

Menselijke urine bevat stikstof, fosfaat en kalium en is daarmee een rijke bron van meststoffen. Het is zonde om dit zomaar weg te spoelen door het riool. Slechts 1 procent van de huishoudelijke afvalwaterstroom bestaat uit urine, maar dit bevat wel 80 procent van de stikstof, 50 procent van het fosfaat en 70 procent van de kalium van al het rioolwater, en ook nagenoeg alle hormonen en medicijnen die het lichaam verlaten. Het is dus een geconcentreerde afvalwaterstroom. Een zogeheten 'scheidingstoilet', met één afvoer voor urine en één voor vaste ontlasting, biedt een mogelijkheid om urine aan de bron te scheiden.



Ook in de veehouderij wordt geëxperimenteerd met scheiding aan de bron. Dierlijke urine wijkt qua samenstelling af van menselijke urine. Zo bevatten urine en de dunne fractie uit varkensmest nauwelijks of geen fosfaat; hier zit het fosfaat voornamelijk in de vaste bestanddelen (feces). De vloeibare bestanddelen bevatten wel veel kalium, in concentraties die ruim 10 maal hoger liggen dan in menselijke urine. |



Biologische landbouwers bemesten het land vaak met compost dat rijk is aan organische afbraakstoffen. Deze zijn een voedingsbron voor bodemorganismen die de organische verbindingen weer omzetten in minerale voedingsstoffen voor de planten.

geleverd aan efficiëntere landbouw en hogere productie. Maar de mogelijkheden van deze technieken zijn niet onbeperkt. Mogelijk kan gentechnologie tot verdere verbetering leiden. Door aanpassing van bepaalde genen kan een gewas wellicht sneller groeien, of wordt het bestendiger tegen ziekten of gebreken. Daardoor zijn minder bestrijdingsmiddelen nodig. Vooral bij productiegewassen als mais, koolzaad en katoen wordt gentechnologie veel toegepast, en dan vooral in landen als de Verenigde Staten, Canada, Argentinië en China. Europese landen zijn (nog) zeer terughoudend. |

# Meer weten

## AANBEVOLEN LITERATUUR

- *Understanding nitrogen and its use in agriculture*, European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), te downloaden via [www.efma.org](http://www.efma.org).
- *Phosphorus essential element for food production*, idem.
- *Sustainable management of the nitrogen cycle in agriculture and mitigation of reactive nitrogen side effects*, International Fertilizer Industry Association, te downloaden via [www.fertilizer.org](http://www.fertilizer.org).
- *Chemische Feitelikheden* 139 Ammoniak.
- *Chemische Feitelikheden* 166 Dierlijke mest.
- Ernst Homburg, *Groeien door kunstmest, DSM Agro 1929-2004*, Uitgeverij Verloren, 2004, ISBN 9065508198.

## AANBEVOLEN WEBSITES

- [www.kunstmest.com](http://www.kunstmest.com), website van de Vereniging van Kunstmestproducenten.
- [www.kennislink.nl/web/show?id=179565](http://www.kennislink.nl/web/show?id=179565), 'Van kunstmest tot schone uitlaat', over Gerhard Ertl, Nobelprijswinnaar 2007.
- [www.dsm-agro.nl](http://www.dsm-agro.nl), over meststoffen van DSM Agro.
- [www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl), website van het Nutriënten Management Instituut NMI.
- [www.asg.wur.nl/NL/onderzoek/Werkvelden/Veehouderij](http://www.asg.wur.nl/NL/onderzoek/Werkvelden/Veehouderij), website van de Animal Sciences Group van Wageningen UR.

## VOOR OP SCHOOL

1. Welke chemische elementen vormen de voornaamste bestanddelen van kunstmest en waarvoor gebruiken planten deze elementen?
2. Vergelijk chlorofyl in bladgroenkorrels met hemoglobine in ons bloed. Welke functionele overeenkomsten zie je tussen beide verbindingen?
3. Wat betekent mineralisatie?
4. Van de totale hoeveelheid stikstof in een plant is ongeveer 85 procent aanwezig in eiwitten. Wat is het massapercentage stikstof in het aminozuur glycine?



Bemesting bevordert de groei, maar overbemesting leidt tot bodemverzuring, vervuild grondwater en uitstoot van broeikasgassen.

5. Justus von Liebig ontrafelde de principes van plantenvoeding. Welke experimenten heeft hij waarschijnlijk gedaan om die principes te verhelderen?
6. Hortensia's behoren tot de weinige planten die aluminium-ionen verdragen. In tuincentra vind je oplossingen van aluin (kaliumaluminiumsulfaat) als meststof voor hortensia's. Wat is de functie van dit sporenelement in hortensia's?
7. Op zandgrond spoelt (kunst)mest sneller uit dan op kleigrond. Wat is daarvan de oorzaak?
8. Geef met een reactievergelijking weer hoe kalk de verzuring van de bodem tegengaat.
9. Ammoniumnitraat vormt met suiker een explosief mengsel. Hoeveel mol gas ontstaat bij de reactie van 1 mol ammoniumnitraat met glucose, als de reactieproducten bestaan uit de gassen waterdamp, koolstofdioxide en stikstof?
10. De evenwichtsreactie  $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$  is een exotherme reactie naar rechts. Hoe verschuift de ligging van het evenwicht bij temperatuurverhoging? En bij drukverhoging?

## COLOFON

**Chemische Feitelikheden:** actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Losbladige uitgave van de KNCV, verschijnt drie maal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

**Redactie:**  
Alexander Duyndam (C2W)  
Marian van Opstal (Bèta Communicaties)  
Arthur van Zuylen (Bèta Communicaties)  
Gerard Stout (Noordelijke Hogeschool Leeuwarden)

**Basisontwerp:** Menno Landstra

**Redactie en realisatie:**  
Bèta Communicaties  
tel. 070-306 07 26  
[betacom@planet.nl](mailto:betacom@planet.nl)

**Fotoverantwoording:**  
Foto's zonder bronvermelding zijn afkomstig van [www.istockphoto.com](http://www.istockphoto.com)

**Uitgever:**  
Roeland Dobbelaer  
Bèta Publishers  
Postbus 249, 2260 AE Leidschendam  
tel. 070-444 06 00  
fax 070-337 87 99  
[info@betapublishers.nl](mailto:info@betapublishers.nl)

**Abonnementen opgeven:**  
Abonnementenland  
Antwoordnummer 1822  
1910 VB Uitgeest  
tel. 0900-226 52 63 (€ 0,10/minuut)  
[aboservice@aboland.nl](mailto:aboservice@aboland.nl)

**Abonnementen:**

- papieren editie en toegang tot digitaal archief op internet: (inclusief verzamelmap): € 75,- KNCV- en KVCV-leden: € 65,-
- alleen toegang tot digitaal archief op internet: € 60,- KNCV- en KVCV-leden: € 50,-

Abonnementen kunnen elk moment ingaan. Abonnementen worden automatisch verlengd tenzij vóór 1 november van het lopende jaar een schriftelijke opzegging is ontvangen.

## KUNSTMEST

editie 56  
nummer 246  
juni 2008

### Met dank aan:

- Martin Voorwinden, Technology Manager Fertilizer DSM Agro [martin.voorwinden@dsm.com](mailto:martin.voorwinden@dsm.com)
- Tonnis A. van Dijk, Nutriënten Management Instituut (NMI) BV [t.a.vandijk@nmi-agro.nl](mailto:t.a.vandijk@nmi-agro.nl)
- Herman de Boer, Animal Sciences Group van Wageningen UR [herman.deboer@wur.nl](mailto:herman.deboer@wur.nl)