

Ir C. M. J. Sluijsmans en ir G. J. Kolenbrander

De stikstofwerking van stalmest op korte en lange termijn

De stikstofwerking van stalmest op korte en lange termijn

Ir C. M. J. Sluijsmans en ir G. J. Kolenbrander

De stikstof van dierlijke mest is daarin aanwezig in minerale vorm (N_m) en gebonden in de organische stof. Het organische gebonden deel kan men zich opgebouwd denken uit een gemakkelijk en een moeilijk mineraliseerbare fractie. Gemakkelijk mineraliseerbaar noemen wij de organische stof die in het jaar van toedienen van de mest wordt afgebroken. De moeilijk aantastbare fractie vormt een residu waaruit de stikstof slechts in de loop van de volgende jaren vrijkomt. Wij duiden deze stikstof fracties aan met resp. N_e en N_r .

Tot N_m rekenen we behalve NH_4-N hier ook ureum- en urinezuur-stikstof omdat beide laatste vormen zo snel tot NH_4-N worden gemineraliseerd dat ze als direct voor de plant beschikbaar kunnen worden beschouwd. Van N_m kan een even grote bemestingswaarde worden verwacht als van kunstmest-N, mits vervluchtiging bij de toediening wordt voorkomen. N_e komt vrij tijdens en na de groei-periode van het gewas en zal daardoor in het algemeen een geringere efficiëntie hebben dan kort vóór de groei-periode toegediende kunstmest-N. N_r tenslotte is van geen betekenis voor het gewas in het jaar van toediening. In latere jaren zal dat wel het geval zijn, waardoor juist deze stikstof de belangrijkste component vormt van wat wel genoemd wordt de 'oude kracht' van de grond.

Het is gebruikelijk de efficiëntie van stikstof van dierlijke mest met behulp van een werkingscoëfficiënt te relateren aan die van kunstmest-N. Met een coëfficiënt van x% wordt dan bedoeld dat x kg N als kunstmest bij toediening in het voorjaar een even grote invloed op de opbrengsten heeft als 100 kg N in dierlijke mest. De waarden die de literatuur voor x aangeeft (Kolenbrander en De la Lande Cremer, 1967), hebben meestal alleen betrekking op de werking in het jaar van toediening. In welke mate de stikstof van de dierlijke mest, bij regelmatig gebruik hiervan, op de lange duur zal werken, wordt daarin dus niet aangegeven. Anders gezegd, in de werkingscoëfficiënt wordt meestal niet de 'oude kracht', die door regelmatig gebruik van dierlijke mest in de grond wordt opgebouwd, tot uit-



drukking gebracht.

De bedoeling van dit artikel is inzicht te geven in het verschil tussen het korte- en lange-duureffect van stalmest-stikstof en tevens een benadering voor de grootte van de bijbehorende werkingscoëfficiënten. De daarbij toegepaste benaderingswijze is een andere dan de tot dusver gebruikelijke met behulp van meerjarige proeven. De resultaten zijn in het bijzonder van belang in die gebieden waar met intensivering van de veehouderij ook een toenemend gebruik van dierlijke mest moet worden gemaakt en nog geen ervaring aanwezig is over het niveau van bodemvruchtbaarheid dat op de duur zal ontstaan.

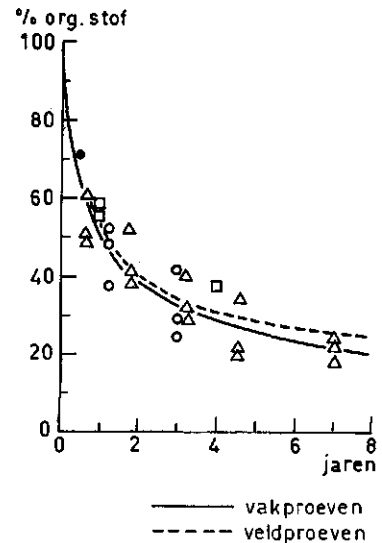
Afbraak en opbouw van de organische stof in de grond

Kolenbrander (1974) heeft in figuur 1 gegevens over de afbraak van de organische stof uit stalmest samengevat. Het betreft resultaten van sterk verschillende herkomst, die niettemin goed bij elkaar passen. Nemen we alleen de gegevens van een tiental meerjarige veldproeven, dan gaat de afbraak iets minder snel (onderbroken lijn). Volgens die lijn, die is overgenomen in figuur 2, wordt in het jaar van toediening $a_1\%$ van de organische stof afgebroken, in het volgende jaar $a_2\%$, daarna $a_3\%$ enz. Wij gaan er verder van uit dat op de zeer lange duur 100% wordt afgebroken. Indien elk jaar eenzelfde hoeveelheid mest wordt toegediend, omvat de afbraak in het eerste jaar van dit bemestingsregime $a_1\%$ van de jaarlijks toegevoerde organische stof, in het jaar daarna $a_1 + a_2\%$, in het daaropvolgende $a_1 + a_2 + a_3\%$ enz. Elk jaar bestaat de in totaal afgebroken hoeveelheid uit een fractie gemakkelijk aantastbaar materiaal (a_1), en een fractie jonger en ouder moeilijk aantastbaar materiaal (a_2, a_3, a_4, \dots) afkomstig van organische stofresiduen uit de voorgaande jaren. Aan de laatste fracties ontleent de grond zijn 'oude kracht'. Uiteindelijk komt de grond in een evenwichtstoestand, waarin de jaarlijkse afbraak van verse organische stof en residuen tezamen gelijk is en blijft aan 100% van de jaarlijkse aanvoer. Bij steeds gelijke dosering is dan dus ook de afbraakintensiteit van de moeilijk aantastbare residuen gelijk aan de jaarlijkse aanvoer van dergelijk materiaal, in formule $a_2 + a_3 + a_4 + \dots = 100 - a_1$. Op basis hiervan is figuur 3 geconstrueerd door bijvoorbeeld uit figuur 2 af te lezen dat $a_2 = 13$ en $100 - a_1 = 50$. In figuur 3 is dan bij jaar 2 als ordinaat het quotient ($\times 100$) van beide, in dit geval dus 26, weergegeven. Bij jaar 3 en een $a_3 = 5$ hoort dan een ordinaatwaarde van $100(13+5) : 50 = 36$ enz. Deze figuur laat dus zien hoe de afbraakintensiteit van de residuale fractie van de organische stof in de tijd verloopt in procenten van de uiteindelijk te verwachten intensiteit. De figuur geeft daarmee een beeld van de opbouw van de 'oude kracht' vanaf het begin van een bemestingsregime tot aan de evenwichtstoestand. In die evenwichtstoestand omvat de totale afbraak een hoeveelheid residuale organische stof ($100 - a_1$), welke volgens figuur 2 ongeveer 50% van de jaarlijkse aanvoer van verse organische stof is.

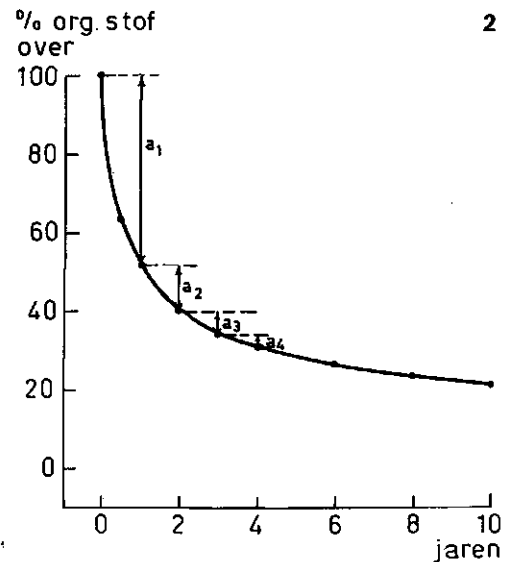
Mineralisatie van stikstof uit de residuale organische stof

Indien we aannemen dat jonge en oude residuale organische stof van dezelfde herkomst een gelijk N-gehalte hebben, dan loopt de mineralisatie van stikstof uiteraard geheel parallel met die van de organische stof. Figuur 3 geeft dan tevens een beeld van het vrijkomen van N in de tijd. In de evenwichtstoestand is de jaarlijkse mineralisatie van residuale stikstof dan gelijk aan N_f .

Om de orde van grootte van deze hoeveelheid vast te stellen, gebruiken we gegevens van Boekel en Van Dijk (1963),



1

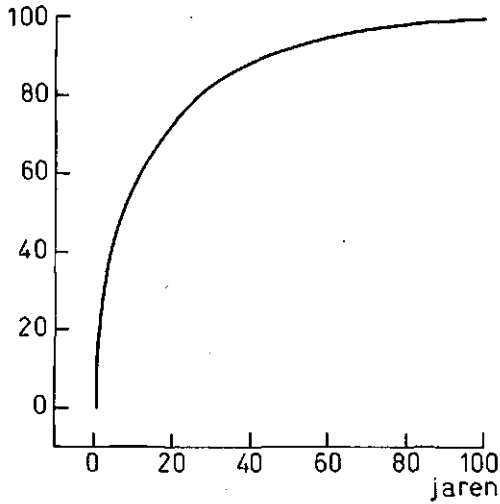


2

Fig. 1 Verloop van de afbraaksnelheid van organische stof in stalmest.

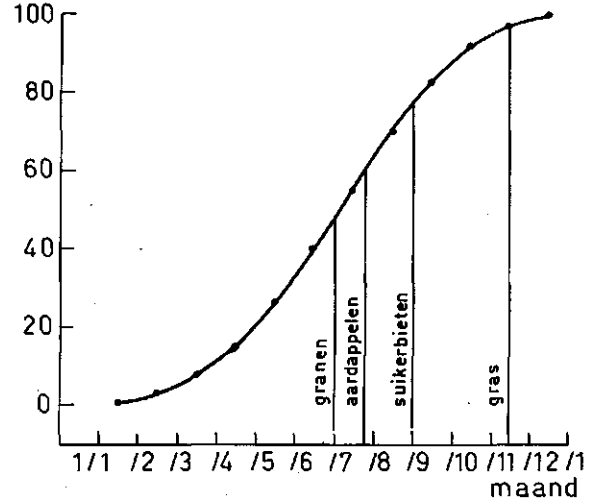
Fig. 2. De afbraak van organische stof uit stalmest onder veldproefomstandigheden als in fig. 1. a_1 afbraak in het eerste jaar a_2 afbraak in het tweede jaar a_3 afbraak in het derde jaar a_4 afbraak in het vierde jaar

% residuale org. stof
gemineraleerd



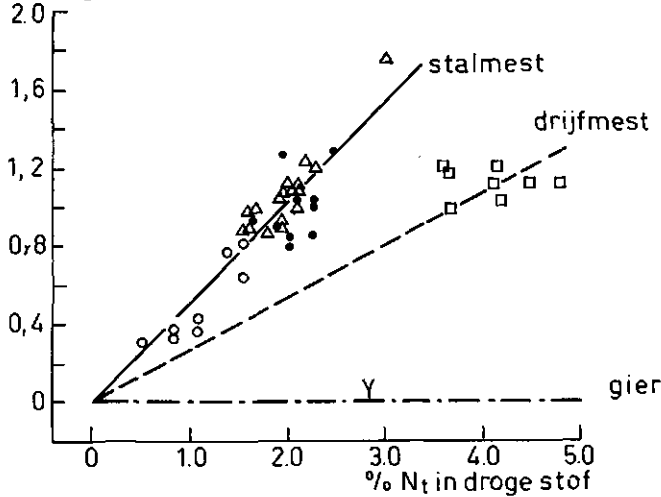
3

mineralisatie
in % van totaal



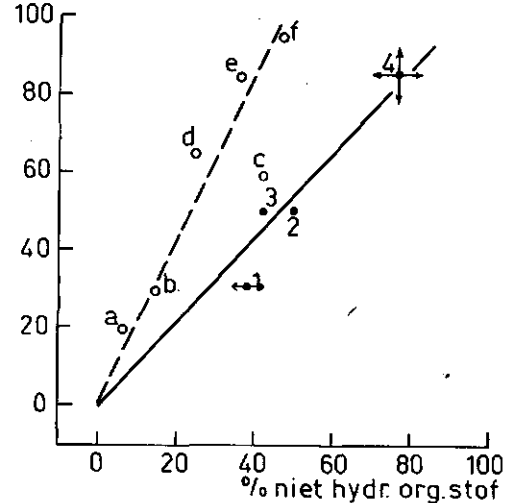
4

% N_h
in droge stof



5

% org. stof
over na 1 jaar



6

- △ stalmest ouder dan 1 jaar (gedroogd)
- .. jonger .. 1
- drijfmest (nat)
- stro en strocompost (gedroogd)

Fig. 3. Het verloop van de mineralisatie van de residuale organische stof in procenten van de jaarlijkse aanvoer hiervan.

Fig. 4. De mineralisatie in procenten van de totale mineralisatie op basis van de gemiddelde maandelijkse etmaaltemperatuur in $^{\circ}\text{C}$. Jaarsom gemiddelde, maandelijkse etmaaltemperatuur van de lucht: $112,1^{\circ}\text{C} = 100\%$.

Fig. 5. Samenhang tussen het totale stikstofgehalte (N_t) in organische mest en het gehalte aan stikstof niet hydrolyseerbaar (N_h) in 80% zwavelzuur.

Fig. 6. Samenhang tussen de na 1 jaar overgebleven organische stof in veldproeven en de niet in zwavelzuur hydrolyseerbare fractie van de organische stof.

Methode Springer en Lehner

- a. groene massa
- b. stro
- c. bosstrooisel
- d. beukeloof
- e. turfmolm
- f. hoogveen

Benelux Voorschrift 1970

1. stro en strocompost (Gerretsen, 1956)
2. vaste stalmest
3. drijfmest
4. div. veensoorten (Van Dijk, 1965)

die in een aantal zandgronden (waarop regelmatig grote hoeveelheden stalmest werden toegediend) voor de mineraliseerbare organische-stoffractie een C/N-verhouding vonden van ongeveer 13. Bij een C-gehalte van 50% in de organische stof bevat de residuale organische stof in de grond dan 3,85% N. Stel nu dat bijvoorbeeld de mestproduktie in de stalperiode van 3 volwassen runderen, omvattend 30 ton drijfmest met 1800 kg organische stof (en 132 kg N), elk jaar opnieuw op hetzelfde perceel wordt gebracht, dan zal door de afbraak van de hieruit gevormde voorraad residuale organische stof op de duur een jaarlijkse N-mineralisatie plaatsvinden van $3,85 \times 10^{-2} \times 0,5 \times 1800 = 35$ kg N of ruim 26% van de jaarlijks gegeven stikstof. Volgens figuur 3 wordt de helft van deze 'oude kracht' bereikt na ongeveer 8 en 90% na ongeveer 40-50 jaren.

Daarnaast komt natuurlijk nog stikstof vrij uit de gemakkelijk aantastbare fractie (N_e) en staat bovendien de in de mest aanwezige N_m voor het gewas ter beschikking.

De hierboven gemaakte aanname dat het N-gehalte van jonge en oude residuen gelijk is, is niet geheel in overeenstemming met de feiten. Niettemin is dit als uitgangspunt gekozen om onze uiteenzetting eenvoudig te houden en omdat het patroon van de N-mineralisatie, zoals dat bij constantheid van het N-gehalte van de residuale organische stof blijkt uit fig. 3, niet in sterke mate wordt beïnvloed door de in werkelijkheid optredende verschuivingen in dat gehalte.

Stikstofwerkingscoëfficiënt (wc)

De fractie N_m is in principe gelijkwaardig aan kunstmest-N. Bij de toediening van de mest gaat echter meestal een deel van deze N verloren door ammoniakvervluchtiging. Dit deel wordt geschat op 20%, zodat de wc van N_m op 80% komt.

Van N_e wordt een deel buiten het groeiseizoen van de gewassen gemineraliseerd. Figuur 4 geeft hiervan een indruk. Voor deze figuur is aangenomen dat onder gemiddelde Nederlandse omstandigheden de mineralisatie in de

grond evenredig verloopt met de gemiddelde maandelijks etmaaltemperatuur, waarbij de jaarsom daarvan op 100 is gesteld. Voorts is aangegeven wanneer ongeveer de verschillende gewassen de N-opneming hebben beëindigd. Granen kunnen dus maximaal ongeveer 50% van de in hun groeijaar vrijkomende N uit N_e (en N_r) benutten, aardappelen, bieten en mais gemiddeld ongeveer 70% en gras meer dan 90%.

Ervan uitgaande dat stalmest overwegend aan hakvruchten en mais wordt toegediend, houden we voor het eerstejaarseffect 70% aan en stellen op grond hiervan dat de wc van deze vrijkomende stikstof 70% is.

De hoeveelheid stikstof die op de lange duur uit de residuale organische stof mineraliseert (nawerking), is volgens de vorige paragraaf gelijk aan de jaarlijkse aanvoer, dus gelijk aan N_r . Daar deze stikstof ook ten goede komt aan de granen, wordt de wc gesteld op 60% voor een gemiddeld Nederlands bouwplan.

Voor de berekening van de integrale wc is tenslotte nog informatie nodig over het effect van na de groeiperiode gemineraliseerde N op het gewas in het volgende jaar. Op grond van gegevens van Van der Paauw en Ris (1963) wordt voor de wc van deze N 13% aangenomen.

Een berekening voor de werkingscoëfficiënt van de stikstof (N_t = totaal aanwezige N) van bijvoorbeeld in het voorjaar toegediende drijfmest van runderen verloopt dan als weergegeven in tabel 1 (alle getallen zijn procenten).

Het N-effect in het jaar van toediening van de drijfmest wordt hier berekend op 57%. Een soortgelijke berekening voor vaste mest levert 40% op. Kolenbrander en De la Lande Cremer (1967) kwamen bij veldproeven met overwegend hakvruchten op resp. 50 en 40%. De uitkomsten stemmen redelijk met elkaar overeen.

Bij steeds herhaalde voorjaarstoediening moet op de lange duur met een wc van 74% voor drijfmest rekening worden gehouden. Voor vaste mest berekenden wij 71%. De bijdrage uit de langzame afbraak van de residuale organische stof komt dus neer op resp. 17 en 31%.

Om een zo optimaal mogelijke bemesting toe te passen moet men dus overwegen de mestgiften of de aanvullende

Tabel 1.

	component	aandeel in de mest	werkzaamheid	wc ten opzichte van N_t
eerste jaar	N_m	50	80	40
	N_e	25*	70	17
			eerste jaar wc =	57
bovendien op de zeer lange duur	N_r	25*	60	15
	N_e (nawerking)	7,5**	13	1
	N_r (nawerking)	10**	13	1
			integrale wc =	74

* Op de herkomst van deze getallen wordt in de volgende paragraaf teruggekomen.

** 30 resp. 40% (het buiten het groeiseizoen gemineraliseerde deel) van de N_e - en N_r -waarden.

kunstmestgiften aan te passen aan de stijgende wc. Figuur 3 kan daarbij behulpzaam zijn. Van de uiteindelijk te verwachten stijging van 17 bij gebruik van rundveedrijfmest is na 5 jaar ruim 40% gerealiseerd, na 20 jaar ca. 70% en na 40-50 jaar ca. 90%. Deze percentages gelden eveneens voor andere organische-stikstof-leverende meststoffen indien de afbraak daarvan overeenkomt met de lijn in figuur 2.

Perspectief

De in de vorige paragraaf gevolgde benaderingswijze biedt waarschijnlijk perspectief voor de berekening van de wc van stikstof van niet experimenteel beproefde, stikstof-leverende organische materialen. In principe behoeft men voor die berekening namelijk alleen te beschikken over cijfers voor N_m , N_e en N_r , tenzij men ook het integrale verloop van de wc wil weten, zoals figuur 3 dat voor stalrest mogelijk maakte. Voor dat geval dient men tevens over afbraakcurven, zoals in figuur 1, te beschikken. Voor verscheidene materialen zijn afbraakcurven bekend (Kolenbrander, 1974).

De waarde van N_m is in elk materiaal chemisch vast te stellen, voor N_e en N_r is dat niet zonder meer het geval. Het is ons echter bij analyse van dierlijke mest opgevallen dat er een paralleliteit bestaat tussen de hoeveelheid organische stof, die in veldproeven een jaar na toediening van de mest nog in de grond over is, en het aandeel van de stikstof in de droge stof van de mest dat niet hydrolyseerbaar is in zwavelzuur. Het blijkt namelijk dat van de organische stof uit de mest na één jaar 50% resteert (figuur 1) en dat ook 50% van de N in de drogestof van stalrest niet hydrolyseerbaar is in genoemd zuur. Figuur 5 laat dit zien aan de hand van niet gepubliceerde gegevens van Van Dijk en van Kolenbrander. In droge grupstalrest, waaruit de minerale stikstof bij het drogen grotendeels verdwenen is, is de helft van de stikstof niet hydrolyseerbaar. Voor drijfmest, met daarin nog de ammoniakfractie, is slechts 25% van de totale hoeveelheid stikstof niet hydrolyseerbaar, maar bij een N_m van 50% komt dat ook weer neer op de helft van de organisch gebonden N. Op grond van deze analyses is in het rekenvoorbeeld van de vorige paragraaf de niet-minerale N gelijkelijk over N_e en N_r verdeeld. De analytisch gevonden waarde van 25% voor N_r in rundveedrijfmest stemt goed overeen met de eerder berekende 26%, gebaseerd op veldonderzoek van Boekel en Van Dijk (1963).

De paralleliteit tussen de hoeveelheid organisch residu dat één jaar na toediening over is, en de hydrolyseerbaarheid van de verse organische stof is ook voor andere materialen dan mest aannemelijk gemaakt (figuur 6). In principe verwondert ons dit niet, omdat van deze moeilijk hydrolyseerbare fractie (vnl. lignine en daaruit ontstane verbindingen) bekend is dat deze ook biologisch moeilijk afbreekbaar is. Het is echter mogelijk dat modificaties in de chemische methode kunnen leiden tot verschillend niveau in niet hydrolyseerbare organische stof. Het is daarom gewenst naar die modificatie te zoeken die het gemakkelijkst is uit

te voeren en waarvan de samenhang met de resultaten in het veld het best is. Vanwege zijn eenvoudiger uitvoering heeft de methode die overeenkomt met het *Benelux voorschrift* voor de bepaling van de verteringsgraad (1970, Div. 06-c) de voorkeur. Bij de methode Springer en Lehner (1952) wordt nl. de zwavelzuurhydrolyse nog voorafgegaan door extracties met water, alcohol, ether en zoutzuur. Om een berekening van de wc van de stikstof ook van andere mestsoorten dan die van rundvee mogelijk te maken geven wij in tabel 2 een overzicht van de N-fracties in die materialen (in %).

Tabel 2

	N_m	N_e	N_r
rundvee: grupstalrest	10	45	45
„ drijfmest	50	25	25
varkens- drijfmest	50	22	28
kippe- drijfmest	70	20	10
kalver- drijfmest	80	9	11
gier	94	3	3

Sommige van deze gegevens berusten op de bovengenoemde analyse, andere op resultaten van zuiveringsinstallaties, waarin de mest biologisch wordt afgebroken. De fractie die in het zuiveringsslib achterblijft is daarbij door ons moeilijk aantastbaar geacht en gelijkgesteld aan N_r . Deze handelwijze is overigens discutabel. De werkingscoëfficiënten die op basis van de betreffende cijfers (kippen- en kalverdrijfmest) kunnen worden berekend, zijn dan uiteraard eveneens discutabel.

Materialen met een hoog aandeel aan N_m zoals gier, kippen- en kalverdrijfmest zullen, bij toepassing op basis van gelijke hoeveelheden totaal stikstof, aanzienlijk minder 'oude kracht' aan de bodem geven dan vaste rundveemest, maar ook dan rundvee- en varkensdrijfmest. Bij de eerste groep zal de eerste-jaars-wc van de stikstof veel hoger zijn dan bij de andere, maar het verschil met de lange-duur-wc veel kleiner.

Conclusies

1. Het blijkt dat er een paralleliteit bestaat tussen de in veld- en vakproeven bepaalde hoeveelheid organische stof die een jaar na toediening nog over is in de grond en de niet in H_2SO_4 hydrolyseerbare organische-stoffractie van de organische mest.

2. Hierdoor wordt het mogelijk analytisch vast te stellen hoeveel van de totale stikstof in stalrest aanwezig is in een minerale vorm (N_m), een organische stikstoffractie (N_e), die in het eerste jaar na de toediening door mineralisatie ter beschikking komt en een moeilijk aantastbare (residuale) organische stikstoffractie (N_r), die na het eerste jaar langzaam gemineraliseerd wordt en als 'oude kracht' bekend staat.

3. Bij rundveemest behoort ca. 50% van de totale organische stikstof tot de residuale fractie (N_r).
4. Op grond van de indeling in 3 fracties wordt bij voorjaarstoediening in het eerste jaar voor vaste rundveemest een stikstofwerkingscoëfficiënt (N_{wc}) berekend van 40% en voor rundveedrijfmest van 57%. Bij jaarlijks herhaalde voorjaarstoediening moet op de lange duur met een N_{wc} van 71% voor vaste mest en 74% voor drijfmest rekening gehouden worden.
5. Verwacht wordt, op grond van de afbraaksnelheid van de organische stof uit stalmest in veld- en vakproeven, dat van de stijging in wc na 5 jaar ruim 40% en na 20 jaar ca. 70% gerealiseerd zal zijn.
6. De met rundveemest verkregen resultaten bieden een perspectief voor de berekening van de N_{wc} van niet experimenteel beproefde organische materialen.

Samenvatting

De stikstof in stalmest kan ingedeeld worden in drie fracties nl.:

- a. een minerale fractie (N_m)
- b. een organische fractie, die in het eerste jaar na de toediening gemineraliseerd wordt (N_o)
- c. een organische fractie die moeilijk aantastbaar is voor microorganismen en daardoor één jaar na de toediening nog over is (residuale stikstof of N_r , genoemd).

De snelheid waarmee de residuale stikstof (ook wel 'oude kracht' genoemd) wordt gemineraliseerd, werd berekend op grond van de snelheid van afbraak van organische stof gevonden in vak- en veldproeven. Volgens deze berekening is na 5 jaar ruim 40% en na 20 jaar ca. 70% van de N_r uit rundveemest gemineraliseerd.

De organische-stoffractie die niet hydrolyseerbaar is in H_2SO_4 , vertoont een duidelijke paralleliteit met de fractie die in de veld- en vakproeven het eerste jaar niet wordt afgebroken. Deze niet-hydrolyseerbare fractie blijkt bij rundveemest ca. 50% van de organisch gebonden stikstof te omvatten.

Op grond van deze resultaten is het mogelijk de stikstofwerkingscoëfficiënt (N_{wc}) van rundveemest te berekenen, niet alleen voor het eerste jaar na de toediening, maar ook voor volgende jaren.

Het perspectief van deze benaderingswijze is gelegen in de mogelijkheid de N_{wc} van niet experimenteel in het veld beproefde organische materialen te berekenen. Daartoe heeft men in principe slechts te beschikken over kennis van de fracties N_m , N_o en N_r , die chemisch bepaald kunnen worden. Voor het integrale verloop dient men ook nog de afbraaksnelheid van het organische materiaal in de grond te kennen.

LITERATUUR

- Benelux Economische Unie, 1970. Analysemethoden voor meststoffen. Div. 06-c: 211.
- BOEKEL, P. en H. VAN DIJK, 1963. Veranderingen in de bodemvruchtbaarheid tijdens de vorming van tuinbouwgrond. Meded. Dir. Tuinbouw 26: 692-696.
- DIJK, H. VAN, 1965. Karakterisering van de organische stof in veenkoloniale profielen. Landbouwkd. Tijdschr. 77: 860-869.
- GERRETSEN, F. C., J. A. GROOTENHUIS en G. J. KOLENBRANDER, 1956. De compostering van stro, met en zonder compost-activators. Versl. Landbouwkd. Onderz. 62.1: 43 pp.
- KOLENBRANDER, G. J., 1974. Efficiency of organic manure in increasing soil organic matter content. Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci., Moscow, 1974, II: 129-136.
- KOLENBRANDER, G. J. en L. C. N. DE LA LANDE CREMER, 1967. Stalmest en gier, waarde en mogelijkheden. Veenman, Wageningen, 188 pp.
- PAAUW, F. VAN DER, en J. RIS, 1963. Nawerking van een bemesting met stikstof. Landbouvoorlichting 20: 149-154.
- SPRINGER, U. und A. LEHNER, 1952. Stoffabbau und Humusaufbau bei der aeroben und anaeroben Zersetzung landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich wichtiger organischer Stoffe. I. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 58: 193-231; II. Ibidem 59: 1-27.