

7 COMPOSTERING VAN MEST

H.V.M. Hamelers

Landbouw Universiteit Wageningen vakgroep Milieutechnologie

7.1 Inleiding

Compostering kan gedefinieerd worden als biologische oxydatie van organische stof aanwezig in een vaste matrix. Gedurende het proces verandert het materiaal sterk; de massa wordt geringer en droger, de chemische samenstelling verandert en ten gevolge van de hoge temperatuur vindt er een afdoding van pathogenen plaats. Het proces kent verschillende toepassingsvormen, afhankelijk van de gestelde doelstelling. In het kader van mestverwerking kunnen genoemd worden het biologische drogen van mest en de produktie van veevoer uit kippemest.

Compostering wordt op diverse plaatsen in de wereld reeds gebruikt als mestverwerkingstechniek. Het betreft hier meestal extensieve toepassingen op boerderijschaal. Vanwege de stringente milieu-eisen en de schaal van het probleem zal bij toepassing van dit proces in Nederland sprake moeten zijn van een procesmatige aanpak. Dit vereist een beter begrip van het proces en de proces-beïnvloedende factoren. In de navolgende bespreking zal de nadruk liggen op het composteringsproces als drogingsproces. Een belangrijk aandachtspunt is de N-emissie. Bij een normale procesvoering is deze namelijk zo groot dat niet aan de milieuhygiënische randvoorwaarden voldaan kan worden.

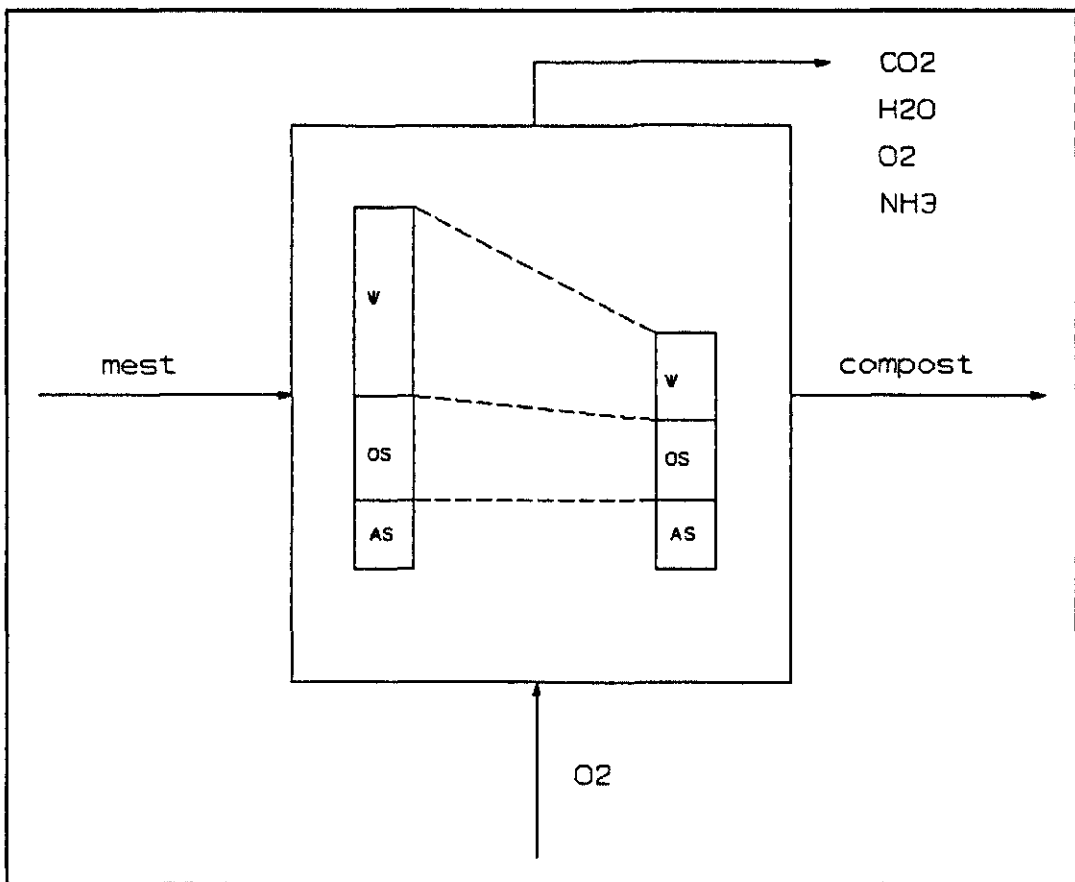
7.2 Achtergronden van het composteringsproces

De basisreactie van het composteringsproces is de oxydatie van organische stof met zuurstof tot koolzuur en water. Bij deze reactie komt een hoeveelheid reactiewarmte vrij. Voor de beschrijving van het proces is het noodzakelijk inzicht te hebben in de balansen van de onderscheiden component te weten organische stof (OS), water (W), zuurstof (O_2), koolzuur (CO_2) en de gevormde reactiewarmte (H_p). Naast inzicht in de bovengenoemde balansen is er ook inzicht nodig in de composteringssnelheid (R).

7.2.1 Massa en energiebalans

Een composteringssysteem kent een in- en uitgaande stofstroom, oftewel de mest- en compoststroom. Daarnaast is er de ingaande en uitgaande gasstroom oftewel de koellucht en afgassen. In figuur 7.1 zijn deze stromen schematisch weergegeven.

Figuur 7.1: Een schematische weergave van de energie- en massabalansen in een composteringssysteem. Weergegeven zijn de meststroom, compoststroom, beluchtungsstroom en afgasstroom. Daarnaast zijn de veranderingen in de belangrijkste vaste stof componenten, te weten organische stof (OS), as (AS) en water (W), weergegeven.



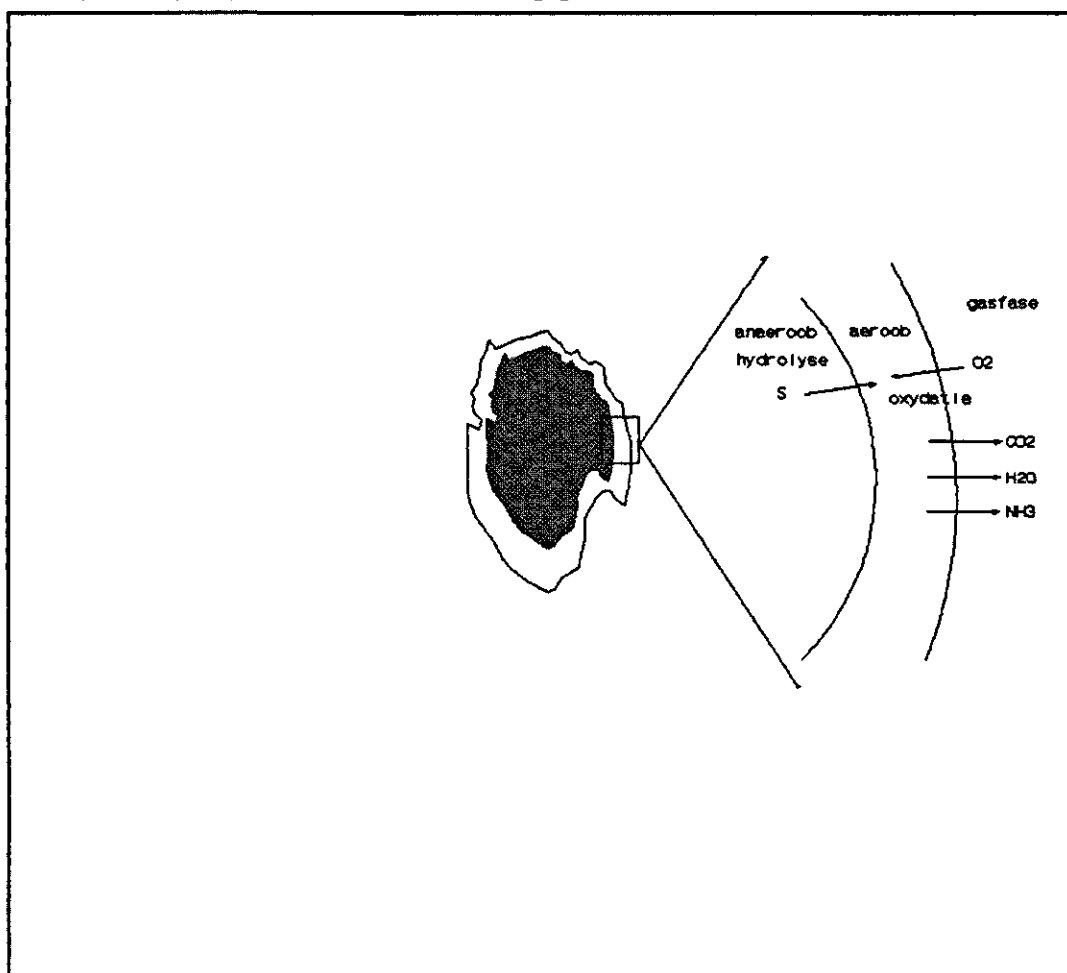
De compoststroom is kleiner dan de meststroom. De massastroom wordt kleiner ten gevolge van de oxydatie van organische stof en de verdamping van water. De voor de verdamping van het water benodigde energie is afkomstig van de oxydatiereactie. Gezien de reductie van de stroom vaste stof zal de afgasstroom dientengevolge groter zijn dan de beluchtingsstroom. Alhoewel een gedeelte van de toegevoerde zuurstof gebruikt wordt voor oxydatie zal dit verlies ruimschoots gecompenseerd worden door de CO₂ productie en de verdamping van water.

De beluchtingsstroom heeft twee functies in een composteringssysteem, te weten aanvoer van de voor oxydatie benodigde zuurstof en afvoer van de reactiewarmte. De afvoer van warmte vindt plaats via verdamping van water en opwarming van de gassen. Zoals verderop zal blijken is in een temperatuur gecontroleerd systeem deze laatste functie het belangrijkste.

7.2.2 Kinetiek van de compostering

Voor een begrip van de omzettingssnelheid is het noodzakelijk de processen op het niveau van een compostierend deeltje te beschouwen. Doordat het zuurstoftransport beperkend is ten opzichte van de potentiële zuurstofconsumptie zal slechts de buitenste laag van het deeltje aëroob zijn. Het overgrote deel van het deeltje zal anaëroob zijn (figuur 7.2). In deze anaërobe kern zal de organische stof tevens worden afgebroken. De fermentatieproducten zullen vervolgens naar de aërobe schil diffunderen alwaar deze geoxideerd worden.

Figuur 7.2: Een schematische weergave van de verdeling van de aërobe schil en de anaërobe kern in een compostdeeltje. Links in de figuur zijn in een deelweergave tevens de belangrijkste processen, te weten oxydatie, hydrolyse en stofoverdracht, weergegeven.



Op basis van dit beeld dient de omzettingssnelheid gezien te worden als zijnde een wisselwerking tussen twee processen, hydrolyse en zuurstofoverdracht. De hydrolyse zorgt voor de produktie van opgelost substraat terwijl via zuurstoftransport de benodigde zuurstof wordt geleverd. Omdat in het begin van het proces reeds veel opgelost substraat aanwezig is en de hydrolysesnelheid nog hoog is zal dan de snelheid van het zuurstoftransport de processnelheid bepalen. Gedurende het proces komt er steeds minder snel opgelost substraat vrij, waardoor op een gegeven moment de hydrolyse de snelheidsbepalende stap zal zijn. Uit het voorgaande mag duidelijk zijn dat de combinatie van zuurstofspanning en specifiek oppervlak uiterst belangrijke procesfactoren zijn omdat deze sterk de zuurstoftransportsnelheid bepalen. Andere belangrijke procesfactoren zijn:

- **Temperatuur.** Afhankelijk van de waarde heeft de temperatuur een positief of een negatief effect. Indien de temperatuur boven het optimum stijgt zal er een sterke daling in activiteit optreden. Voor de thermofiele populatie ligt dit optimum in het gebied 55-65 °C.
- **Vochtgehalte.** Dit beïnvloedt de processnelheid op twee manieren. Voor het functioneren van de biomassa is een bepaalde wateractiviteit en dus vochtgehalte noodzakelijk. Bacteriën hebben een wateractiviteit nodig > 99% en schimmels in het algemeen > 95%. Dit betekent dat beneden een bepaald vochtgehalte er een remming van de biomassa-activiteit optreedt. Het vochtgehalte kan ook een te hoge waarde hebben. De oorzaak van deze remming is niet van fysiologische aard maar betreft een verlaging van de zuurstofopname snelheid door verslechtering van de structuur van het materiaal.
- **Organische stof.** De hoeveelheid en samenstelling hiervan bepalen mede de afbraaksnelheid. Opgeloste eenvoudige moleculen (suikers, vetzuren) worden in het algemeen veel sneller afgebroken dan polymere materialen zoals cellulose en vet.

7.3 Procescontrole en optimalisatie

Door een aantal factoren te optimaliseren is het mogelijk het composteringsproces te versnellen. De belangrijkste factoren zijn de structuur van het materiaal en de procestemperatuur.

7.3.1 De structuur en samenstelling van het te composteren materiaal

Een goede structuur van de composterende massa is zeer belangrijk. Hierdoor wordt het mogelijk de composterende massa goed en gelijkmatig te beluchten. Tevens is dan het oppervlak beschikbaar voor zuurstofoverdracht zo groot mogelijk. Het is nog niet mogelijk gebleken om de structuur van een composterende massa eenduidig te karakteriseren.

Drogestofgehalte en porositeit zijn grootheden waarmee een beperkte karakterisatie mogelijk is. Een voldoende hoge porositeit (0.3-0.5) en voldoende hoge drogestofgehalte (30-40%) worden als voorwaarden gesteld. Boven- genoemde waarden gelden als richtsnoer. Indien het materiaal niet voldoet aan deze eisen kan dit verbeterd worden door een toeslagstof (bv. houtsnippers) of door recirculatie van het produkt.

Een voldoende hoog organischestof-water verhouding is noodzakelijk om een voldoende droge compost te verkrijgen. Afhankelijk van de samenstelling van het materiaal kan ca. 8 kg water per kg afgebroken organische stof worden verdampt. Indien deze verhouding te laag is zal een produkt met een hogere verhouding organischestof-water toegevoegd moeten worden.

7.3.2 De temperatuurregeling

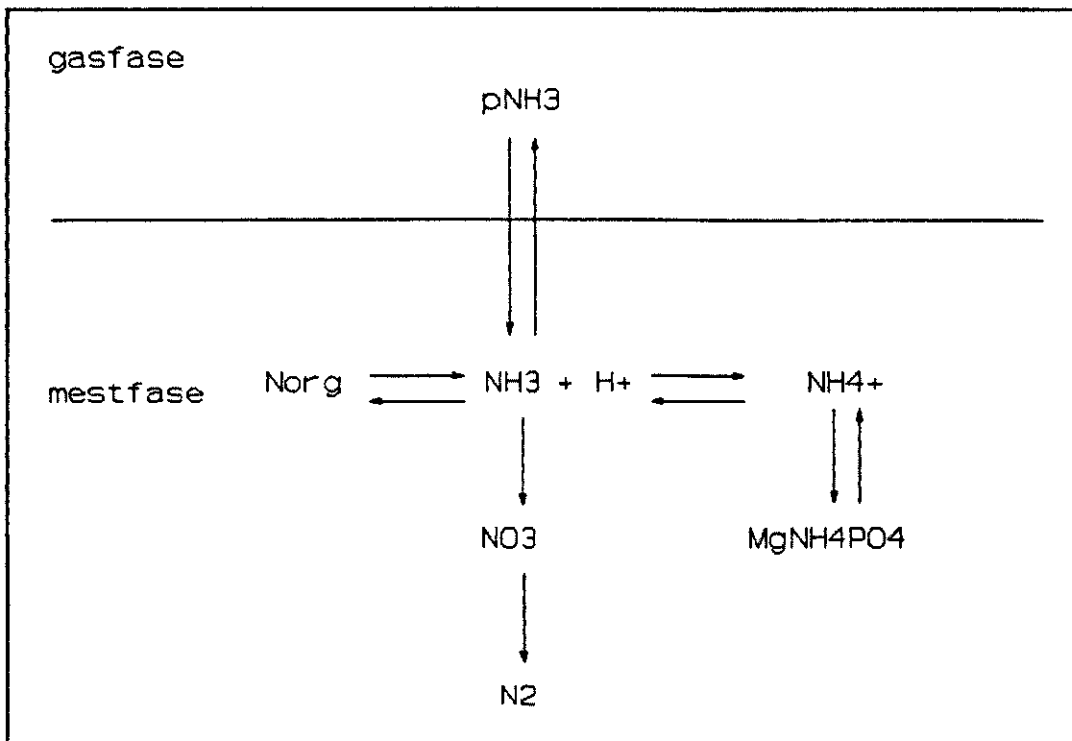
De oxydatie van organische stof gaat gepaard met een zekere warmteontwik- keling. Per kilogram afgebroken organische stof zal in de orde grootte van 18-24 MJ aan warmte geproduceerd worden. Bij de start van het proces zal de warmte accumuleren, hetgeen resulteert in een temperatuurstijging van de composterende massa. Deze temperatuur mag echter een bepaald optimum (55-65 °C) niet overschrijden, daar dan de biologische omzettingssnelheid sterk geremd wordt. In een klein temperatuurtraject van 65-70 °C kan in sommige gevallen reeds een volledige remming van het proces optreden.

Om een te hoge temperatuur te voorkomen, dient de geproduceerde warmte afgevoerd te worden op het moment dat het systeem de gewenste temperatuur bereikt heeft. Dit kan gebeuren door de composterende massa sterker te beluchten, waardoor afkoeling optreedt. Deze afkoeling wordt voornamelijk bewerkstelligd doordat de afgevoerde lucht waterdamp bevat. Voor het verdampen van het hiervoor benodigde water is warmte nodig. In het geval van een praktijkinstallatie zal meer dan 85% van warmte in de vorm van waterdamp afgevoerd worden. Indien het systeem gekoeld wordt met omgevingslucht zal de zuurstofvoorziening verder geen probleem geven en is een O₂ gehalte van 18% dan gewaarborgd. Een gevolg van de verhoogde beluchting is dat het compos- terende materiaal snel uitdroogt. Dit zal de afbraaksnelheid uiteindelijk sterk remmen.

7.4 Mechanisme van de NH_3 emissie

De NH_3 emissie wordt bepaald door zowel de grootte van het debiet als de NH_3 -spanning in het afgas. De grootte van het debiet wordt bepaald door de processturing. De NH_3 -spanning in het gas wordt door een aantal elkaar beïnvloedende factoren bepaald (figuur 7.3).

Figuur 7.3: Een schematische weergave van de processen en evenwichten die een rol spelen bij de NH_3 -emissie. De bovenzijde heeft betrekking op de gasfase, de benedenzijde op de mestfase.



De belangrijkste factoren zijn:

- Het NH_3 gehalte in de mest-fase. Dit gehalte staat in directe relatie tot het NH_3 gehalte van de gasfase. De verdelingscoëfficiënt is afhankelijk van de temperatuur en het zoutgehalte van de mest.

- De pH van de mestfase. Behalve in de vorm van NH_3 kan het vrije ammonia ook in de geprotoneerde vorm NH_4^+ voorkomen. De verdeling tussen beide vormen is afhankelijk van de pH van het systeem. Het verdelingsevenwicht is afhankelijk van temperatuur en zoutsterkte.
- Neerslagen en complexen. Het ammonia kan ook in de vorm van neerslagen als struviet of gecomplexed met humuszuren en kleideeltjes voorkomen.

Bovengenoemde drie factoren bepalen de ligging van het evenwicht tussen gas en mestfase. Het composteringsproces is echter dynamisch en daarom kan de NH_3 -spanning in de gasfase niet uitsluitend begrepen worden als een fysisch-chemisch evenwicht. De volgende processen dienen in ogenschouw te worden genomen:

- Biologische omzettingen. Door biologische omzettingen kan zowel NH_3 gevormd als gebruikt worden. In de dierlijke mest komen diverse N-rijke componenten voor zoals eiwit, ureum en urinezuur. Afbraak van deze componenten geeft onder normale omstandigheden NH_3 als eindprodukt. Het NH_3 kan weer gebruikt worden voor de opbouw van nieuwe biomassa of omgezet worden tot nitraat. Al deze reacties beïnvloeden de grootte van de vrije ammoniaconcentratie.
- Stofoverdrachtsverschijnselen. Doordat het NH_3 in de gasfase steeds afgevoerd wordt zal er een transportstroom van NH_3 in de compostdeeltjes ontstaan. Ten gevolge van deze stofstroom ontstaat er een gradiënt van NH_3 in de mestdeeltjes. Deze gradiënt zorgt ervoor dat vergeleken met de gemiddelde concentratie NH_3 in de mestfase, de NH_3 spanning in de gasfase verlaagd is.

7.5 Reductie van de NH_3 -emissie

De basis van een strategie voor verlaging van de NH_3 -emissie zal liggen in beïnvloeding van het mechanisme van de NH_3 -emissie. Er kunnen drie groepen methoden onderscheiden worden; reductie van het afgasdebiet, beïnvloeding van de instelling van het fysisch-chemisch evenwicht tussen mest- en gasfase en beïnvloeding door middel van biologische omzettingen. Nabehandeling van de afgassen wordt hier buiten beschouwing gelaten.

7.5.1 Beïnvloeding van het afgasdebiet

Reductie van het afgasdebiet heeft twee potentiële voordelen. Het eerste voordeel is dat de uitworp van NH_3 waarschijnlijk geringer zal zijn. Hierbij dient bedacht te worden dat bij een lager debiet de dampspanning gemiddeld hoger zal zijn, omdat de hoeveelheid NH_3 in de mest groter zal zijn. Dit zal het effect van de reductie van de afgasstroom op de NH_3 uitstoot verkleinen. Het tweede voordeel is gelegen in de lagere gasbelasting van afgasreiningsapparatuur.

Deze reductie van het afgasdebiet kan bewerkstelligd worden door de afgassen te koelen. Deze gekoelde afgassen kunnen vervolgens weer gebruikt worden voor beluchting. Bij deze koeling zal een condensaat gevormd worden dat NH_3 bevat. Een verder positief effect van deze recirculatie is dat de omzettingssnelheid verhoogd zal worden, daar de temperatuurgradiënt in het composterende bed geringer zal zijn. Een negatief effect van recirculatie is dat de zuurstofspanning lager zal zijn. Dit heeft een remmend effect op de omzettingssnelheid.

Bij de vakgroep Milieutechnologie van de LUW loopt onderzoek naar deze methode om het afgasdebiet te verkleinen. Uit indicatieve experimenten blijkt het mogelijk om de NH_3 -emissie via het afgas met een factor twee te verkleinen. De totale NH_3 -emissie werd in deze experimenten met een factor 1.5 vergroot ten gevolge van een verbeterde afbraak. De grootste hoeveelheid van de NH_3 (80%) werd in het condensaat van de koeler opgenomen.

Er wordt nog verder onderzoek gedaan naar dit systeem, vooral om de werking van de condensor te verbeteren. Daarnaast blijft het belangrijk om te onderzoeken welke maximale reducties mogelijk zijn. Dit onderzoek wordt ondersteund door rekenmodellen.

7.5.2 Beïnvloeding fysisch-chemische evenwicht

7.5.2.1 Beïnvloeding door middel van temperatuur

Een veel gehoorde stelling is dat de NH_3 -emissie gereduceerd zou kunnen worden door een verlaging van temperatuur van de composterende massa. De afgassen zouden daardoor lager in temperatuur zijn, waardoor de NH_3 dampspanning lager zou worden ten gevolge van de verlaging van de verdelingscoëfficiënt. Alhoewel dit in principe correct is, wordt hierbij geen rekening gehouden met het feit dat tevens de waterdampspanning in de afgassen lager zal zijn. Om tot een bepaalde droging te komen dient een hoeveelheid water afgevoerd te worden. Bij een lagere temperatuur zal dus tevens een grotere hoeveelheid afgas gevormd worden. Een eenvoudige beschouwing leert dat het effect op de N-emissie niet afhankelijk is van de verdelingscoëfficiënt van NH_3 , maar van de verhouding NH_3 -dampspanning en waterdampspanning. Berekeningen leren dat bij een lagere temperatuur dan zelfs iets meer NH_3 zou vervluchtigen.

Uiteraard dient hierbij in het oog gehouden te worden dat de temperatuur meer processen beïnvloedt, onder andere de afbraaksnelheid van organische stof.

7.5.2.2 Beïnvloeding van het pH evenwicht

Een ander optie om het verdelingsevenwicht te verschuiven is het verlagen van de pH door een zuurdosering. Het blijkt echter moeilijk hiervoor een geschikt zuur te vinden. Organische zuren kunnen niet gebruikt worden, daar deze snel geconsumeerd worden in het proces. Salpeterzuur zal gedurende het proces ten gevolge van denitrificatie naar verwachting snel afgebroken worden. Fosforzuur is minder aantrekkelijk, omdat dit het fosfaatgehalte van het produkt verhoogt. Zoutzuur en zwavelzuur zijn eveneens minder aantrekkelijk, omdat deze tot een ongewenste zoutophoping leiden. Concluderend kan gesteld worden dat er geen zuren bestaan die zowel uit proces- als produktoogpunt effectief zijn.

7.5.2.3 Beïnvloeding neerslagvorming

Een mogelijkheid is het vastleggen van het zout in de vorm van struviet. Echter, door de ongunstige stoichiometrische verhouding van Mg, NH_3 en PO_{43} zou een dergelijke strategie een toevoeging van fosfaat vereisen.

7.5.3 Beïnvloeding van biologische processen

7.5.3.1 Inbouw van NH_3 in biomassa

Een veel beschreven methode om de NH_3 emissie te reduceren is het toevoegen van een extra C-bron om de C/N-verhouding te verhogen. De idee is dat op deze wijze een hoeveelheid N als microbiëel eiwit wordt vastgelegd en daardoor niet zal vervluchtigen. Bij deze strategie kunnen echter vraagtekens geplaatst worden. Doordat de toevoegingen vrij massaal zijn, is het resultaat dat er veel meer compost gevormd wordt dan in het geval van mest alleen. Dit geeft extra afzetproblemen. Daarnaast is het effect in het geval van kippemest nooit overtuigend aangetoond! Uit onderzoek blijkt dat de uitstoot per kg mest gelijk blijft in het geval van toevoegingen.

7.5.3.2 Nitrificatie van NH_3 .

Nitrificatie lijkt een interessante optie om de NH_3 -emissie te verkleinen. Productie van nitraat heeft namelijk twee effecten. Enerzijds wordt er NH_3 weggenomen, anderzijds wordt er nitraat gevormd waardoor de pH daalt.

Er zijn echter een paar zaken die het geheel compliceren. De nitrificerende bacteriën hebben zuurstof nodig. Slechts een klein gedeelte van een composterend deeltje is in de initiële fase aëroob. Verder dienen de nitrificeerders in deze aërobe laag te concurreren met heterotrofe organismen. Dit maakt dat het moeilijk zal zijn reeds in de beginfase van het proces voldoende nitrificerende capaciteit te introduceren. Daarnaast is nitrificatie onder thermofiele omstandigheden nog niet uitgebreid aangetoond. Daar compostering ook mesofiel kan worden uitgevoerd, hoeft dit laatste geen bezwaar te zijn. Het gevormde nitraat zal naar de anaërobe kern diffunderen, alwaar het door denitrificatie afgebroken wordt.

7.6 Toekomstig onderzoek

Voor de optimalisatie van de organische stof afbraak zijn reeds voldoende inzichten aanwezig om het proces op een pilot-schaal verder te onderzoeken. De nadruk binnen het verder onderzoek naar mestcompostering zal liggen op het gebied van de reductie van de NH_3 -emissie. De meest aantrekkelijke opties zijn die van afgaskoeling en van nitrificatie. Afgaskoeling in combinatie met afgasbehandeling lijkt op korte termijn de meest zinvolle optie om te voldoen aan de milieu-eisen. Op langere termijn zou een procesgeïntegreerde NH_3 -eliminatie via nitrificatie de meest aantrekkelijke route zijn. Hiervoor is echter nog veel meer onderzoek nodig, zowel op microbiologisch als technologisch gebied.

7.7 Samenvatting

Het composteringsproces kan in het raamwerk van mestverwerking gebruikt worden voor diverse toepassingen. Bij de ontwikkeling voor mestverwerking zijn twee aspecten van groot belang, te weten de optimalisatie van de organische stof afbraak en de reductie van de N-emissie. Vooral dit laatste aspect heeft veel aandacht nodig omdat hierover nog weinig bekend is. De meest zinvolle perspectieven voor N-reductie zijn afgaskoeling met recirculatie van de afgassen en geïntegreerde nitrificatie. Deze laatste optie is het meest aantrekkelijk, deze behoeft echter nog uitgebreider onderzoek.