

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 490

## Reductie van ammoniakemissie op pluimveebedrijven via voeding

April 2012



**LIVESTOCK RESEARCH**

**WAGENINGEN UR**

## Colofon

### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2012

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

### Abstract

In this study the possibilities are shown to reduce ammonia emission from poultry houses by nutrition.

### Keywords

Ammonia emission, poultry, nutrition

### Referaat

### Auteurs

T. Veldkamp, L. Star, J.D. van der Klis, J. van Harn

### Titel

Reductie van ammoniakemissie op pluimveebedrijven via voeding

### Rapport 490

### Samenvatting

In deze studie worden de mogelijkheden aangegeven om de ammoniakemissie uit pluimveestallen te reduceren via voeding.

### Trefwoorden

Ammoniakemissie, pluimvee, voer



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR



Schothorst Feed Research

Rapport 490

## Reductie van ammoniakemissie op pluimveebedrijven via voeding

## Reduction of ammonia emission from poultry houses by nutrition

T. Veldkamp

L. Star

J.D. van der Klis

J. van Harn

April 2012



## Voorwoord

De ministeries van Infrastructuur en Milieu (IenM) en Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I), de provincies en de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) hebben een "Actieplan Ammoniak Veehouderij" opgesteld. Dit Actieplan moet er toe leiden dat de middelgrote veehouderijbedrijven emissiearm worden en gaan voldoen aan het Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij (Besluit huisvesting). Eigenlijk zouden deze veehouderijen al per 1 januari 2010 moeten voldoen aan het Besluit. Gebleken is dat veel veehouders voor die datum de noodzakelijke stalaanpassingen niet kunnen realiseren. In overleg met de Tweede Kamer heeft de minister – onder voorwaarden - uitstel van de verplichting verleend tot uiterlijk 1 januari 2013. In het Actieplan zijn twee categorieën opgenomen: de blijvers en de stoppers. De blijvers moeten het bedrijf c.q. de stallen aanpassen. Dit kan alleen met stalsystemen die zijn opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). De stoppers en verplaatsters hoeven het bedrijf en de stallen niet aan te passen. Van hen wordt verwacht dat zij voor 1 januari 2013 het bedrijf op de betreffende locatie hebben beëindigd en hun vergunning inleveren. Mochten zij in de loop der tijd tot andere gedachten komen, dan moeten zij op 1 januari 2013 aan de eisen van het Besluit huisvesting voldoen. De stoppers mogen ook wat langer de tijd nemen om het bedrijf af te bouwen tot uiterlijk 2016. Voorwaarde is wel dat zij voor 1 januari 2013 emissiereducerende maatregelen nemen die gelijkwaardig zijn aan hetgeen moet worden bereikt onder het Besluit huisvesting. De stoppers mogen ook wat langer de tijd nemen om het bedrijf af te bouwen tot uiterlijk 1 januari 2020. Voorwaarde is wel dat zij voor 1 januari 2013 emissiereducerende maatregelen nemen die gelijkwaardig zijn aan hetgeen moet worden bereikt onder het Besluit huisvesting. Het betreft dan snel inzetbare, mogelijk tijdelijke maatregelen. Het kan om maatregelen gaan die alleen voor deze categorie beschikbaar komen en niet op de Rav staan. Hierbij kan gedacht worden voer- en managementmaatregelen. Ook is het mogelijk om minder dieren te gaan houden en de productierechten daarvoor tijdelijk uit gebruik te nemen. Het ministerie van EL&I heeft Wageningen UR Livestock Research gevraagd om in samenwerking met Schothorst Feed Research BV een deskstudie uit te voeren naar het effect van voedingsmaatregelen op vermindering van de NH<sub>3</sub> emissie bij leghennen, vleeskuikens, moederdieren, kalkoenen en eenden. In dit rapport wordt voor de pluimveehouderij een overzicht gegeven van voermaatregelen die een verlaging geven van de ammoniakemissie in traditionele stallen. Verder wordt in dit rapport ingegaan op mogelijkheden tot controle van deze voermaatregelen. Daarnaast zijn mogelijke positieve en negatieve neveneffecten van voermaatregelen op diergezondheid, dierenwelzijn en productiviteit kwalitatief inzichtelijk gemaakt.

Mede namens de auteurs,

Dr. T. Veldkamp  
Projectleider



## Samenvatting

Via voeding zijn er mogelijkheden om de stikstofexcretie en hiermee de ammoniakvorming te verminderen. Met name op het gebied van vermindering van de stikstofexcretie zijn bij leghennen en vleeskuikens meerdere publicaties gevonden.

Fasenvoeding is een methode om de eiwitgift af te stemmen op de eiwitbehoefte op verschillende leeftijden. Een verdere verfijning van de voerfasen (meer voerfasen) op de behoefte aan nutriënten van dieren op verschillende leeftijden kan leiden tot een grotere ammoniakreductie. Bij vleeskuikens werd in een onderzoek een 22% lagere ammoniakemissie gerapporteerd wanneer 6-fasen- in plaats van 4-fasenvoeding werd toegepast. Fasenvoeding die beter is afgestemd op de behoefte van de dieren (meer voerfasen) hoeft niet te leiden tot een verhoging van de kostprijs.

Verlaging van het ruw eiwitgehalte en het gebruik van vrije aminozuren is een andere methode die kan worden gebruikt in de voerformulering om de ammoniakemissie te reduceren. In publicaties worden afhankelijk van de gehanteerde verlaging van het ruw eiwitgehalte bij vleeskuikens ammoniakreducties tot meer dan 50% gerapporteerd. Deze maatregel leidt echter wel tot een kostprijsverhoging van de voeders omdat vrije aminozuren toegevoegd moeten worden om in de aminozuurbehoefte van de dieren te voorzien. Een voorbeeldberekening laat zien dat bij leghennen een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 30 g/kg bij een gelijkblijvend verteerbaar lysinegehalte leidt tot een kostprijsverhoging van 16%. Bij vleeskuikens leidt een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 5, 10 en 15 g/kg tot een kostprijsverhoging van respectievelijk 5, 12 en 19%.

Verlaging van de elektrolytenbalans (met name natrium en kalium) kan resulteren in een verminderde vochtuitscheiding en zo een bijdrage leveren aan een verminderde ammoniakemissie. Het effect van het vochtgehalte en structuur van de mest op de ammoniakemissie is echter niet geheel duidelijk en is niet gerapporteerd. Aanvullend onderzoek naar de relatie tussen vochtgehalte, structuur van de mest en ammoniakemissie is wenselijk. Een voorbeeldberekening laat zien dat een verlaging van het Kaliumgehalte in vleeskuikenvoeders met 0,5 of 1,0 g/kg leidt tot een kostprijsverhoging van 3 en 7%. Ook het calcium- en fosforgehalte, de calcium-fosfor verhouding en de calciumbron zijn van invloed op de vochtuitscheiding en de zuurgraad. Door  $\text{CaCO}_3$  (gedeeltelijk) te vervangen door  $\text{CaSO}_4$  of  $\text{CaCl}_2$  kan mogelijk een reductie van de ammoniakemissie worden bewerkstelligd. Enkele studies met leghennen zijn perspectiefvol maar vragen aanvullend onderzoek.

Een hoger aandeel fermenteerbare koolhydraten kan resulteren in een verlaging van de zuurgraad in de mest door een hogere productie van vluchtige vetzuren door bacteriën in de dikke darm. Echter een te hoog gehalte aan fermenteerbare koolhydraten kan leiden tot nattere mest. Bij leghennen leidde deze maatregel (i.c.m. een iets lager eiwitgehalte) tot een ammoniakreductie van bijna 40%. Een voorbeeldberekening laat zien dat bij leghennen een verhoging van het NSP-gehalte van 18 en 38 g/kg leidt tot een kostprijsverhoging van respectievelijk 1 en 3%. Bij vleeskuikens leidt een verhoging van het NSP-gehalte van 9 en 19 g/kg tot een kostprijsverhoging van respectievelijk 6 en 13%.

Verder zijn een aantal toevoegmiddelen beschikbaar die de stikstofvertering positief beïnvloeden of waarvan een urease-remmende werking uitgaat of ammoniak kunnen binden.

Vermindering van de ammoniakemissie via het voerspoor is zeer wel mogelijk met instandhouding van de productieprestaties en de gezondheid en het welzijn van de dieren. De meeste aanpassingen in de voersamenstelling zullen kostprijsverhogend uitwerken. In controleerbaarheid kan worden voorzien door de emissiearme voeders van een unieke voercode te voorzien met een nauwkeurig omschreven samenstelling.

Wijzigingen in huisvestingsomstandigheden en management hebben invloed op de eiwitbehoefte en het is daarom aan te bevelen aanvullend onderzoek te starten naar een verdere verfijning van afstemming van de eiwitgift op de behoefte van leghennen en vleeskuikens. Ten aanzien van vleeskuikenouderdieren, kalkoenen en eenden zijn slechts in beperkte mate publicaties beschikbaar en voor deze pluimveesectoren is tevens aanvullend onderzoek wenselijk om voermaatregelen te verfijnen en het effect op vermindering van de ammoniakemissie nader te bestuderen. Bij aanvullend onderzoek is het belangrijk dat naast de stikstofexcretie ook de ammoniakemissie wordt gemeten omdat een vermindering van de stikstofexcretie niet rechtlijnig de ammoniakemissie beïnvloedt.





## Summary

Ammonia is not produced by poultry itself but the volatile nitrogen compound is formed by microbial activity from uric acid and undigested protein in the excreta. This process is affected by moisture content, temperature, acidity, and oxygen concentration in the excreta. It's therefore possible to influence the formation of ammonia by nutritional means. Many publications are available on the effect of nutritional means on the reduction of nitrogen excretion in laying hens and broilers.

Phase feeding is an instrument to match protein and amino acid supply with the requirement of the birds at different age intervals. A more accurate application of phase feeding at different ages may result in a higher reduction of ammonia emission. In a broiler study, ammonia emission was reduced by 22% when a 6-phase feeding programme was compared with a 4-phase feeding programme. A more sophisticated phase feeding programme doesn't implicate an increase in feed costs.

Reducing the crude protein content along with extra supply of free amino acids is a feasible tool which can be used in feed formulation. It's important that the ideal amino acid pattern will be met for each poultry species. Ammonia reductions up to 50% were reported when crude protein contents of the diets were decreased. Decreasing the crude protein content will increase the feed costs because free amino acids have to be included in the diet formulation to meet the bird's amino acid requirements. An example on the calculation of feed costs showed that a decrease of the crude protein content in laying hen diets of 30 g/kg at a constant digestible lysine content will result in an increase of feed costs of 16%. A decrease of 5, 10 and 15 g/kg crude protein content in broiler diets resulted in an increase in feed costs of 5, 12 and 19%, respectively.

Lowering of the dietary electrolyte balance (sodium and potassium) may result in a reduced moisture excretion which may result in a lower ammonia emission. The effect of moisture content and structure of the manure on ammonia emission is not clear and was not reported. Additional research is recommended in this field. An example of feed cost calculation showed an increase in feed costs of 3 and 7% when potassium content in broiler diets was decreased with 0.5 and 1.0 g/kg, respectively.

Also the calcium and phosphorus content, calcium-phosphorus ratio and the source of calcium in the diet may influence the moisture excretion. A (partial) substitution of  $\text{CaCO}_3$  by  $\text{CaSO}_4$  or  $\text{CaCl}_2$  may result in a reduction of ammonia emission. Some studies reported in laying hens seemed to be promising, however more research is recommended.

A higher inclusion level of fermentable carbohydrates may result in a lower pH in the excreta by a higher production of volatile fatty acids in the hindgut. However, a high inclusion level of fermentable carbohydrates in the diet may result in increased moisture excretion. In laying hens this measure resulted (along with a lower crude protein content) in a 40% lower ammonia emission. An example on the calculation of feed costs in laying hens demonstrated that an increase of 18 and 38 g NSPs per kg in the diet resulted in an increase of feed costs of 1 and 3%, respectively. In broiler diets, however an increase of 9 and 19 g NSPs per kg resulted in 6 and 13% higher feed costs, respectively.

A lot of commercial feed additives are available which improve nitrogen digestion and utilization or having a urease inhibiting effect or having an ammonia binding effect. Reduction of ammonia emission from poultry houses by nutrition is feasible without adversely affecting performance, health and welfare of poultry. Most nutritional adjustments will result in higher feed costs. Less drastic nutritional adjustments which have less cost price increasing effects, in combination with housing and management adjustments, may result in a significant reduced ammonia emission. Control of feed adjustments may be guaranteed by delivery of low-emission diets with a unique feed label and an accurate described feed composition.

New developments in housing and management conditions of poultry now and in the near future (will) have a major impact on protein and amino acid requirement of all poultry species. It is recommended to start refined research to determine the protein and amino acid requirements of all commercial poultry species and to study the effect on nitrogen excretion and ammonia emission. Only a few publications are available for broiler breeders, turkeys and ducks and additional research is also recommended to refine protein and amino acid requirements and to study effects on nitrogen excretion and ammonia emission in these species. It's important that besides measurements on nitrogen excretion also ammonia emission is determined because ammonia emission is not a linear function of nitrogen excretion.



# Inhoudsopgave

## Voorwoord

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ammoniakvorming</b> .....	<b>2</b>
2.1	Urinezuur.....	3
2.2	Stikstofstromen bij pluimvee .....	4
<b>3</b>	<b>Voermaatregelen</b> .....	<b>5</b>
3.1	Reductie van de stikstofuitscheiding .....	5
3.1.1	Fasenvoeding .....	5
3.1.2	Eiwitgehalte.....	9
3.1.3	Vrije aminozuren .....	13
3.1.4	Tarwe bijvoeren .....	15
3.1.5	Enzymen .....	16
3.2	Verlagen van het vochtgehalte in de mest.....	18
3.2.1	Eiwitgehalte.....	18
3.2.2	Elektrolyten en elektrolytenbalans .....	19
3.2.3	Calcium en fosfor .....	22
3.3	Toevoegmiddelen.....	24
3.3.1	Bacillus subtilis culture (DBSC) .....	24
3.3.2	Lactobacilli .....	25
3.3.3	Gisten.....	25
3.3.4	Algen .....	26
3.3.5	Kleimineralen .....	26
3.3.6	Vervangen CaCO <sub>3</sub> door CaSO <sub>4</sub> of CaCl <sub>2</sub> .....	27
3.3.7	Yucca-extracten .....	27
3.4	Fermenteerbare koolhydraten.....	27
3.5	Samenvatting effecten voermaatregelen .....	28
<b>4</b>	<b>Kosten van voermaatregelen</b> .....	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Controle</b> .....	<b>31</b>
5.1	Algemeen .....	31
5.2	Voermaatregelen.....	31
<b>6</b>	<b>Conclusies en Aanbevelingen</b> .....	<b>33</b>
6.1	Conclusies.....	33
6.2	Aanbevelingen .....	34



## 1 Inleiding

Het kabinet heeft in overleg met de provincies besloten het stikstofvraagstuk via een stikstofvoorziening in de Crisis- en herstelwet en een Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) het hoofd te bieden. Stikstof is één van de problemen bij de implementatie van Natura 2000 in Nederland. De PAS beoogt een duurzame economische ontwikkeling en herstel samen te laten gaan met het realiseren van de natuurdoelen. Het is evident dat de stikstofbelasting moet afnemen. Van cruciaal maatschappelijk belang is daarbij dat economische ontwikkeling mogelijk is binnen een per saldo voldoende afnemende depositie. Ammoniakemissies door de landbouw dragen voor bijna de helft bij aan de totale stikstofdepositie in Nederland, 17% wordt veroorzaakt door andere bronnen (waaronder verkeer) (De Haan e.a., 2008). Om het PAS tot een succes te maken is een pakket aanvullende maatregelen nodig. Na een halvering in de periode 1990 – 2010 wordt de uitstoot in de periode 2010 - 2030 met het vastgestelde beleid met 9,3 % teruggebracht. Hierbij wordt gedacht aan de volgende maatregelen voor de periode 2010 – 2030:

- Verbeteren van het uitrijden van dierlijke mest. Het gaat hierbij om het voorschrijven van de meest effectieve apparatuur (bijvoorbeeld op bouwland toepassen van mestinjectie)
- Aanscherpen van de emissie-eisen van de AMvB huisvesting voor nieuwe stallen. Het streven is om aan te scherpen tot het niveau van Best Beschikbare Techniek + (BBT+). Deze maatregel kan ingaan aansluitend op de overgangstermijn van het Actieplan Ammoniak. Voor bestaande stallen geldt een passende overgangstermijn.
- Het opstellen van emissie-eisen en deze vastleggen in de AMvB huisvesting voor een aantal diercategorieën waar nu nog geen eisen voor gelden zoals melkvee, vleeskalveren.
- Aanvullend op de stalrichtingseisen worden emissiebeperkende maatregelen getroffen zoals voer- en andere managementmaatregelen, deze kunnen landelijk of gebiedsgericht worden ingezet. Deze maatregelen kunnen worden opgenomen in de Regeling Ammoniak en Veehouderij (Rav) als aanvullende maatregelen naast de stalmaatregelen.

Het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie heeft in relatie tot de laatste maatregel aan Wageningen UR Livestock Research gevraagd om in samenwerking met Schothorst Feed Research BV een deskstudie uit te voeren naar het effect van voedingsmaatregelen op vermindering van NH<sub>3</sub>-emissie bij leghennen, vleeskuikens, moederdieren, kalkoenen en eenden. Doel van deze deskstudie is het beschrijven van voedingsconcepten die een reducerend effect hebben op de ammoniakemissie bij pluimvee (legghennen, vleeskuikens, moederdieren, eenden en kalkoenen), met een zo goed mogelijke schatting van de effecten op de ammoniakemissie. Daarbij is aandacht voor het feit dat geen afwenteling plaats vindt op andere milieuaspecten, te weten geur, fijnstof, lachgas, methaan en energieverbruik. Tevens zal de controleerbaarheid worden beschreven. Daarnaast zullen ook mogelijke positieve en negatieve neveneffecten van deze maatregelen op diergezondheid, dierenwelzijn en technische resultaten kwalitatief inzichtelijk gemaakt worden.

### Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de vorming van NH<sub>3</sub> beschreven. In hoofdstuk 3 worden mogelijke voermaatregelen gepresenteerd. In hoofdstuk 4 zijn de kosten van de enkele voermaatregelen bij leghennen en vleeskuikens weergegeven. In hoofdstuk 5 wordt gerapporteerd hoe de verschillende voermaatregelen kunnen worden gecontroleerd. Het rapport eindigt met de conclusies en aanbevelingen.

## 2 Ammoniakvorming

Voedingsdeskundigen verwachten dat bij pluimvee verlaging van het ruw eiwitgehalte in het voer één van de belangrijkste oplossingsrichtingen kan zijn om de stikstofexcretie te verminderen en de ammoniakemissie te reduceren. Ellen e.a. (2005) geven aan dat het mogelijk is via voermaatregelen de ammoniakemissie uit vleeskuikenstallen met 10 – 60 % te verminderen. Op dit moment is de kennis over de relatie tussen voedingsmaatregelen en  $\text{NH}_3$ -emissie in de pluimveehouderij echter versnipperd en onvoldoende gekwantificeerd. Het is daarnaast goed mogelijk dat het reduceren van de  $\text{NH}_3$ -emissie via voedingsmaatregelen ook gunstige effecten heeft op de gezondheid van de dieren en daarmee op het antibioticagebruik. Zo kan een lager ruw eiwitgehalte in het voer gunstig zijn voor de darmgezondheid. Een droger strooisel, als gevolg van aangepaste mineralengehalten, lager eiwitgehalte, beter verteerbare grondstoffen, e.d. in het voer, kan resulteren in minder voetzoollaesies, terwijl een lagere  $\text{NH}_3$ -concentratie in de stallucht gunstig kan werken op de gezondheid van de luchtwegen.

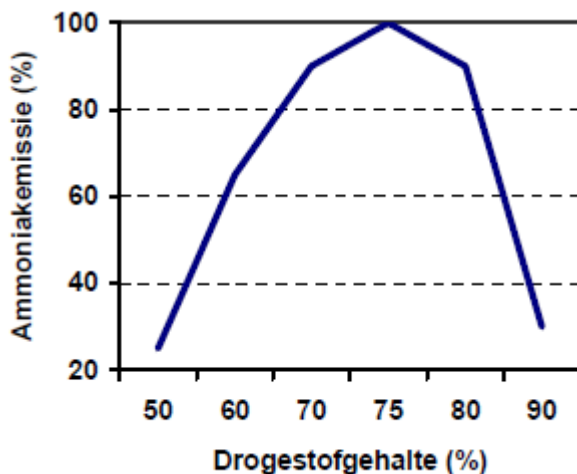
Ammoniak wordt niet rechtstreeks door of in het pluimvee aangemaakt en komt dan ook niet of nauwelijks voor in de (verse) mest van pluimvee. Deze vluchtige stikstofverbinding wordt door microbiële afbraak gevormd uit urinezuur en onverteerde eiwitten in de mest.

Onverteerde eiwitten en urinezuur vertegenwoordigen respectievelijk circa 30 en 70 procent van de totale hoeveelheid stikstof in de mest. De onverteerde eiwitten zijn door het dier niet ge- of verbruikt, terwijl urinezuur in het lichaam gevormd is om overtollig stikstof in een niet-schadelijke vorm uit te scheiden. Van de totale hoeveelheid urinestikstof in pluimvee is 88% afkomstig van urinezuur, 7% van ammonia, 3% van ureum en 2% is niet geïdentificeerd (Krogdahl en Dalsgard, 1981). Na uitscheiding kunnen door micro-organismen uit urinezuur en onverteerde eiwitten ureum ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), ammoniak ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ), nitriet ( $\text{NO}_2^-$ ), nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ), lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), stikstofmonoxide ( $\text{NO}$ ), stikstofgas ( $\text{N}_2$ ) en microbiële eiwit worden gevormd.

De microbiële afbraak van eiwitten en urinezuur tot ureum en vervolgens ammoniak is één van de belangrijkste processen. Deze microbiële afbraak is sterk afhankelijk van de waterconcentratie in de mest. De meeste reductietechnieken voor pluimveestallen werken dan ook op basis van een snelle droging van de mest.

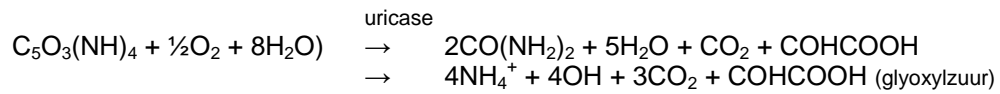
Volgens Groot Koerkamp et al. (2000) neemt de ammoniakvorming in mest (of strooisel) bij vleeskuikens af als het drogestofgehalte in de mest lager is dan 60% of hoger dan 80%. (Figuur 1). Daartussen zijn de omstandigheden voor het vormen van ammoniak optimaal. De emissie is maximaal bij een drogestofgehalte van 75%. Om de emissie te verlagen moet de mest dus of nat of droog worden gemaakt of gehouden.

**Figuur 1** Schematisch verloop  $\text{NH}_3$ -emissie uit strooisel als functie van het drogestofgehalte (Groot Koerkamp et al, 2000)



## 2.1 Urinezuur

De afbraak van urinezuur verloopt via een aantal deelprocessen waarbij verschillende enzymen een rol spelen, namelijk uricase, allantoinase, allantocase, ureidoglycolase en urease:



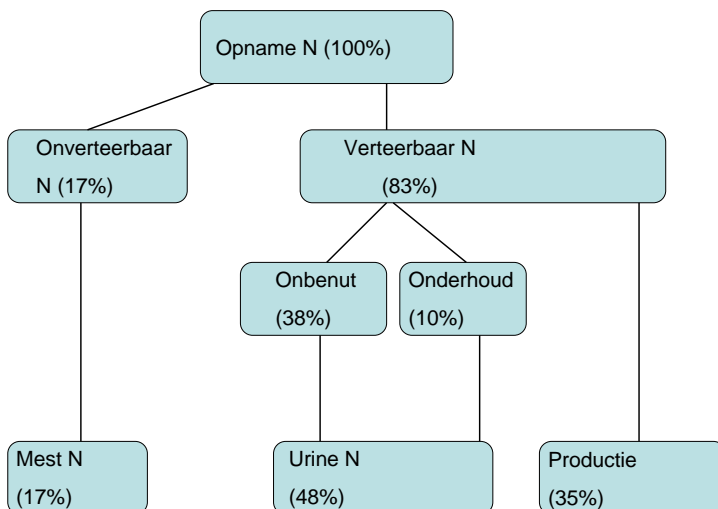
De omzetting van urinezuur naar ammoniak gebeurt aerob, in een vochtige omgeving en met behulp van het enzym uricase. De zuurgraad speelt in deze omzetting eveneens een belangrijke rol. Het enzym uricase heeft een pH-optimum bij 9,0. De microbiële afbraak van urinezuur tot ureum en vervolgens ammoniak is één van de belangrijkste processen.

Dit proces wordt onder andere beïnvloed door de volgende factoren:

1. vochtgehalte mest
2. temperatuur van de mest
3. zuurgraad
4. zuurstofconcentratie

## 2.2 Stikstofstromen bij pluimvee

Schutte en Tamminga (1992) stellen dat de stikstofbenutting bij pluimvee circa 35% is (Figuur 2). Dit zou betekenen dat 65% van de opgenomen stikstof weer via de mest en urine wordt uitgescheiden. Ruw eiwit (dat wordt berekend op basis van het geanalyseerde stikstofgehalte) bestaat uit werkelijk eiwit en niet-eiwit stikstof. Ruw eiwit ( $6,25 \times N$ ) wordt via het voer opgenomen. Na vertering in het maag-darmkanaal wordt ongeveer 65% stikstof (van Heugten en van Kempen, 2000) weer uitgescheiden via mest (17%) en urinezuur (48%) als afvalproduct van het eiwitmetabolisme. Na uitscheiding wordt urinezuur omgezet in  $NH_3$  door verschillende microbiële enzymen in de mest. Van de onverteerde stikstofuitscheiding via de mest is ongeveer 8% stikstof afkomstig van endogene verliezen, onder andere verteringsenzymen en afgestorven darmepitheel. Maatregelen die de stikstofbenutting kunnen verbeteren zijn: gerichte grondstoffenkeuze, gebruik vrije aminozuren, verbetering voerefficiëntie/verlaging voerconversie, voerprogramma's specifiek voor ras en geslacht en verdergaande fasenvoeding. Met een gerichte grondstoffenkeuze wordt bedoeld dat grondstoffen met een hoge eiwitverteerbaarheid worden gekozen. Dit heeft vaak aanzienlijke consequenties voor de kostprijs van de voeders. Tussen bedrijven worden grote verschillen waargenomen in productieresultaten. De stikstofuitscheiding is het laagst bij bedrijven met de laagste voerconversie. Verbetering van de voerconversie door aanpassing van de voersamenstelling of het management zal leiden tot een geringere stikstofuitscheiding. Het verfijnen/uitbreiden van de huidige fasenvoeding kan ook leiden tot een geringere stikstofuitscheiding. Hierbij kan gedacht worden aan het uitbreiden van het aantal voerfasen, maar ook aan het op het bedrijf (dagelijks) bijsturen van de eiwitgift op basis van de kuikenprestaties en/of mestconsistentie of het gescheiden mesten van hanen en hennen. Het bijsturen van de eiwitgift kan bijvoorbeeld door het bijvoeren van enkelvoudige grondstoffen (bijv. tarwe). In hoofdstuk 3 worden de verschillende maatregelen beschreven die men via het voer kan nemen.



**Figuur 2** Stikstofverliezen bij pluimvee (Schutte en Tamminga, 1992)



### 3 Voermaatregelen

Het is mogelijk door aanpassing van de voeding de  $\text{NH}_3$ -emissie uit pluimveestallen te reduceren. In dit hoofdstuk zullen voedingsmaatregelen met een mogelijke ammoniakreductie worden besproken. Waar mogelijk wordt een kwantitatieve reductie weergegeven en waar dit niet is beschreven wordt een kwalitatief effect op de ammoniakreductie vermeld. Het reduceren van de stikstofuitscheiding, zoals kort beschreven in Hoofdstuk 2, is een belangrijke stap in vermindering van ammoniakemissie. Verschillende maatregelen, bijvoorbeeld het verlagen van het totaal eiwitgehalte in het voer en het toevoegen van vrije aminozuren, kunnen bijdragen aan een verminderde stikstofuitscheiding. De volgende voerfactoren kunnen een rol spelen in reductie van de stikstofuitscheiding:

- Fasenvoeding
- Eiwitgehalte
- Vrije aminozuren
- Tarwe bijvoeren
- Enzymen (NSP enzymen, protease etc.)

Zoals in Hoofdstuk 2 aangegeven, heeft het vochtgehalte van de mest effect op de ammoniakemissie. Een hoger vochtgehalte van de mest bevordert de afbraak van urinezuur tot ureum en vervolgens tot ammoniak. Verlaging van het vochtgehalte van de mest kan via de volgende voerfactoren worden beïnvloed:

- Eiwitgehalte
- Elektrolyten en elektrolytenbalans
- Calcium en fosfor

Het toevoegen van bepaalde additieven aan het voer kan bijdragen aan een vermindering van de ammoniakemissie. Er zijn bijvoorbeeld voeradditieven die een gunstige darmflora bewerkstelligen en hiermee de vorming van  $\text{NH}_3$  wellicht verminderen. Ook zijn er voeradditieven die een neutraliserende werking hebben doordat ze ammoniak kunnen binden. Een aantal voeradditieven met de potentie om de ammoniakemissie te verminderen zullen worden besproken:

- *Bacillus subtilis* cultuur
- Lactobacilli
- Gisten
- Algen
- Kleimineralen
- Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) vervangen door verzurende Ca-bron ( $\text{CaSO}_4$  of  $\text{CaCl}_2$ )
- Yucca extracten

Bevorderen van de uitscheiding van stikstof als microbieel eiwit is tevens een manier om de ammoniakemissie te reduceren. Microbieel eiwit wordt niet zoals urinezuur omgezet in  $\text{NH}_3$  en draagt dus niet bij aan de ammoniakemissie. Een voerfactor voor bevorderen van de uitscheiding van microbieel eiwit is het verstrekken van fermenteerbare koolhydraten. Deze en de andere hierboven gegeven voerfactoren zullen in onderstaande paragrafen nader worden toegelicht.

Voor zover literatuur is gevonden voor de verschillende pluimveesoorten met betrekking tot een bepaalde voermaatregel wordt dit per soort weergegeven. Wordt een soort niet genoemd bij een bepaalde voermaatregel dan is hier geen literatuur over gevonden.

#### 3.1 Reductie van de stikstofuitscheiding

##### 3.1.1 Fasenvoeding

Bij fasenvoeding wordt de nutriëntenvoorziening gedurende de productieperiode afgestemd op de zich wijzigende behoefte van het dier en wordt een overmaat aan eiwit en aminozuren zoveel mogelijk voorkomen. Dit resulteert in een verminderde uitscheiding van urinezuur en hierdoor een verminderd risico op de vorming van  $\text{NH}_3$ . Naarmate meer fasen worden toegepast kan deze afstemming worden verbeterd. De behoeften kunnen afgeleid worden ofwel uit de groeicurve voor vleespluimvee of de

eiproductie voor leg- en vermeerderingsdieren in de legsector. Hierdoor zal de hoeveelheid stikstof die niet verteerd en/of omgezet wordt, teruggebracht worden. Een overzicht van mogelijke voerfasen in de verschillende pluimveesectoren is weergegeven in Tabel 1.

**Tabel 1** Overzicht van voerfasen en algemeen gehanteerde ruw eiwitgehalten per pluimveesector

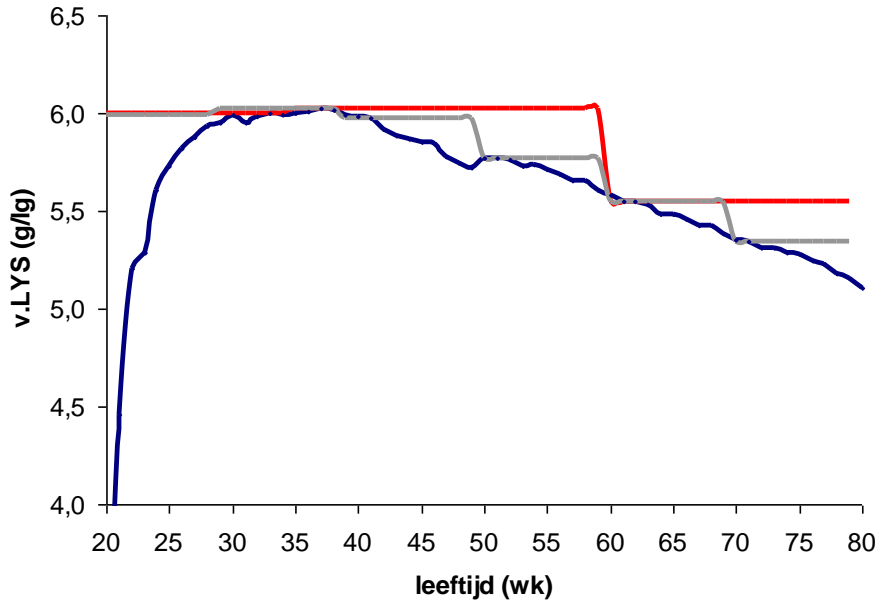
<b>Leghennen</b>								
Leeftijd (weken)	0-4	5-8	9-16	17- 20 <sup>1</sup>	20-28	29-45	46-65	>65
Ruw eiwit (%)	21.0	18.5	14.5	17.5	18.0	19.6	18.4	17.8
<b>Vleeskuikens</b>								
Leeftijd (dagen)	0-10	11-28	29-35					
Ruw eiwit (%)	22.0	21.0	19.0					
<b>Vleeskuikenouderdieren</b>								
Leeftijd (weken)	0-2	3-6	7-15	16-22	23-40	41-60		
Ruw eiwit (%)	20.0	18.0	14.0	15.0	15.0	14.5		
<b>Kalkoenen</b>								
Leeftijd (weken)	0-2	3-5	6-9	10-13	14-17	18-22		
Ruw eiwit (%)	27.5	26.0	23.5	21.0	18.0	16.0		
<b>Eenden</b>								
Leeftijd (weken)	0-2	>2						
Ruw eiwit (%)	17.2	14.0						

<sup>1</sup> Leeftijd waarop 5% productie wordt gerealiseerd.

Bij toepassing van fasevoeding dient men zich te realiseren dat het werken dicht bij de grens van de behoeften van het dier risico's met zich meebrengt. De aminozuursamenstelling van het voeder dient goed uitgebalanceerd te zijn, zodat de eiwitvoorziening wordt gegarandeerd. Overschakeling van de ene op de andere fase kan een stressmoment voor de dieren betekenen, maar steeds meer wordt een geleidelijke overschakeling toegepast. De kans op verteringsproblemen, die mogelijk bijdragen aan het vormen van natte mest zullen daardoor afnemen. Een dagelijkse aanpassing van de voedersamenstelling op de behoefte van de dieren zou een nog grotere reductie van nutriëntenoverschotten en ammoniakemissie kunnen opleveren dan het geval is bij de huidige veelgebruikte twee- of drie fasesystemen (Anonymous, 2007). De praktische toepasbaarheid van dagelijks voeren op maat is lastig te verwezenlijken maar niet onmogelijk en wordt in de praktijk op kleine schaal toegepast. Nader onderzoek naar optimalisatie van het dagelijks voeren op maat is wenselijk. Onderstaand zal voor verschillende pluimveesoorten in worden gegaan op de mogelijkheid van fasevoeding en, waar bekend, het effect daarvan op ammoniakemissie.

#### Leghennen

Voor leghennen zijn geen studies bekend waarbij naar fasevoeding en het effect op ammoniakemissie is gekeken. Uit een model opgesteld door Schothorst Feed Research (niet gepubliceerd) komt naar voren dat aan de hand van fasevoeding de eiwitbehoefte (verteerbaar lysinegehalte; Figuur 3) van leghennen beter benaderd kan worden. Op deze manier zou fasevoeding bij leghennen kunnen bijdragen aan een verminderde ammoniakemissie.



**Figuur 3** Fasevoeding bij leghennen op basis van het verteerbaar lysinegehalte in voer; — berekende vLys behoefte op basis van productieprestaties ISA Brown, — fasevoeding in drie perioden zoals lange tijd is gebruikt in de praktijk (fase 1 en 2 verschillen alleen in calciumgehalte, niet in eiwitgehalte), — fasevoeding in zes perioden op basis van modelberekening vLys behoefte

Vleeskuikens

Bij vleeskuikens zijn een aantal onderzoeken uitgevoerd naar het gebruik van fasenvoeding. In een onderzoek (Gutierrez et al., 2008) bij vleeskuikens van 0 tot 7 weken leeftijd werden drie verschillende voermethoden gebruikt: 1) vier voerfasen 2) elke drie dagen een ander voer op basis van commercieel gemiddelde nutriëntensamenstelling, en 3) elke drie dagen een ander voer op basis van EFG vleeskuiken groeimodel (EFG Software, Natal, Zuid-Afrika). De multi-fasenvoeding elke drie dagen resulteerde niet in een toename van het lichaamsgewicht en afname van de voerconversie (Tabel 2). Tevens resulteerde het niet in afname van stikstofopname en stikstofuitscheiding (Figuur 4).

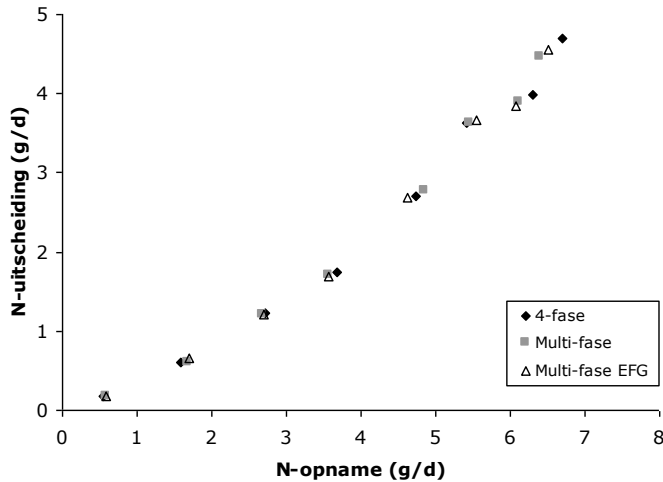
**Tabel 2** Productieprestaties van vleeskuikens bij fasenvoeding van 0-7 weken leeftijd (Gutierrez et al., 2008)

Behandeling	Groei (g)	Voeropname (g) <sup>3</sup>	VC (g/g)
1 4-fasen	2994	5912	1,97
2 Multi-fasen <sup>1</sup>	3012	5909	1,96
3 Multi-fasen EFG <sup>2</sup>	3023	5920	1,96

<sup>1</sup> Elke 3 dagen een ander voer op basis van commercieel gemiddelde nutriëntensamenstelling.

<sup>2</sup> Elke 3 dagen een ander voer op basis van EFP vleeskuiken groeimodel (EFG Software, Natal, Zuid-Afrika).

<sup>3</sup> Vleeskuikens kregen voer verstrekt als meel.



**Figuur 4** Gemiddelde dagelijkse stikstofopname en stikstofuitscheiding bij toepassing van fasenvoeding bij vleeskuikens van 0-7 weken leeftijd (Gutierrez et al., 2008)

Pope et al. (2004) vonden een vermindering van de stikstofuitscheiding bij vleeskuikens van 43-63 dagen leeftijd bij toepassing van fasenvoeding met een laag eiwitgehalte. In de periode van 21-63 dagen leeftijd werden de volgende voermethoden gebruikt: 1) groei- (21-43 dagen) en afmestvoer (43-63 dagen) op basis van NRC, 2) standaard fasenvoeding met om de dag een aangepast voer op basis van NRC, en 3) laag eiwit fasenvoeding dat elke andere dag werd aangepast. Het eiwit- en energiegehalte van de voeders zijn gegeven in Tabel 3. Uit de resultaten komt naar voren dat fasenvoeding geen significant effect had op de productieprestaties van 21-63 dagen leeftijd, al is groei en voeropname bij standaard fasenvoeding numeriek wel fors lager. De ruw eiwitopname was van 43-63 dagen leeftijd significant lager in de behandelingen waarin fasenvoeding werd toegepast in vergelijking met de controle NRC behandeling. Dit resulteerde in een lagere stikstofuitscheiding bij fasenvoeding van 8,6% (niet significant) en van 16,9% bij fasenvoeding met een laag eiwitgehalte. Uit deze proef kan geconcludeerd worden dat fasenvoeding in combinatie met een laag eiwitgehalte de stikstofuitscheiding ook bij zwaardere vleeskuikens van 43-63 dagen leeftijd significant kan verlagen.

**Tabel 3** Effect van fasenvoeding (FV) en eiwitgehalte op productieprestaties, eiwitopname en stikstofuitscheiding in vleeskuikens van 21-63 dagen leeftijd (Pope et al., 2004)

Parameter	Periode (in dagen)	Behandeling		
		NRC	FV standaard	FV laag eiwit
Nutriëntengehalten				
Ruw eiwitgehalte (%)	21-43	19,0	21,5	19,8
	43-63	17,6	15,6	15,0
OE-gehalte (kcal/kg)	21-43	3114	3062	3109
	43-63	3169	3218	3256
Productieprestaties				
Groei (g/periode)	21-63	3473	3185	3446
Voeropname (g/periode)	21-63	7875	7442	7852
Voerconversie (g/g)	21-63	2,267	2,337	2,279
N reductie				
Ruw eiwitopname (g/periode)	21-43	710	659	676
	43-63	728 <sup>a</sup>	674 <sup>b</sup>	672 <sup>b</sup>
	21-63	1438	1333	1348
N excretie (g/periode)	21-43	50,1	50,9	50,6
	43-63	59,3 <sup>a</sup>	54,2 <sup>ab</sup>	49,3 <sup>b</sup>
	21-63	109,4	105,1	100,0

<sup>a-b</sup> Resultaten in dezelfde rij verschillend in superscript zijn significant verschillend (P < 0,05).

In een onderzoek van Delezie et al (2009) konden kuikens zelf hun behoefte aan eiwit dekken via keuzevoeding die bestond uit voeders met eefasenvoedingn hoog en met een laag eiwitgehalte van

respectievelijk 25,8% en 16,6%. De keuzevoeding resulteerde echter niet in een lagere stikstofuitscheiding in vergelijking met een standaard 3-fasen voeding (21,9% ruw eiwit van d 0-10, 21,5% ruw eiwit van d 11-35, 21,0% ruw eiwit van d 36-42). Kuikens met keuzevoeding hadden namelijk een hogere stikstofopname en een minder efficiënte groei.

Angel et al (2008) geven aan dat het hanteren van een 6-fasenvoeding i.p.v. een 4-fasenvoeding (Tabel 4) bij vleeskuikens leidde tot een 22% lagere ammoniakemissie. De 6-fasenvoeding had geen effect op groei en slachresultaten.

**Tabel 4** Fasenvoeding Angel et al. (2008)

Fasenvoeding	Leeftijd (d)	Ruw eiwit (%)
4 Fasenvoeding	0-16	22,1
	16-29	20,0
	30-35	17,2
	36-42	16,6
	6 Fasenvoeding	0-6
	7-16	18,6
	17-23	18,1
	24-29	17,3
	30-35	15,8
	36-42	15,0

Uit de hier beschreven onderzoeken komt naar voren dat het verstrekken van een start-, groei- en afmestvoer de beste strategie lijkt te zijn om de stikstofuitscheiding en daarmee de ammoniakemissie bij vleeskuikens te beperken.

### 3.1.2 Eiwitgehalte

De efficiëntie van stikstofbenutting is onder andere afhankelijk van de mate van eiwitvertering, de onderlinge verhouding tussen de verschillende aminozuren, de aminozurenbeschikbaarheid, de metabole vraag naar stikstof. Deze laatste is weer afhankelijk van groei/productie en onderhoud (Ferket et al., 2002). Voederconcepten voor het reduceren van de stikstofuitscheiding door pluimvee zijn dan ook met name gericht op het verlagen van het ruw eiwitgehalte en het verbeteren van de aminozurenverhouding.

Om stikstofuitscheiding te reduceren is het van belang de hoeveelheid verstrekt eiwit en aminozuren zo goed mogelijk af te stemmen op de behoefte van het dier. Zowel te veel, te weinig, als een verkeerde verhouding heeft een hogere stikstofuitscheiding per eenheid product (vlees en eieren) als resultaat. Het nauwkeurig inschatten van de behoefte is dan ook noodzakelijk.

Verlaging van het ruw eiwitgehalte (in absolute zin) van het voer heeft een vrijwel evenredige verlaging van de stikstofuitscheiding, omdat de vastlegging in het dier niet verandert zolang in de aminozurenbehoefte wordt voorzien. Schutte et al. (1993) vonden dat voor iedere procent daling van het ruw eiwitgehalte de stikstofuitscheiding met circa 10% reduceert. Cauwenberghe en Burnham (2001) geven hetzelfde aan. Verlaging van het eiwitgehalte in het voer resulteert bij pluimvee in een lagere urinezuuruitscheiding in de mest. Het verlagen van het eiwitgehalte gaat vaak gepaard met een lagere wateropname en drogere mest wat de omzetting van stikstof naar  $\text{NH}_3$  beïnvloedt (zie paragraaf 2.1).

### Leghennen

Bij leghennen is zeker in vergelijking met vleeskuikens relatief weinig onderzoek uitgevoerd naar het effect van ruw eiwitgehalte in voeders op stikstofuitscheiding en ammoniakemissie. In een Amerikaans onderzoek (Keshavarz en Austic, 2004) resulteerde een voer met 3 tot 3,5% lager ruw eiwit (16,5 of 16,0% ruw eiwit in vergelijking met 13,0% ruw eiwit) bij leghennen, met voldoende toevoeging van al de limiterende aminozuren tot een 45% lagere stikstofuitscheiding. De technische resultaten van de leghennen bij het eiwitarme voer waren vergelijkbaar met de resultaten verkregen met het eiwitrijke voer, mits vrije aminozuren lysine, methionine, tryptofaan, isoleucine en valine werden toegevoegd (tot de door NRC (1994) aanbevolen gehalten werden bereikt). De praktische en financiële haalbaarheid van dit soort voeders is een belangrijk aandachtspunt. Door het gebruik van aminozuursupplementen gaat de kostprijs van het voeder omhoog. In het onderzoek van Keshavarz en Austic (2004) is er

sprake van een kostprijs van de aangepaste voeders die meer dan dubbel zo hoog was dan het gebruikte standaard referentievoeder (positieve controle). Roberts et al. (2007) vonden in een experiment met leghennen dat een verlaging van het ruw eiwitgehalte met ongeveer 1% resulteerde in een 10% lagere stikstofuitscheiding maar er kon geen effect worden aangetoond voor NH<sub>3</sub> en urinezuur. Veens et al. (2009) hebben de resultaten van 8 gepubliceerde onderzoeken met elkaar vergeleken en kwamen tot de conclusie dat het ruw eiwitgehalte in leghennenvoer meer dan 15,0% moet zijn om goede productieprestaties te halen. In de beschreven onderzoeken varieerde het lage ruw eiwitgehalte van voeders van 11,5% tot 16,8% en het ruw eiwitgehalte van controlevoeders van 16,0% tot 19,4%. Concrete cijfers voor verminderde stikstofuitscheiding zijn niet gegeven, maar gezien het gebruikte ruw eiwitgehalte van controlevoeders in een aantal studies, moeten reducties mogelijk zijn.

### Vleeskuikens

Van Harn en van Middelkoop (1996) hebben onderzoek verricht naar de invloed van het verlagen van het eiwitgehalte in het voer op de ammoniakemissie van vleeskuikens. In dit onderzoek werd het eiwitgehalte van het groei- en eindvoer (3-fasenvoer) verlaagd. Het eiwitgehalte van het start-, groei- en eindvoer was respectievelijk 230, 195 en 180 g/kg ten opzichte van 230, 225 en 200 g/kg. De totale stikstofopname nam af met 11%, de stikstofuitscheiding (opname – vastlegging) nam af met 16%. Indicatieve metingen toonden aan dat de ammoniakemissie door deze voermaatregel afnam met 66%. Van Harn en Van Middelkoop (1996) schrijven de fors lagere ammoniakemissie niet alleen toe aan de lagere stikstofuitscheiding, maar ook aan de lagere wateropname, waardoor de mest droger werd. Het verlagen van het eiwitgehalte in het voer van vleeskuikens had een nadelige invloed op de technische resultaten en het filetrendement. In dit onderzoek werd alleen het eiwitgehalte van het voer verlaagd zonder dat de aminozuren werden geoptimaliseerd. In een onderzoek van Holsheimer et al. (1993), waarbij vergelijkbare eiwitgehalten als in het onderzoek van Van Harn en van Middelkoop (1996) werden gebruikt, echter met aanvulling van essentiële aminozuren, werden geen slechtere technische resultaten gevonden. Holsheimer et al. (1993) vonden dat een verlaging van het eiwitgehalte in het voer met 20 g/kg (210, 200 en 180 g/kg t.o.v. 230, 220 en 200 g/kg) mogelijk was zonder dat dit ten koste ging van de groei of voerconversie. Een verdere eiwitverlaging in combinatie met verdere optimalisatie van aminozuren wordt mogelijk geacht. Een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 20 g/kg resulteerde in een verlaging van de stikstofuitscheiding van 15%. Gates et al. (2000) hebben gedurende vijf ronden de ammoniakconcentratie gemeten bij vier 2-fasen voerprogramma's, te weten: 1) 230 g/kg vs. 225 gram/kg (controle); 2) 208 g/kg vs. 200 g/kg 3) 185g/kg vs. 175g/kg en 4) 163 g/kg vs. 150 g/kg. De verlaging van het ruw eiwit werd ondervangen door aanvulling met vrije aminozuren. Gates et al. (2000) vonden dat de ammoniakconcentratie in de stal 90% lager was bij de laag eiwitvoeders. Het verlagen van het eiwitgehalte leidde in deze studie tot een verslechtering van de voerconversie. Daarnaast werd in twee van de vijf ronden een lager eindgewicht geconstateerd. Lee et al (2000) vonden dat een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 215 g/kg naar 185 g/kg, aangevuld met essentiële vrije aminozuren, vanaf 28 dagen een duidelijk lagere ammoniakconcentratie in de stal gaf. Echter, de groei en voerconversie waren ook slechter. Ferguson et al. (1998a) vonden een verlaging van de stikstofuitscheiding en NH<sub>3</sub>-emissie van respectievelijk 16,5 en 31%, bij een voer met een verlaagd ruw eiwitgehalte van 215 naar 196 g/kg van 22 tot 43 dagen leeftijd aangevuld met de vrije aminozuren lysine, methionine, threonine and tryptofaan tot het niveau van NRC (1994) werd bereikt. Het verlagen van het ruw eiwitgehalte had in het onderzoek van Ferguson geen invloed op de groei, echter de voerconversie verslechterde wel. In een andere studie van Ferguson et al. (1998b) leidde het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het voer wel tot een verlaagd stikstofgehalte in de mest, maar niet tot een lagere NH<sub>3</sub>-concentratie in de stal. Elwinger en Svenson (1996) vonden bij een verlaging van het ruw eiwitgehalte in het voer een reductie van de NH<sub>3</sub>-emissie. Een verlaging van het eiwitgehalte van 22 naar 18% resulteerde in een reductie van bijna 30%. De groei en de voerconversie werden in deze studie negatief beïnvloed. De groei en de voerconversie waren op 41 dagen bij de 18% ruw eiwit respectievelijk 2,4 en 2,1% slechter in vergelijking met de 22%-groep. Ook in meer recente onderzoeken is het positieve effect van een lager ruw eiwitgehalte op de stikstofuitscheiding vastgesteld. Verlaging van het eiwitgehalte in het voer met 19 g/kg in start- en groeivoer en 28 g/kg in afmestvoer (226, 224 en 201 g/kg t.o.v. 207, 205 en 173 g/kg) resulteerde in een 11,4% lagere stikstofuitscheiding in de mest (47,2 g N/kg ds mest vs. 41,8 g N/kg ds mest) van 33 tot 35 dagen leeftijd (Dozier et al., 2008). Dit ging echter wel ten koste van groei (4,6%) en voerconversie (0,07 punten). Namroud et al. (2008) vonden dat een afname van het ruw eiwitgehalte van 23% naar 19%, waarbij alle aminozuren als vrije aminozuren werden aangevuld tot het 100% niveau, geen invloed had op de productieresultaten van 28 dagen oude vleeskuikens, terwijl de N-uitscheiding met bijna 16% afnam,

urinezuur met 8%, vochtgehalte met 8% en een pH verlaging van 7,2 naar 6,2 (Tabel 5). De NH<sub>3</sub>-emissie ging echter niet omlaag. Bij een verdere verlaging van het ruw eiwitgehalte naar 17% werd wel een verdere afname in stikstofuitscheiding, urinezuur en vocht gevonden, maar tegen de verwachting in nam de NH<sub>3</sub>-emissie toe. Daarnaast had een ruw eiwitgehalte van 17% een slechtere groei, voeropname en voerconversie tot gevolg. Recent is in een onderzoek het effect van verschillende voereiwitgehalten onderzocht bij vleeskuikens en zijn oriënterende metingen uitgevoerd naar de ammoniakemissie (Smits et al., in press). Er werden 3 hogere voereiwitgehalten vergeleken met een referentieniveau. In week 4 van de productieronde waren de ruw eiwitgehalten van voer 1 t/m 4 respectievelijk 213, 221, 229 en 237 g RE/kg; in week 5 van de productieronde waren de ruw eiwitgehalten van voer 1 t/m 4 respectievelijk 191, 194, 196 en 199 g RE/kg. Ammoniakemissiemetingen en waarnemingen aan het strooisel werden uitgevoerd in de voorlaatste en laatste week van de productieperiode (dag 27 of 28 en dag 34 of 35). De ammoniakemissies werden gemeten met de dynamische boxmethode. Bij de hogere eiwitgehalten in het voer namen de totaalstikstof- en ammoniumgehalten in het strooisel wel licht toe, maar de ammoniakemissie volgde dit beeld niet. Alleen bij eiwitniveau 2 was er een significant hogere ammoniakemissie dan bij eiwitniveau 1, 3 en 4. De ammoniakemissie tendeerde bij eiwitniveau 3 en 4 zelfs naar wat lagere waarden dan bij eiwitniveau 1, maar de onderlinge verschillen tussen de emissies bij voer 1, 3 en 4 waren niet significant. Uit de technische resultaten bleek dat de voeropname (gram voer per dag) bij de eiwitrijke voeders wat lager was dan bij voer 1 en dat de eiwitopname (gram RE/dag) niet significant verschilde tussen de behandelingen. Ook in de weken voorafgaande aan de emissiemetingen verschilde de gerealiseerde ruw eiwitopname niet tussen de voeders 1 t/m 4. Ook waren er verder geen duidelijke verschillen in technische resultaten. De stikstofuitscheiding zal daarom waarschijnlijk ook nauwelijks verschilt hebben tussen de behandelingen. In dit onderzoek werd waarschijnlijk tegen deze achtergrond geen duidelijk effect van hogere eiwitgehalten op de ammoniakemissie gevonden.

Namroud et al. (2008) hebben aan de voeders met 19% en 17% ruw eiwit de niet-essentiële aminozuren glycine (Gly) en glutamine (Glu) of een 10% overmaat aan essentiële aminozuren toegevoegd om productieprestaties te verbeteren bij een laag eiwitgehalte. Het toevoegen van zowel niet-essentiële als essentiële aminozuren resulteerde over het algemeen in een hogere uitscheiding van stikstof, urinezuur en vocht. Alleen het toevoegen van niet-essentiële aminozuren aan voer met een ruw eiwitgehalte van 17% leek de NH<sub>3</sub>-emissie te verminderen ten opzichte van 17% ruw eiwit zonder toevoeging van aminozuren (Tabel 5). Daarnaast verbeterde de groei en voeropname door het toevoegen van de niet-essentiële aminozuren aan voer met 17% ruw eiwit.

**Tabel 5** Effect van ruw eiwitgehalte en toevoeging van niet-essentiële (Gly, Glu) en overmaat essentiële aminozuren (EAZ) op mest-karakteristieken van 22 dagen oude vleeskuikens (Namroud et al., 2008)

Behandeling <sup>1</sup>		Mest				
ruw eiwitgehalte	AZ-gehalte	N (mg/g)	NH <sub>3</sub> (mg/g)	Urine-zuur (mg/g)	Vocht (%)	pH
23%	100%	50,3 <sup>a</sup>	11,9 <sup>c</sup>	114 <sup>a</sup>	24,6 <sup>a</sup>	7,2 <sup>a</sup>
21%	100%	47,7 <sup>b</sup>	11,9 <sup>c</sup>	109 <sup>b</sup>	24,0 <sup>b</sup>	6,5 <sup>b</sup>
19%	100%	42,3 <sup>d</sup>	11,8 <sup>c</sup>	105 <sup>c</sup>	22,5 <sup>d</sup>	6,2 <sup>c</sup>
17%	100%	36,3 <sup>g</sup>	13,1 <sup>b</sup>	101 <sup>d</sup>	21,7 <sup>f</sup>	6,7 <sup>b</sup>
19%	100% + Gly, Glu	43,0 <sup>d</sup>	11,9 <sup>c</sup>	108 <sup>b</sup>	22,7 <sup>d</sup>	6,3 <sup>c</sup>
17%	100% + Gly, Glu	37,4 <sup>f</sup>	11,9 <sup>c</sup>	105 <sup>c</sup>	22,0 <sup>e</sup>	6,2 <sup>c</sup>
19%	100% + EAZ	45,0 <sup>c</sup>	12,4 <sup>bc</sup>	106 <sup>c</sup>	23,8 <sup>c</sup>	6,6 <sup>b</sup>
17%	100% + EAZ	40,1 <sup>e</sup>	13,8 <sup>a</sup>	102 <sup>d</sup>	22,6 <sup>d</sup>	6,7 <sup>b</sup>

<sup>a-g</sup> Resultaten in dezelfde kolom verschillend in superscript zijn significant verschillend (P < 0,05).

<sup>1</sup> Behandelingen zijn verstrekt aan vleeskuikens van 10 tot 28 dagen leeftijd.

Hierdoor lijkt het erop dat het gehalte aan niet-essentiële aminozuren limiterend was als geen Gly en Glu werden toegevoegd. Een 10% overmaat aan essentiële aminozuren had naast een hogere uitscheiding van stikstof, urinezuur en ammoniak ook negatieve effecten op groei, voeropname en voerconversie. Ook Berres et al. (2010) geven aan dat het toevoegen van Gly en Glu aan voeders met een laag eiwitgehalte resulteerde in goede productieprestaties. Zij wijten dit aan de hogere behoefte aan stikstof voor synthese van niet-essentiële aminozuren. Berres et al. (2010) hebben echter geen gebruik gemaakt van voeders met een heel laag eiwitgehalte (207-227 g/kg ruw eiwit van 8-21 dagen

leeftijd; 196-218 g/kg ruw eiwit van 22-35 dagen leeftijd) zoals Namroud et al. (2008). Daarnaast hebben ze geen metingen verricht aan ammoniakemissie.

#### Vleeskuikenouderdieren

In een experiment met vleeskuikenouderdieren (Lopez en Leeson, 1995a) werd aan de hanen in de periode van 18 tot 64 weken 130 g/d voeder met een ruw eiwitgehalte van 12% verstrekt. De moederdieren kregen in dezelfde periode een olopemde voerhoeveelheid verstrekt van 84 g/d op 18 weken leeftijd tot 160 g/d in de periode van 27 tot 35 weken leeftijd. In totaal werden vier verschillende voerbehandelingen toegepast bij de moederdieren. De voeders verschilden in ruw eiwitgehalte (16, 14, 12 of 10% ruw eiwit) terwijl het methionine+cystine en lysine gehalte gelijk was in alle vier voeders (respectievelijk 5,9 en 8,2 g/kg). Het energiegehalte in de vier voeders was gelijk (2900 kcal ME/kg).

**Tabel 6** Effect van ruw eiwitgehalte in het voer op uitkomstpercentage, eigewicht en kuikengewicht bij vleeskuikenouderdieren van 30 tot 64 weken leeftijd en N-opname en N-uitscheiding op 30 weken leeftijd

	Uitkomstpercentage		Eigewicht	Kuikengewicht	N opname	N Mest
Ruw eiwitgehalte	% t.o.v. alle eieren	% niet bevrucht	g	g	g/d.dier	g/d.dier
16	82,6b	9,4a	67,4a	44,5a	3,96a	2,19a
14	85,2b	6,7b	66,6a	44,4a	3,25b	1,66b
12	87,1a	4,9b	65,8a	43,8a	2,65c	1,61b
10	88,6a	4,6b	63,5b	41,5b	2,37c	1,17c
SD	6,95	5,48	4,3	3,13	0,18	0,24

<sup>a-c</sup> Gemiddelden in kolommen met verschillend superscript verschillen significant (P <0,05).

Uit Tabel 6 blijkt dat verlaging van het ruw eiwitgehalte in voeders van moederdieren heeft geleid tot een verbetering van de productie. Verlaging van het ruw eiwitgehalte is dus mogelijk mits vrije aminozuren worden aangevuld tot de behoefte van het dier wordt gedekt. Bij verlaging van het ruw eiwitgehalte tot onder de 12% werd het eigewicht en het kuikengewicht negatief beïnvloed. Verlaging van het ruw eiwitgehalte van 16 naar 12% resulteerde in dit experiment in een 26,5% lagere stikstofuitscheiding. Lopez and Leeson (1995b) vonden in een experiment met ruw eiwitgehalten van 14 tot 20% en in een experiment met ruw eiwitgehalten van 9 tot 15% een duidelijk relatie tussen stikstofopname en stikstofuitscheiding. In beide experimenten leidde een verlaging van het ruw eiwitgehalte in het voer tot een geringere stikstofuitscheiding terwijl de productie op peil bleef. In beide experimenten werden extra vrije aminozuren toegevoegd om in de aminozuurbehoefte te voorzien.

#### Kalkoenen

In onderzoek van Parks et al. (1996) resulteerden voeders met een ruw eiwitgehalte van 90% ten opzichte van NRC (1994) aanbevelingen en aangevuld met vrije aminozuren bij kalkoenen tot een 16,4% lagere stikstofuitscheiding zonder nadelige effecten voor groei. Het aandeel borstvlies daalde echter een procentpunt van 26,5 naar 25,5%.

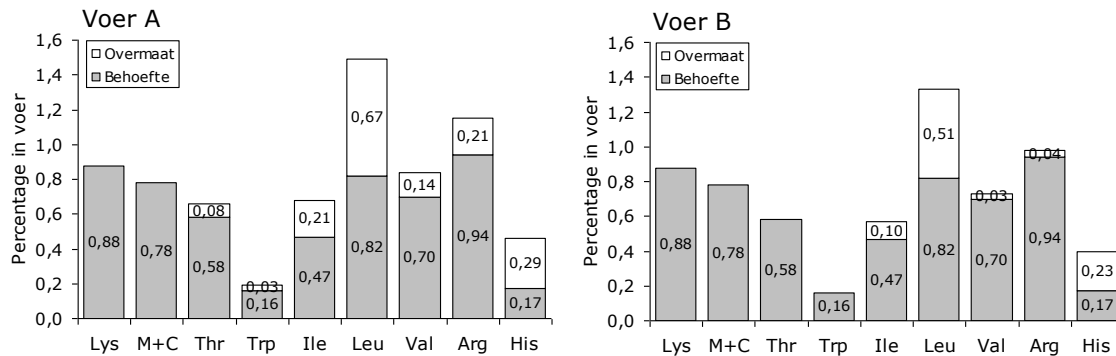
#### Eenden

Door De Buisonjé et al. (1996) is onderzoek verricht in hoeverre het ruw eiwitgehalte in eendenvoer kan worden verlaagd zonder negatieve effecten op groei, bevedering of slachtrendementen. Hiertoe werden de gehalten lysine en methionine + cystine in de verschillende proefvoeders gelijk gehouden en de gehalten van de overige aminozuren verlaagd. De proefvoeders hadden drie ruw eiwitgehalten: 16,5%, 15,0% en 14,0%. Daarnaast werden nog twee proefvoeders getest. Aan twee voeders met het laagste ruw eiwitgehalte werd of alleen threonine toegevoegd of zowel threonine als tryptofaan. Het bleek mogelijk om de stikstofaanvoer via het voer te verlagen door toepassing van een afmestvoer met 14% ruw eiwit, zonder dat hierbij de groei en voerconversie veranderen. Verhoging van threonine- en tryptofaangehalten in het voer met 14% ruw eiwit had geen effect op de technische resultaten. Echter, voor bevedering was wel een positief effect te zien wanneer aan het laag-eiwitvoer threonine werd toegevoegd. De verlaging van het stikstofgehalte in de mest dankzij een verlaging van 16,5 naar 14% ruw eiwit in het voer werd geschat op 25% (bij gelijke vastlegging in de eend en gelijk vochtgehalte van de mest) (De Buisonjé et al., 1996).



### 3.1.3 Vrije aminozuren

Bij een goede inschatting van eiwit- en aminozurenverteerbaarheid van grondstoffen en het ideale aminozurenpatroon kan de stikstofuitscheiding worden gereduceerd door het ruw eiwitgehalte te verlagen en de aminozurenverhouding te optimaliseren. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het ideaal aminozurenpatroon (de optimale verhouding van aminozuren in de verschillende productiestadia van het dier). Dit wordt steeds beter mogelijk nu er meer vrije aminozuren beschikbaar komen voor gebruik in de praktijk. Inmiddels zijn lysine, methionine, threonine, tryptofaan en valine beschikbaar voor toevoeging aan diervoeders. Door gebruik te maken van een laag-eiwitvoer met toevoeging van vrije aminozuren kan de aminozurenvoorziening beter op de behoefte van de dieren worden afgestemd (Figuur 5).



**Figuur 5** Aminozurengehalte van twee leghenvoeders geformuleerd met maïs, sojaschroot en DL-methionine (voer A: 18,1% ruw eiwit) of geformuleerd met maïs, sojaschroot, DL-methionine, L-Lysine-HCl, en L-Threonine (voer B: 16,1% ruw eiwit). Beide voeders dekken de aminozurenbehoefte, maar voer B heeft minder aminozuren in overmaat (Bregendahl en Roberts, 2006)

Doordat een teveel aan eiwit en aminozuren zoveel mogelijk wordt beperkt zal minder stikstof als urinezuur worden uitgescheiden resulterend in een lagere NH<sub>3</sub>-emissie. In een vergelijking van 35 studies bij varkens en pluimvee werd vastgesteld (Kerr, 1995) dat het toevoegen van vrije aminozuren en verlaging van het ruw eiwitgehalte met 10 g/kg gemiddeld resulteert in een verlaging van 8,5% stikstofuitscheiding. Ook volgens Kim et al. (2006) kan het gebruik van aminozuursupplementen of hun analogen wel degelijk leiden tot het terugdringen van overtollig eiwit in het voeder. Hiervoor zijn echter nog wel een aantal randvoorwaarden die moeten worden vervuld alvorens nieuwe voederstrategieën effectief en efficiënt toegepast kunnen worden in de praktijk. Hierbij wordt gedoeld op het realiseren van een goed uitgebalanceerde voederformulering en het ontwikkelen van een nauwkeurige, maar ook precieze manier om snel de beschikbare aminozuren te kwantificeren in voeders.

#### Leghennen

Uit het onderzoek van Veens et al. (2009) kwam naar voren dat het ruw eiwitgehalte in voer voor leghennen meer dan 15,0% moet zijn om goede productieprestaties te behalen. Keshavarz en Austic (2004) vonden in hun onderzoek dat het ruw eiwitgehalte omlaag kon naar 13% als werd voldaan aan de aminozurenbehoefte van de leghennen door toevoeging van vrije aminozuren. Voeropname, legpercentage, eimassa en voerconversie waren niet significant verschillend tussen de positieve controle behandeling met 16,5% ruw eiwit en de behandeling met 13% ruw eiwit met alle limiterende aminozuren op 100% van de behoefte toegevoegd (Tabel 7). De stikstofuitscheiding werd met 60% verminderd door toepassing van het laag-ruw eiwitgehalte en met toevoeging van alle limiterende aminozuren tot 100% van de behoefte. Het verlagen van het ruw eiwitgehalte (13%) zonder toevoeging van aminozuren reduceerde de stikstofuitscheiding met 32%, maar door deficiënties ging dit ten koste van productie. Het toevoegen van alleen lysine en methionine aan laag-eiwitvoer resulteerde in 31% minder stikstofuitscheiding en betere productieprestaties dan zonder toevoeging van aminozuren.

**Tabel 7** Effect van laag eiwitgehalte en toevoeging van aminozuren (AZ) op productieprestaties van leghennen van 36 tot 48 weken leeftijd (Keshavarz en Austic, 2004)

Behandeling <sup>†</sup>	ruw eiwitgehalte (%)	Toegevoegde AZ	Productieprestaties				
			Voeropname (g)	Leg (%)	Eigewicht (g)	Eimassa (g)	VC (g/g)
1	16,5	---	110 <sup>a</sup>	86,9 <sup>a</sup>	61,7 <sup>a</sup>	53,5 <sup>a</sup>	2,05 <sup>b</sup>
2	13,0	---	90 <sup>c</sup>	54,8 <sup>c</sup>	57,6 <sup>b</sup>	31,6 <sup>c</sup>	2,86 <sup>a</sup>
3	13,0	Lys, met	98 <sup>b</sup>	80,1 <sup>b</sup>	59,8 <sup>b</sup>	47,9 <sup>b</sup>	2,05 <sup>b</sup>
4	13,0	Lys, met, trp, ile, val	105 <sup>a</sup>	84,7 <sup>ab</sup>	59,3 <sup>b</sup>	50,2 <sup>ab</sup>	2,09 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> Behandeling 1 had geen aminozuren deficiëntie; behandeling 2 was deficiënt in lysine, methionine, tryptofaan, isoleucine en valine; behandeling 3 vergelijkbaar met behandeling 2 met toevoeging van lysine en methionine tot 100% van behoefte; behandeling 4 aminozuren toegevoegd tot 100% behoefte.

Bij leghennen kan het ruw eiwitgehalte omlaag als aan de aminozurenbehoefte wordt voldaan. Het verstrekken van 13% ruw eiwit wordt niet aangeraden, omdat de productieprestaties toch achterblijven in vergelijking met leghennen die gevoerd werden met 16,5% ruw eiwit. Waarschijnlijk is een ruw eiwitgehalte van 14 à 15% met toevoeging van aminozuren toereikend voor productie en zal ook de ammoniakemissie worden gereduceerd.

### Vleeskuikens

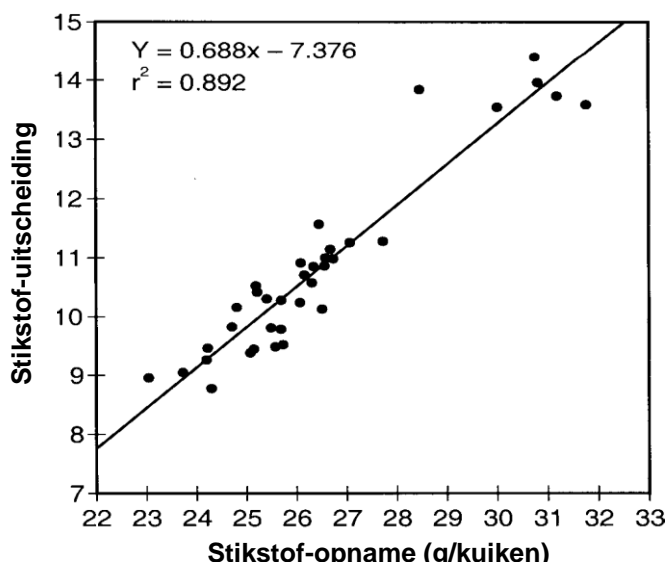
Het verlagen van het eiwitgehalte in vleeskuikenvoeders door gebruik te maken van het ideaal aminozurenpatroon heeft een verlaging van de stikstofuitscheiding tot gevolg (Lora et al., 2008). De controlevoeders hadden een eiwitgehalte van 260, 221, 210, 200 en 192 g/kg en de laag-eiwitvoeders van 245, 208, 198, 188 en 180 g/kg in de periode van respectievelijk 1-8, 8-21, 21-33, 33-40 en 40-46 dagen leeftijd. De stikstofuitscheiding van de vleeskuikens gevoerd met een laag eiwitgehalte op basis van het ideaal aminozurenpatroon was 13% lager in vergelijking met vleeskuikens gevoerd met een standaard ruw eiwitgehalte (Tabel 8). Daarnaast resulteerde het voer op basis van het ideale aminozurenpatroon in een numeriek hogere groei (+77 g) en lagere voerconversie (-0,03 punten). Dit laat zien dat een overmaat aan aminozuren ook voor het dier ongunstig is, omdat een te hoog eiwitgehalte in het voer ook kan leiden tot een verstoorde darmgezondheid als gevolg van eiwitfermentatie.

**Tabel 8** Productieprestaties en stikstofuitscheiding van vleeskuikens van 0-46 dagen leeftijd gevoerd met een standaard ruw eiwitgehalte (controle) of laag ruw eiwitgehalte<sup>†</sup> (Lora et al., 2008)

Parameter	Behandeling	
	Controle voer	Laag-eiwit voer
Groei (g)	3194	3271
Voeropname (g)	5619	5658
Voerconversie (g/g)	1,762	1,732
N-uitscheiding (g/kuiken)	65,43 <sup>a</sup>	56,87 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> De controlevoeders hadden een eiwitgehalte van 260, 221, 210, 200 en 192 g/kg en de laag-eiwitvoeders van 245, 208, 198, 188 en 180 g/kg in de periode van 1-8, 8-21, 21-33, 33-40 en 40-46 dagen leeftijd, respectievelijk.

Ook Bregendahl et al. (2002) vonden een significant lagere stikstofuitscheiding bij het verstrekken van laag-ruw eiwitvoeders van 7 tot 21 dagen leeftijd onder toevoeging van vrije aminozuren (18,3% ruw eiwit; aminozuren op 105% van behoefte toegevoegd) aan vleeskuikens (Figuur 6). Groei van de kuikens bleef echter achter vergeleken bij de groei van kuikens gevoerd met een standaard ruw eiwitgehalte (23,4%). Een ruw eiwitgehalte van 18,3% in de periode van 7 tot 21 dagen leeftijd is waarschijnlijk te laag om optimale productieprestaties te behalen. Aftab et al. (2006) geven aan dat een minimum ruw eiwitgehalte van 20,7% en 18,0% van respectievelijk 0-21 en 21-42 dagen leeftijd om verminderde productieprestaties van vleeskuikens te voorkomen. Dat kuikens de beoogde productieresultaten niet halen bij een laag eiwitgehalte met voldoende aminozuren kan veroorzaakt worden door de snelle absorptie van vrije aminozuren. Hierdoor komen de aminozuren niet op het juiste moment beschikbaar voor eiwitproductie en wordt de beoogde groei niet gerealiseerd. Dit fenomeen zal met name spelen bij het hanteren van langere donkerperiodes of bij kuikens met een lage maaltijdfrequentie.



**Figuur 6** Lineaire regressie van stikstof-uitscheiding (Y) in relatie tot stikstof-opname (x) van vleeskuikens van 7 tot 21 dagen leeftijd (Bregendahl et al., 2002)

Door afstemming van de aminozuren voorziening op de behoefte van het dier kan een verlaagd ruw eiwitgehalte bijdragen aan reductie van de ammoniakemissie zonder dat het ten koste gaat van productieprestaties.

#### Kalkoenen

Applegate et al. (2008) hebben een experiment uitgevoerd met kalkoenhannen waarbij het effect van verlaging van het ruw eiwitgehalte op productie en stikstofuitscheiding werd onderzocht bij toevoeging van drie (lysine, methionine en threonine) in plaats van twee (lysine en methionine) vrije aminozuren. Bij toevoeging van drie in plaats van twee vrije aminozuren werd het ruw eiwitgehalte in de leeftijdsfasen 4 tot 8, 8 tot 12, 12 tot 16 en 16 tot 20 weken verlaagd met respectievelijk 20, 15, 14 en 10 g/kg. De groei, voerconversie en het aandeel borstvlies bleef bij de voeders met het lagere ruw eiwitniveau met toevoeging van drie vrije aminozuren gelijk aan de voeders met een hoger ruw eiwitniveau met twee vrije aminozuren. De stikstofopname bij de voeders met laag ruw eiwit met toevoeging van drie vrije aminozuren was 8,4% lager op 20 weken leeftijd en dit resulteerde in een 10,8% lagere stikstofuitscheiding.

#### Samenvatting vrije aminozuren

Samenvattend kan gesteld worden dat een verlaging van het ruw eiwitgehalte in het voer bijdraagt aan een verminderde stikstofuitscheiding. Om de productieprestaties op peil te houden is het noodzakelijk dat aminozuren worden aangevuld met vrije aminozuren totdat de behoefte van het dier wordt gedekt. De aminozuurbehoefte bij de verschillende pluimveesoorten dient verder geactualiseerd te worden. Bij vleeskuikens is veel onderzoek gedaan naar de aminozurenbehoefte, bij leghennen en kalkoenen is dit veel minder. Daarnaast zijn deze gegevens veelal niet bekeken in het doeldier en afgeleid uit de behoefte van andere soorten of andere sekse. Bij leghennen speelt daarnaast mee dat omschakeling van kooi naar alternatieve systemen meer bewegingsvrijheid hebben. De aminozurenbehoefte van de leghennen kan hiermee veranderen. Dit zal met name gaan om de behoefte ten opzichte van energie, maar daarnaast kan de behoefte aan specifieke aminozuren veranderen. Hier is echter nog geen onderzoek naar gedaan.

#### *3.1.4 Tarwe bijvoeren*

##### Vleeskuikens

Onderzoek door Van Harn en Veldkamp (2005) waarbij de eiwitgift op basis van de gerealiseerde groei en mestconsistentie dagelijks werd bijgesteld door het bijvoeren van hele tarwe, toonde aan dat de eiwit-/stikstofopname door deze wijze van voeren verminderde met 13%. Welk effect dit voeren

heeft op de stikstofuitscheiding en ammoniakemissie is niet onderzocht. Deze wijze van voeren had echter wel nadelige gevolgen voor de groei, voerconversie en de slachtrendementen. De voerwinst was door de lagere voerkosten wel hoger. Het onderzoek is voortgezet waarbij onder andere gekeken is naar de ammoniakemissie en een verdere optimalisatie van technische kengetallen (Van Harn en Veldkamp, 2006). Het dagelijks afstemmen van de eiwitgift op de behoefte van het kuiken werd opnieuw gedaan door de dagelijkse eiwitgift bij te stellen op de gerealiseerde groei en mestconsistentie door middel van het bijvoeren van tarwe. Dit resulteerde ook in het vervolgonderzoek tot slechtere technische resultaten, met name groei en voerconversie. De ammoniakemissie werd echter wel met 15% verlaagd. Daarnaast werden positieve resultaten aangetoond op strooiselkwaliteit en dierenwelzijn (minder huidirritatie, brandhakken en voetzoollaesies).

### 3.1.5 Enzymen

De nutritionele waarde van grondstoffen, zoals het gehalte aan verteerbaar eiwit (aminozuren), vet en zetmeel, varieert tussen en binnen grondstoffen. Om de nutritionele waarde van grondstoffen te verhogen kunnen enzymen aan het voer worden toegevoegd om 1) de nutriëntenbeschikbaarheid te verbeteren door bijv. het afbreken van celwanden, 2) de anti-nutritionele factoren af te breken<sup>1</sup>, en 3) de verteringsprocessen te ondersteunen.

Exogene enzymen worden de laatste 20 jaar toegepast in pluimveevoeders. Het begon met het toevoegen van fytase, snel gevolgd door viscositeit verlagende enzymen, zoals xylanase en  $\beta$ -glucanase. Doordat de enzymen de verteerbaarheid van grondstoffen verbeteren kunnen deze een bijdrage leveren aan het verbeteren van de nutriëntenbenutting, de verteerbaarheid van eiwit (veel enzymen bevatten matrixwaarden voor aminozuren) en het verminderen van de ammoniakemissie.

Fytase is een enzym dat fosfor vrijmaakt uit fytaat (fytaat is een anti-nutritionele factor). Door fytase aan het voer toe te voegen kan een deel van het plantaardige fosfor door het dier benut worden en hoeft minder fosfor aan het voer te worden toegevoegd. Het gebruik van fytase heeft met name als resultaat dat minder fosfor wordt uitgescheiden.

Het fytaatgehalte lijkt effect te hebben op de N-retentie, doordat fytaat de uitscheiding van endogeen eiwit kan verhogen. Voeders met een laag fytaatgehalte hebben een hogere N-retentie dan voeders met een hoog fytaatgehalte gemeten bij vleeskuikens van 21 en 42 dagen leeftijd (Manangi et al., 2009). Het toevoegen van verschillende doseringen fytase (0, 250, 500, 750 en 1000 FTU) had echter geen significant effect op N-retentie. In het eerder beschreven onderzoek van Lora et al. (2008) is naast het toepassen van een ideaal aminozurenpatroon ook een behandeling opgenomen waar aan het standaard controlevoer fytase was toegevoegd (P en Ca met 0,1% verlaagd). Het toevoegen van fytase resulteerde in een hogere groei (+69 g), lagere voeropname (-45 g) en een lagere voerconversie (-0,05 punten). Daarnaast resulteerde het in een 5,5% lagere stikstofuitscheiding (niet significant). Het toevoegen van fytase aan het voer van vleeskuikens (0-28 dagen leeftijd) verbeterde de productieprestaties (13,5% groei) door een hogere energie-opname en opname aan verteerbare nutriënten. Dit kwam met name door de hogere voeropname (11,7% voeropname). De betere voerconversie ging gepaard met een 16,9% hogere stikstofretentie bij het toevoegen van fytase aan het voer (Pirgozliev et al., 2008). In een later onderzoek bij vleeskuikens van 0-46 dagen leeftijd konden Pirgozliev et al. (2009) geen effect van fytase op stikstofretentie aantonen, maar ook in dit onderzoek was de stikstofretentie numeriek hoger bij toevoeging van fytase aan de het voer. Selle et al. (2009) hebben naast fytase ook gekeken naar het effect van xylanase op productieprestaties en stikstofuitscheiding. Dit hebben ze gedaan met voeders met een laag fosforgehalte. Dit onderzoek laat met name zien dat fytase P vrijmaakt uit fytaat, waardoor groei en voeropname niet verschillen van kuikens gevoerd met een adequaat P-controlevoeder en waardoor de voerconversie verbetert ten opzichte van de controle (Tabel 9). Het toevoegen van fytase resulteerde in eenzelfde groei en voeropname en een betere voerconversie ten opzichte van de controle. Het toevoegen van enkel xylanase resulteerde in een lager groei en voeropname, maar betere voerconversie, ten opzichte van de controle. Zowel het toevoegen van enkel fytase of xylanase als de enzymen in combinatie verbeterde de stikstofretentie significant ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup> Anti-nutritionele factoren kunnen aanwezig zijn in grondstoffen en verminderen de vertering of benutting van nutriënten, waardoor de voederconversie toeneemt.

**Tabel 9** Effect van fytase en xylanase in laag-fosforvoeders op productieprestaties en stikstofretentie bij vleeskuikens van 0-21 dagen leeftijd (Selle et al., 2009)

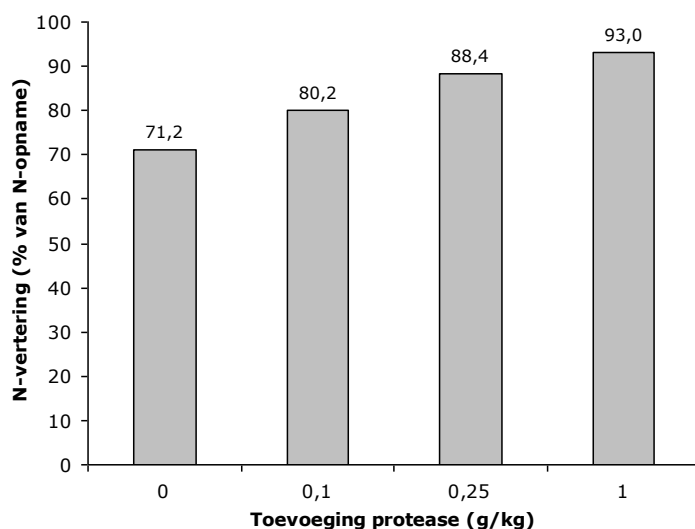
Voer	Groei (g)	Voeropname (g)	Voerconversie <sup>1</sup> (g/g)	N-retentie (g/kg DS opname)
Controle	818 <sup>a</sup>	1247 <sup>a</sup>	1,536 <sup>a</sup>	21,2 <sup>c</sup>
Laag P	718 <sup>b</sup>	1088 <sup>b</sup>	1,515 <sup>ab</sup>	21,4 <sup>c</sup>
Laag P + xylanase	743 <sup>b</sup>	1050 <sup>b</sup>	1,421 <sup>d</sup>	22,6 <sup>b</sup>
Laag P + fytase	838 <sup>a</sup>	1231 <sup>a</sup>	1,477 <sup>bc</sup>	23,7 <sup>a</sup>
Laag P + xylanase + fytase	861 <sup>a</sup>	1207 <sup>a</sup>	1,456 <sup>cd</sup>	23,8 <sup>a</sup>

<sup>a-d</sup> Resultaten in dezelfde kolom verschillend in superscript zijn significant verschillend ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup> Gecorrigeerd voor uitval

In studies waarbij met name is gekeken naar verbetering van de verteringscoëfficiënt van stikstof bij het toevoegen van enzymen (Cowieson en Adeola, 2005; Olukosi et al., 2007) komt naar voren dat het toevoegen van xylanase-amylase-protease resulteert in een hogere verteringscoëfficiënt voor stikstof. Met name van protease kan verwacht worden dat het de stikstofvertering verbetert, doordat het de afbraak van eiwit kan bevorderen. Het toevoegen van fytase of een combinatie van de fytase en xylanase-amylase-protease gaf geen eenduidig resultaat. Cowieson en Adeola (2005) vonden geen effect van alleen fytase, maar wel in combinatie met xylanase-amylase-protease. Olukosi et al. (2007) vonden juist effect bij het toevoegen van alleen fytase en niet in combinatie met xylanase-amylase-protease. Er zijn weinig onderzoeken bekend waarbij alleen is gekeken naar het toevoegen van protease aan het voer en het effect op stikstofuitscheiding. Ghazi et al. (2003) hebben verschillende proteases getest afkomstig van *Bacillus subtilis* of *Aspergillus niger*. Een protease van *Aspergillus niger* gaf het beste resultaat op stikstofvertering. De resultaten van het toevoegen van 0; 0,1; 0,25 en 1 g protease/kg voer in hanen van Lohmann Brown leghenlijn (geselecteerd op basis van gewicht; 2,7 tot 3,0 kg) is gegeven in Figuur 7. Een lineaire toename van de stikstofvertering bij toevoeging van protease werd gevonden. Bij vleeskuikens van 8 tot 22 dagen leeftijd werd een 3,3% hogere stikstofvertering (als % ten opzichte van stikstofopname) gevonden bij toevoeging van protease (Aureli et al., 2010). Groei en voerconversie werden numeriek verbeterd ten opzichte van een controle voeder; 601 g en 613 g groei en een voerconversie van 1,534 en 1,510 in respectievelijk controle voer en met toevoeging van protease.

Het toevoegen van enzymen aan het voer verbetert de vertering en benutting van het voer. Hierdoor wordt enerzijds de uitscheiding van onverteerde nutriënten verminderd, anderzijds is het mogelijk om de dieren beter naar behoefte te voeren. Beide voordelen zullen resulteren in een verminderde stikstofuitscheiding en daardoor een lagere ammoniakemissie.



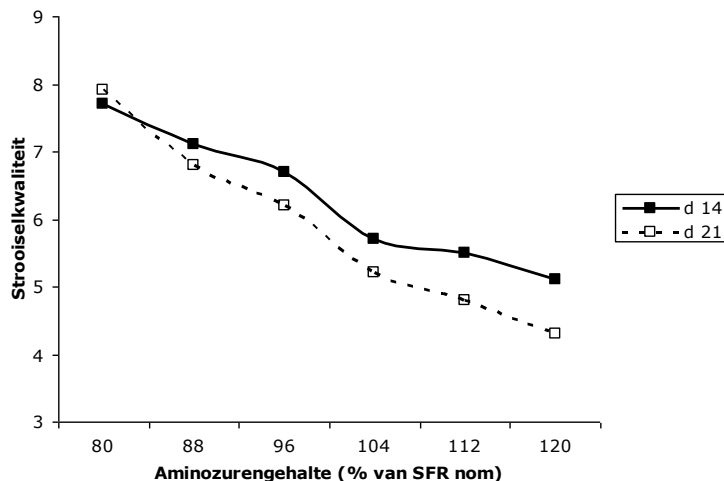
**Figuur 7** Effect van verschillende hoeveelheden protease op stikstofvertering in hanen van Lohmann Brown leghenlijn (geselecteerd op basis van gewicht; 2,7 tot 3,0 kg) (Ghazi et al., 2003)

### 3.2 Verlagen van het vochtgehalte in de mest

Natte mest veroorzaakt nat strooisel en dit heeft negatieve gevolgen voor het dier, zoals verhoogde kans op voetzollaesies, brandhakken en borstblaren. Daarnaast is nat strooisel een goede omgeving voor bacteriën en verhoogt het de ammoniakemissie (Nahm, 2007). Zie ook hoofdstuk 2 voor het effect van het vochtgehalte van de mest op de ammoniakemissie. In een onderzoek met vleeskuikens werd 23% van de totale ammoniakemissie gevormd in de eerste helft (0-21 dagen), de overige 77% werd gevormd in de tweede helft (21-42 dagen) van de productieperiode. De hogere ammoniakemissie in de tweede helft van de groeifase werd met name veroorzaakt door een hogere mestuitscheiding, een hoger vochtgehalte en hogere pH van de mest (Mitran et al., 2008). Het is dus van belang om droge mest en een goede strooiselkwaliteit na te streven om een betere leefomgeving voor het dier te creëren. Er zijn verschillende mogelijkheden om problemen met natte mest te voorkomen. Via voeding kan rekening gehouden worden met verschillende factoren die invloed hebben op de wateropname en -uitscheiding van het dier.

#### 3.2.1 Eiwitgehalte

Het eiwitgehalte en de eiwitverteerbaarheid bepalen zoals in paragraaf 3.1.2 uitgelegd de stikstofbenutting en stikstofuitscheiding. Daarnaast is het eiwitgehalte van belang i.v.m. de vochtuitscheiding via de urine (urinezuur kan immers uitsluitend met water worden uitgescheiden). Beide componenten (eiwitgehalte en -verteerbaarheid) verdienen daarom de aandacht waarbij wordt gestreefd om het gehalte aan onverteerbaar ruw eiwit zo beperkt mogelijk te houden. Het verlagen van het eiwitgehalte gaat, naast een verminderde stikstofuitscheiding, vaak gepaard met een lagere wateropname en drogere mest. Deze combinatie van effecten kan tot een aanzienlijke ammoniakreductie leiden (Ellen et al., 2005). Verhoging van het aminozuregehalte resulteerde in een lineaire verslechtering van de strooiselkwaliteit. Bij vleeskuikens van 21 dagen leeftijd werd het strooisel bij een aminozuregehalte van 80% (ten opzichte van de norm van Schothorst Feed Research) beoordeeld met een 7,9 en bij een gehalte van 120% met een 4,3 (Figuur 8) op een schaal van 1 (slecht) tot 10 (goed).



**Figuur 8** Strooiselkwaliteit bij verschillende aminozuregehalten (als percentage ten opzichte van de norm van Schothorst Feed Research). Strooiselkwaliteit is beoordeeld op een schaal van 1 tot 10 waarbij 1 = slecht en 10 = goed

### 3.2.2 Elektrolyten en elektrolytenbalans

Het is algemeen bekend dat het gehalte aan natrium (Na), chloor (Cl) en kalium (K) in het voer van invloed is op de waterconsumptie van de dieren en dus indirect op het drogestofgehalte van de mest. Na, Cl en K zijn voor het dier essentiële nutriënten. De gehalten aan Na en Cl in de grondstoffen zijn in het algemeen laag t.o.v. de behoefte; daarom vindt aanvulling plaats met natriumchloride. Het gehalte aan kalium ligt doorgaans ver boven de behoefte van het dier. Door het aandeel kaliumrijke grondstoffen (bijv. sojaschroot) te beperken kan men het kaliumgehalte in het voer beperken. De kationen natrium ( $\text{Na}^+$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ) en het anion chloride ( $\text{Cl}^-$ ) worden voor bijna 100% geabsorbeerd in de dunne darm, onafhankelijk van de concentratie in het voer. Als de opname groter is dan de behoefte, dit geldt met name voor  $\text{Na}^+$  en  $\text{K}^+$ , zullen dieren meer water opnemen om uitscheiding van de overmaat aan ionen via de nieren te bewerkstelligen (Marien et al., 2008). Naast de totale hoeveelheid  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  en  $\text{Cl}^-$  speelt ook de verhouding, de zogenaamde elektrolytenbalans (DEB; berekend als de concentratie  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$  (meq/kg) in het voer), tussen deze ionen een rol. Deze is essentieel voor fysiologische regulatie van de osmotische druk en het zuur-base evenwicht (bloed pH). Een lagere DEB zal resulteren in een lagere bloed-pH en dit resulteert in een lagere pH van urine, en bij pluimvee dus ook van mest. Doordat de mest een lagere pH krijgt zal  $\text{NH}_3$  worden omgezet in  $\text{NH}_4^+$ .  $\text{NH}_4^+$  is wateroplosbaar, waardoor het niet in de lucht komt. Verlaging van de elektrolytenbalans van het voer kan op deze manier bijdragen aan vermindering van de ammoniakemissie (Bregendahl en Roberts, 2006).

#### Leghennen

Bij leghennen is een toename in wateropname en vochtgehalte van de mest gevonden bij toename van  $\text{Na}^+$  en  $\text{K}^+$  in het voer (Smith et al., 2000). Elke 1 g/kg toename van deze mineralen in het voer resulteerde in een toename van het vochtgehalte van de mest met 9 en 12 g/kg voor respectievelijk  $\text{Na}^+$  en  $\text{K}^+$ . Het effect van een toenemend  $\text{Na}^+$ - en  $\text{K}^+$ -gehalte in voeders voor leghennen op voeropname, wateropname en mestparameters is gegeven in Tabel 10. De wateropname neemt toe bij een verhoging van zowel het  $\text{Na}^+$ - als  $\text{K}^+$ -gehalte in voer, resulterend in een toenemende water/voerhouding. Door de hogere wateropname gingen de hennen meer mest uitscheiden, doordat het vochtgehalte van de mest toenam. Ondanks de extreme gehalten die zijn gebruikt geeft de tabel een duidelijke indicatie van het effect van  $\text{Na}^+$ - en  $\text{K}^+$ -gehalte in voer.

**Tabel 10** Effect van natrium- en kaliumgehalte op wateropname, voeropname, water/voer verhouding, mestproductie, en het vochtgehalte van de mest van leghennen (Smith et al., 2000)

Parameter	Natriumgehalte in voer (g/kg)						SEM <sup>1</sup>
	1,6	5,5	9,4	13,3	17,2	21,1	
Wateropname (g/d)	142	193	284	336	347	413	94,1
Voeropname (g/d)	113	100	93	74	60	48	30,0
Water/voer verhouding	1,43	2,19	3,21	4,94	7,14	9,64	3,360
Mestproductie (g/d)	72	100	133	141	148	176	32,8
Vochtgehalte mest (g/kg) <sup>2</sup>	698	790	810	844	853	875	72

	Kaliumgehalte in voer (g/kg)						
	2,3	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	
Wateropname (g/d)	205	220	234	262	305	368	69,6
Voeropname (g/d)	120	113	97	98	87	69	23,5
Water/voer verhouding	1,75	1,96	2,50	2,72	3,60	6,12	1,360
Mestproductie (g/d)	61	72	78	81	86	90	21,7
Vochtgehalte mest (g/kg) <sup>3</sup>	554	659	678	704	743	800	33,2

<sup>1</sup> Voor zowel natrium als kalium is voor elke parameter een lineair verschil aangetoond ( $P < 0,001$ ).

<sup>2</sup> Mest verzameld onder olie om waterverlies door verdamping tegen te gaan.

<sup>3</sup> Vochtgehalte gecorrigeerd voor waterverlies door verdamping.

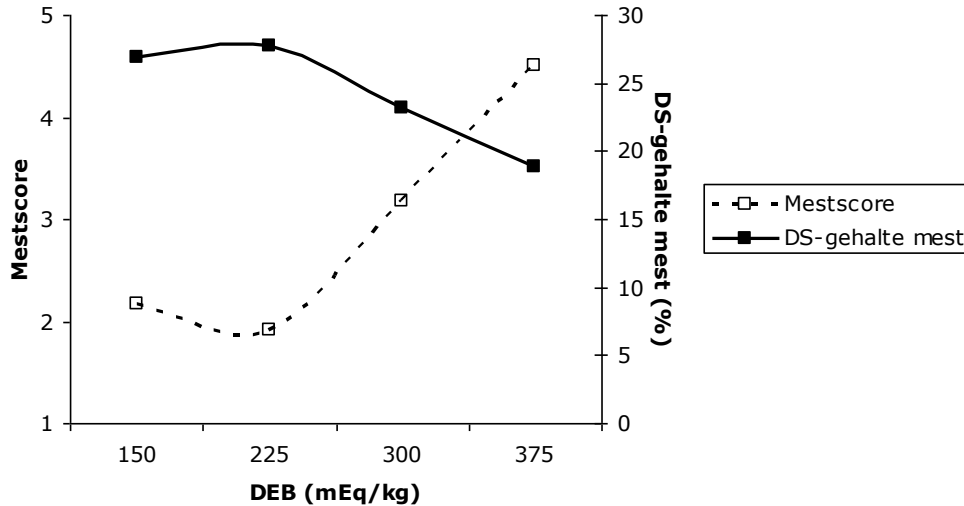
In een andere proef met leghennen werd de invloed van onder andere  $\text{Na}^+$  op snelheid van droging van de mest onderzocht (Veldman en Enting, 1997). Meer  $\text{Na}^+$  in het legvoer gaf nattere mest en dus meer vrij water, maar had geen invloed op het vochtverlies van de mest. Vrij water in de mest lijkt geen invloed te hebben op de snelheid van droging van mest mits dit zonder belemmering kan verdampen.

#### Vleeskuikens

In een proef met vleeskuikens werd de invloed van onder andere  $\text{Na}^+$  en  $\text{K}^+$  op groei, voeropname, wateropname, en wateruitscheiding nagegaan (Stappers en Grimbergen, 1983). Verhoging van  $\text{Na}^+$  in het voer van 1,5 naar 2,5 g/kg verhoogde de wateropname per kuiken van 0-6 weken van 5,7 naar 6,2 liter en verhoogde de wateruitscheiding via de mest van 3,6 naar 4,1 liter. Verhoging van  $\text{K}^+$  in het voer van 9,4 naar 12,4 g/kg verhoogde de wateropname per kuiken van 5,5 naar 6,3 liter en verhoogde de wateruitscheiding via de mest van 3,4 naar 4,3 liter. De effecten van extra  $\text{K}^+$  en van extra  $\text{Na}^+$  waren, wat betreft de wateropname, volledig optelbaar. Het toevoegen van extra  $\text{Na}^+$  en  $\text{K}^+$  had geen effect op de groei en voerconversie. In de praktijk zien we dat het  $\text{Na}^+$ - en  $\text{Cl}^-$ -gehalte in het voer zo laag mogelijk wordt gehouden.  $\text{Na}^+$ -gehalte lager dan 1,5 g/kg zijn niet uitzonderlijk, zeker in geval van het gebruik van fytase. Verlaging van het  $\text{K}^+$ -gehalte is lastig omdat  $\text{K}^+$  veelal afkomstig is van eiwitrijke grondstoffen, zoals sojaschroot. Sojaschroot wordt veelal toegepast in pluimveevoeders als eiwitbron, omdat eiwitten van dierlijke afkomst niet meer toegestaan zijn. Vieira en Lima (2005) vonden een hoger  $\text{K}^+$ -gehalte in vleeskuikengroeivoer met alleen plantaardige eiwitten in vergelijking met een voer met dierlijke eiwitten; respectievelijk een  $\text{K}^+$ -gehalte 8,2 en 6,8 g/kg. Voeders waren gelijk voor OE, aminozuren, Ca, P en Na, maar verschilde in elektrolytenbalans (DEB); 168 meq/kg bij gebruik van dierlijke eiwitten en 201 meq/kg bij gebruik van plantaardige eiwitten. De wateropname van 21-35 dagen leeftijd nam met 13% toe bij gebruik van plantaardige eiwitbronnen, terwijl groei en voerconversie vergelijkbaar waren. De mestproductie nam ook toe van 1840 naar 2170 g/kuiken. De hogere mestproductie was voor 20% toe te schrijven aan een drogestofvertering en voor 80% aan een hogere vochtuitscheiding.

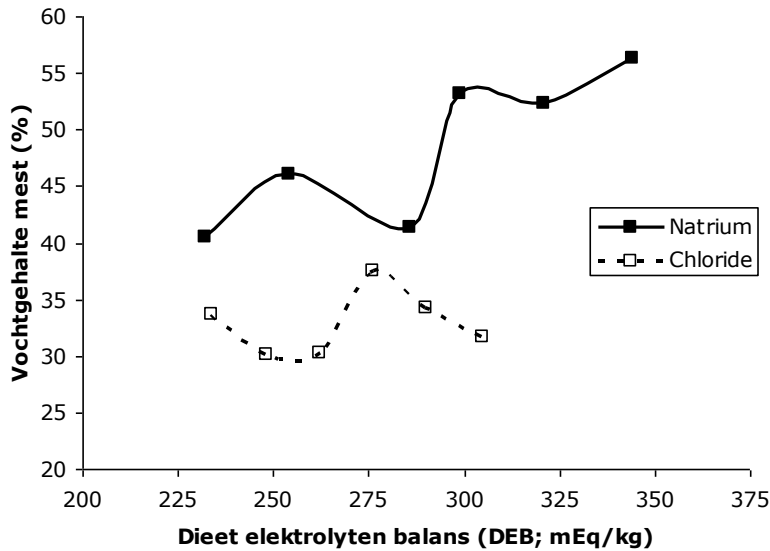
In een onderzoek bij vleeskuikens (Ravindran et al., 2008) kwam naar voren dat verhogen van de DEB door verhogen van het  $\text{Na}^+$ -gehalte in het voer een slechtere mestkwaliteit tot gevolg heeft (Figuur 9). De mestscore, een visuele beoordeling van de stevigheid en plakkerigheid van de mest, ging omhoog. De mest werd wateriger en plakkeriger naarmate de DEB toenam. Daarnaast nam het drogestofgehalte van de mest af bij verhoging van de DEB. Beide parameters indiceren een verslechtering van de mestkwaliteit bij verhoging van de DEB.



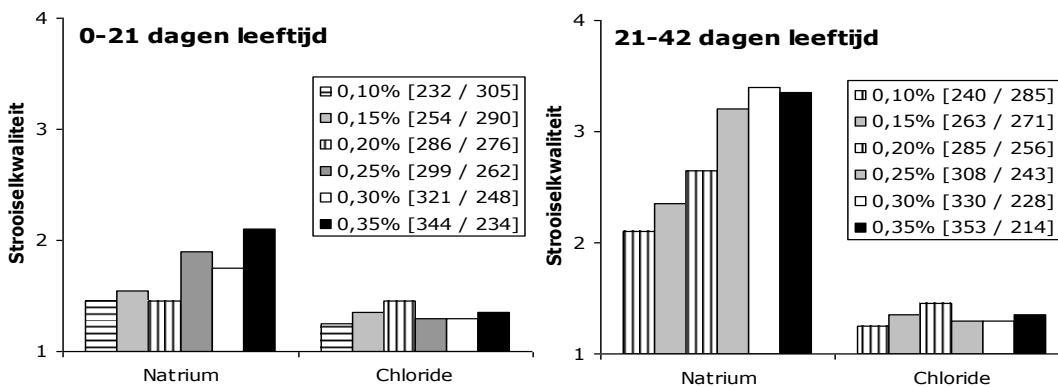


**Figuur 9** Effect van dieet elektrolyten balans op mesteigenschappen van vleeskuikens van 21 dagen leeftijd (Ravindran et al., 2008). DEB = dieet elektrolyten balans; berekend als de concentratie  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$  in het voer. Kwaliteit van de mest werd gescoord waarbij “1” mest van goede kwaliteit weergeeft en “5” dunne plakkerige mest

Bij vleeskuikens van 0-21 dagen leeftijd nam het vochtgehalte van de mest toe bij toenemende DEB door verhoging van  $\text{Na}^+$ -gehalte in het voer (Oviedo-Rondón et al., 2001; Figuur 10). Bij een DEB van 232 tot 344 meq/kg ( $\text{Na}^+$ -gehalte van 0,10% tot 0,35%) nam het vochtgehalte in de mest toe van 40,5% tot 56,3%. Strooiselkwaliteit werd numeriek slechter bij toenemende DEB door verhoging van  $\text{Na}^+$ -gehalte in het voer (Figuur 11). Een afnemende DEB van 305 tot 234 meq/kg door verhoging van  $\text{Cl}^-$ -gehalte (van 0,10% tot 0,35%) had echter weinig effect op het vochtgehalte van de mest (Figuur 10) en op strooiselkwaliteit (Figuur 11). Bij vleeskuikens van 21-42 dagen leeftijd werd de strooiselkwaliteit significant slechter bij toenemende DEB door verhoging van  $\text{Na}^+$ -gehalte van 0,10% tot 0,35% (Murakami et al., 2001; Figuur 11). Een afnemende DEB door verhoging van  $\text{Cl}^-$ -gehalte van 0,10% tot 0,35% had ook in deze periode geen effect op strooiselkwaliteit. Oviedo-Rondón et al. (2001) concludeerden dat een  $\text{Na}^+$ -gehalte van 0,28% en een  $\text{Cl}^-$ -gehalte van 0,25% resulteerde in optimale productiestatistieken bij vleeskuikens van 0-21 dagen leeftijd. Murakami et al. (2001) concludeerden dat een  $\text{Na}^+$ -gehalte van 0,15% en een  $\text{Cl}^-$ -gehalte van 0,23% resulteerde in optimale productiestatistieken bij vleeskuikens van 21-42 dagen leeftijd.



**Figuur 10** Effect van diët elektrolyten balans (DEB; door toevoegen van natrium [verhoging DEB] of chloride [verlaging DEB] aan het voer) in voer op vochtgehalte van mest van vleeskuikens van 0-21 dagen leeftijd (Oviedo-Rondón et al., 2001)



**Figuur 11** Effect van toenemend natrium- of chloride-gehalte (%) [DEB verhoging Na<sup>+</sup>-gehalte / DEB verhoging Cl<sup>-</sup>-gehalte] in voer op strooiselkwaliteit bij vleeskuikens van 0-21 dagen leeftijd (Oviedo-Rondón et al., 2001) en 21-42 dagen leeftijd (Murakami et al., 2001). Kwaliteit van het strooisel werd gescoord waarbij “1” strooisel van goede kwaliteit weergeeft en “4” vochtig strooisel

Het verlagen van de hoeveelheid elektrolyten (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) of zouten in het voer leidt naar verwachting tot een lagere wateropname met als gevolg drogere mest. Het effect op de NH<sub>3</sub>-emissie is niet in de literatuur beschreven.

### 3.2.3 Calcium en fosfor

#### Leghennen

Bij leghennen is de verhouding tussen Ca en P minder van belang dan bij vleeskuikens, omdat de hennen met name op Ca-gehalte worden gevoerd. Smith et al. (2000) hebben gekeken naar het effect van calcium op wateropname en vochtgehalte van de mest, maar vonden geen effect bij verhoging van het calciumgehalte tot 50 g/kg voer. Wel werd een toename in wateropname en vochtgehalte van de mest gevonden bij toename van fosforgehalte in het voer bij leghennen (Smith et al., 2000). Elke 1 g/kg toename van fosfor in het voer resulteerde in een toename van het vochtgehalte van de mest met

5,6 g/kg. Het effect van een toenemend fosforgehalte in voeders voor leghennen op voeropname, wateropname en mestparameters is gegeven in Tabel 11. De wateropname neemt toe bij een verhoging van het fosforgehalte in voer, resulterend in een toenemende water/voerverhouding. Door de hogere wateropname gingen de hennen meer mest uitscheiden, waarbij het vochtgehalte van de mest toenam. Ondanks de extreme gehalten die zijn gebruikt geeft de tabel een duidelijke indicatie van het effect van het fosforgehalte in voer.

**Tabel 11** Effect van fosforgehalte op wateropname, voeropname, water/voer verhouding, mestproductie, en het vochtgehalte van de mest van leghennen (Smith et al., 2000)

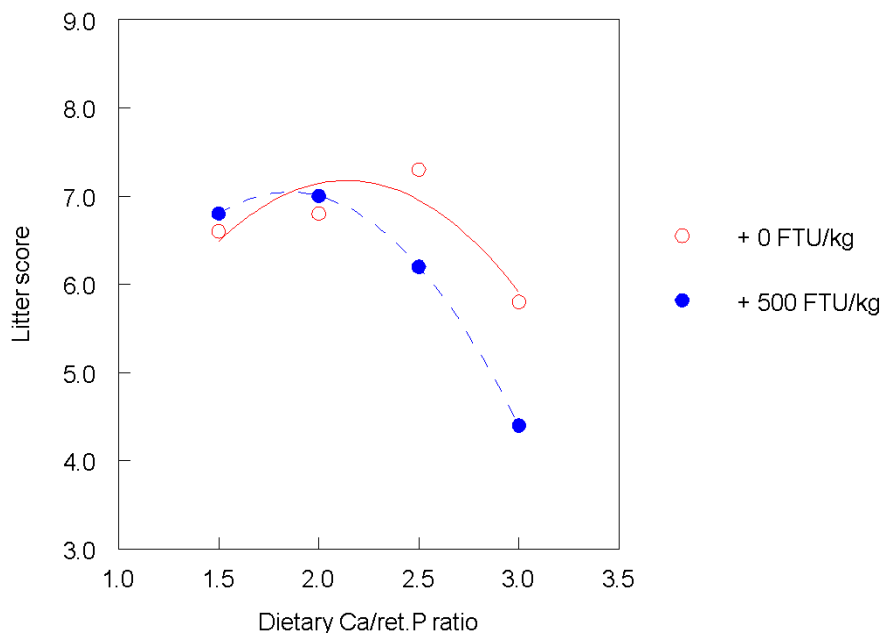
	Fosforgehalte in voer (g/kg)						SEM <sup>1</sup>
	3,0	4,0	5,0	7,5	10,0	20,0	
Wateropname (g/d)	225	225	224	242	257	347	50,9
Voeropname (g/d)	135	142	148	152	147	147	22,8
Water/voer verhouding	1,73	1,60	1,52	1,66	1,77	2,41	0,412
Mestproductie (g/d)	106	116	117	117	123	183	26,8
Vochtgehalte mest (g/kg) <sup>2</sup>	711	716	724	729	744	808	23,1

<sup>1</sup> P < 0,001 voor wateropname en vochtgehalte van de mest; P < 0,01 voor voeropname en water/voer verhouding; voeropname niet significant verschillend.

<sup>2</sup> Vochtgehalte gecorrigeerd voor waterverlies door verdamping.

### Vleeskuikens

De verhouding tussen Ca en opneembaar P (oP) heeft effect op de strooiselkwaliteit. In een onderzoek van Schothorst Feed Research (Van der Klis, 2010) werd de Ca/oP verhouding verhoogd van 1,5 naar 3,0 waarbij alleen het calciumgehalte werd verhoogd. Het oP-gehalte in start-, groei- en afmestvoer was respectievelijk 3,9 (0-14 dagen leeftijd); 2,9 (14-30 dagen leeftijd) en 2,6 g/kg (30-37 dagen leeftijd). Aan de voeders werd daarnaast fytase toegevoegd waarbij werd verondersteld dat 500 fytase-eenheden (FTU) een hoeveelheid van 0,8 g oP/kg vrijmaken. De resultaten zijn gegeven in Figuur 12. Zowel een lage als hoge Ca/oP-verhouding in het voer resulteerde in een slechtere strooiselkwaliteit. Bij een lage Ca/oP-verhouding kan P niet worden afgezet in bot als gevolg van te weinig Ca en P wordt dan uitgescheiden met de urine. Bij een hoge Ca/oP-verhouding wordt Ca uitgescheiden via urine. Bij toevoeging van fytase werd de optimale verhouding verlaagd. Bij gebruik van fytase moet wel rekening gehouden worden met een matrix-waarde voor Ca. Als hier geen rekening mee wordt gehouden komt er teveel Ca beschikbaar en dit zal resulteren in nattere mest. Productieprestaties zijn gegeven in Tabel 12. Hoogste groei werd gehaald bij een Ca/oP-verhouding tussen 2,0 en 2,5 zonder toevoeging van fytase en tussen 1,5 en 2,0 met toevoeging van fytase. Voerconversie en uitval waren het laagst bij een Ca/oP-verhouding van respectievelijk 2,5 en 2,0.



**Figuur 12** Effect van calcium/opneembaar fosfor (Ca/oP) verhouding in vleeskuikenvoeders op strooiselkwaliteit op 14 dagen leeftijd (Van der Klis, 2010). Strooiselkwaliteit is beoordeeld op een schaal van 1 tot 10 waarbij 1 = slecht en 10 = goed

**Tabel 12** Productieprestaties van vleeskuikens bij verschillende Ca/oP-verhoudingen en toevoeging van fytase in het voer (Van der Klis, 2010)

Ca/oP-verhouding	Fytase (FTU/kg)	Lichaamsgewicht (g)	Voerconversie (g/g)	Uitval (%)
1,5	0	2276 <sup>bc</sup>	1,711 <sup>a</sup>	5,0 <sup>ab</sup>
2,0	0	2337 <sup>a</sup>	1,683 <sup>abc</sup>	6,9 <sup>a</sup>
2,5	0	2337 <sup>a</sup>	1,648 <sup>c</sup>	3,2 <sup>b</sup>
3,0	0	2301 <sup>ab</sup>	1,666 <sup>bc</sup>	2,7 <sup>b</sup>
1,5	500	2335 <sup>a</sup>	1,685 <sup>ab</sup>	4,1 <sup>b</sup>
2,0	500	2324 <sup>a</sup>	1,663 <sup>bc</sup>	2,7 <sup>b</sup>
2,5	500	2246 <sup>c</sup>	1,670 <sup>bc</sup>	3,8 <sup>b</sup>
3,0	500	2176 <sup>d</sup>	1,659 <sup>bc</sup>	4,6 <sup>ab</sup>

<sup>a-d</sup> Resultaten in dezelfde kolom verschillend in superscript zijn significant verschillend ( $P < 0,05$ ).

### 3.3 Toevoegmiddelen

Een probioticum is een voersupplement dat levende bacteriën (of gisten) bevat die het microbiële evenwicht in de darm van het gastdier positief beïnvloeden (Fuller, 1989). Veelal wordt aan de hand van probiotica geprobeerd het aantal niet-pathogene bacteriën te stimuleren. Het idee hierachter is dat deze niet-pathogene bacteriën zich enerzijds binden aan de darm-mucosa waardoor pathogene bacteriën niet kunnen binden en anderzijds de immuniteit in de darm stimuleren (Sasidhar, 2006). Daarnaast kan door het gebruik van probiotica de pH van de darm worden verlaagd o.a. door vrijkomen van meer vetzuren (Yeo en Kim, 1997). Een gunstige darmflora bij een lagere pH kan de vorming van  $NH_3$  wellicht verminderen. Productie van  $NH_3$  is niet geheel te voorkomen. Er zijn echter voeradditieven die een neutraliserende werking hebben doordat ze ammoniak kunnen binden. Een aantal zullen besproken worden. Het is niet altijd duidelijk waardoor het effect wordt veroorzaakt.

#### 3.3.1 *Bacillus subtilis* culture (DBSC)

DBSC is een micro-organisme dat subtilin produceert. Subtilin reduceert de ureaseproducerende microflora in het lumen, waardoor de ammoniakemissie kan worden gereduceerd (Visek, 1978).

### Vleeskuikens

Santoso et al. (1999) vonden in een kleinschalige studie een reductie van de NH<sub>3</sub>-emissie van 33 en 67% bij toevoeging van respectievelijk 1 of 2% DBSC aan het voer. Het toevoegen van DBSC had in deze studie geen effect op de groei, wel op de voerconversie; die verbeterde. Naast de reducerende werking op de ureaseproducerende microflora in het lumen wordt bovendien de ammoniak, gevormd uit de afbraak van urinezuur of ureum in de mest, gebonden door een onbekende stof die wordt geproduceerd door DBSC.

### Kalkoenen

Bij kalkoenen kwam bij gebruik van het probioticum Calsporin<sup>®</sup>, op basis van *Bacillus subtilis* C-3102, minder ammoniak uit strooiselmonsters vrij in een broedstoof dan uit strooiselmonsters uit afdelingen waarbij de dieren geen additief kregen gevoerd (Blair et al., 2004). De gemeten ammoniakconcentratie in de broedstoof was bij de behandeling met Calsporin<sup>®</sup> 7,8 ppm en bij de controlebehandeling 25,2 ppm. Onder deze laboratoriumomstandigheden, waarin het vrijkomen van ammoniak uit het strooisel werd gemeten, was de gemiddelde ammoniakconcentratie bij Calsporin<sup>®</sup> bijna 70% lager dan bij controle.

### 3.3.2 *Lactobacilli*

#### Vleeskuikens

Er zijn diverse *Lactobacillus*soorten die als probioticum worden gebruikt. Bij vleeskuikens van 0 tot 3 weken leeftijd had het toevoegen van 0,1% *Lactobacillus casei* aan het voer een verlaging van de ureaseactiviteit in de dunne darm tot gevolg (Yeo en Kim, 1997). De ureaseactiviteit in de dikke darm was echter niet verlaagd, en op 6 weken leeftijd werd geen verschil gevonden in ureaseactiviteit van zowel de dunne als dikke darm. Daarnaast werd geen verschil aangetoond in totale NH<sub>3</sub>-uitscheiding op 3 en 6 weken leeftijd.

Apata (2008) vond bij toevoeging van *Lactobacillus bulgaris* aan vleeskuikenvoeders een verbeterde stikstofvertering. Het beste resultaat werd behaald bij toevoeging van 60 mg/kg. De stikstofvertering was bij deze hoeveelheid toegevoegd probioticum 76,9% ten opzichte van 68,9% in de controlebehandeling zonder probioticum. Chang en Chen (2003) vonden een reductie van meer dan 50% bij toevoeging van Ecozyme aan het voer. Ecozyme is een mengsel van voer en verschillende *Lactobacillus*soorten, o.a. *L. casei*, *L. brevis*, *L. buchneri* en *L. plantarum*. De groei en de voerconversie werden niet beïnvloed. Het gebruik van lactobacilli leidde tot een lagere pH en vochtgehalte van de mest en dit is waarschijnlijk de reden dat de ammoniakemissie verlaagd werd. Het experiment van Chang en Chen is echter uitgevoerd in batterijkooien met een betrekkelijk klein aantal dieren. Het gebruik van deze lactobacillicultuur in strooiselstallen is niet onderzocht.

### 3.3.3 *Gisten*

Koreaans onderzoek uit 2003 laat een positief effect zien van het gebruik van gisten als veevoederadditief op de resultaten en de NH<sub>3</sub>-emissie van vleeskuikens (Park et al., 2003). In dit onderzoek heeft men aan het voer (een tweefasenvoer met 215 g/kg en 190 g/kg ruw eiwit voor respectievelijk het start- en eindvoer) vier verschillende doseringen van een gistcultuur toegevoegd. In Tabel 13 staan de belangrijkste resultaten vermeld. Het toevoegen van 0,4% gistcultuur gaf de hoogste NH<sub>3</sub>-reductie (44%), en had geen effect op de groei en voerconversie. Een toevoeging van 0,2% gaf een reductie van 14%, en een positief effect op de groei en voerconversie.

**Tabel 13** Invloed gisten op groei, voerconversie en NH<sub>3</sub>-emissie uit de stal (Park et al., 2003)

Dosering	Groei (0-5 weken)	Voerconversie (0-5 weken)	NH <sub>3</sub> -concentratie (controle = 100%)
Controle (0%)	1414	1,974	100
0,1%	1408	1,914	86
0,2%	1452	1,814	86
0,4%	1380	1,977	56

### 3.3.4 Algen

#### Vleeskuikens

In Duitsland hebben Hörnig en Brunsch (1999) het effect van het toevoegen van algen aan het voer en drinkwater op de NH<sub>3</sub>-emissie onderzocht bij drie koppels (zomer '98, winter '99 en lente '99). Uit deze veldproef (twee stallen met elk 22.500 vleeskuikens) kwam naar voren dat het verstrekken van bruinalgen leidt tot een forse NH<sub>3</sub>-reductie (40%) bij toediening via het drinkwater (Tabel 14). De toediening in het voer is alleen in de laatste twee koppels meegenomen. In één ronde werd een reductie gerealiseerd van 56%, in de andere ronde werd geen reductie gevonden.

**Tabel 14** Effect van het toevoegen van Biopolym (= bruinalgen extract) aan drinkwater en voer op de resultaten van vleeskuikens en de NH<sub>3</sub>-emissie (Hörnig en Brunsch, 1999)

	Zomer 1998		Winter 1999			Voorjaar 1999		
	Controle	Algen via water	Controle	Algen via water	Algen via voer	Controle	Algen via water	Algen via voer
Mestduur	40	40	39	39	39	38	38	38
Gewicht (g)	1944	1886	1954	1890	1846	1766	1732	1791
Voerconversie	1,57	1,57	1,65	1,69	1,71	1,63	1,64	1,63
Water/voer	1,79	1,70	1,68	1,72	1,56	1,81	1,87	1,84
NH <sub>3</sub> -emissie (g/d/jaar)	50,2	27,8	73,2	35,5	32,0	53,6	42,6	56,4
Reductie (%)	-	44,6	-	51,4	56,3	-	20,5	-5,2

### 3.3.5 Kleimineralen

Zeolieten (ook wel Clinoptilolite genoemd) zijn in het verre verleden ontstaan uit vulkaanas dat werd afgekoeld door zeewater. Zeolieten bezitten in beginsel de volgende eigenschappen:

- Het vermogen om water en voedingsstoffen te absorberen
- Het vermogen om door ionenuitwisseling schadelijke kationen (o.a. ammoniak, Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Cr, Mn en Fe) in het darmkanaal te binden
- Het vermogen om nitraten en fosfaten te absorberen en te binden.

Gelet op de bovenstaande eigenschappen kan het gebruik van zeolieten als veevoederadditief leiden tot een verbetering van de mestconsistentie, voerefficiëntie, verhoogde vitaliteit en mogelijk ook tot een vermindering van de ammoniakemissie uit pluimveestallen. Zeoliet is een kleimineraal dat, toegevoegd aan het voer, ammoniak kan absorberen. Op deze manier kan worden voorkomen dat NH<sub>3</sub> in de lucht komt en kan toevoeging van zeoliet aan pluimveevoer een bijdrage leveren aan de vermindering van de ammoniakemissie uit pluimveestallen.

#### Leghennen

Leghennen die een voer met 6,9% CaSO<sub>4</sub>-zeoliet en een verlaagd ruw eiwitgehalte verstrekt kregen hadden een lagere NH<sub>3</sub>-emissie (286,2 vs. 468,2 mg/hen) in vergelijking met leghennen op commercieel voer (Wu-Haan et al., 2007). De onderzoekers wijten de verminderde emissie aan de combinatie van toegevoegd zeoliet en lager ruw eiwitgehalte. Het ruw eiwitgehalte was echter behoorlijk verlaagd; 16,5% t.o.v. 18,3% op 21 weken leeftijd, 15,8% t.o.v. 17,8% op 38 weken leeftijd en 15,3% t.o.v. 17,0% op 59 weken leeftijd. De reductie van het ruw eiwitgehalte in het voer verklaart waarschijnlijk al een groot deel van de verminderde NH<sub>3</sub>-emissie gevonden in dit onderzoek. Daarnaast werkt SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> pH-reducerend, waardoor het minder vluchtige NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in mest gevormd wordt.

#### Vleeskuikens

In een veldstudie bij vleeskuikens waarbij zeoliet zowel als voeradditief als over het strooisel werd gebruikt kon de ammoniakemissie met bijna 12% worden verminderd (Dobeic, 1997). In een ander onderzoek (Amon et al., 1997) werd echter gevonden dat zeoliet als voeradditief en in strooisel resulteerde in een 50% hogere ammoniakemissie. De oorzaak is niet duidelijk, maar de onderzoekers veronderstellen dat zeoliet in strooisel de binding van NH<sub>3</sub> kan remmen.

### 3.3.6 Vervangen $\text{CaCO}_3$ door $\text{CaSO}_4$ of $\text{CaCl}_2$

Het is op dit moment onduidelijk of het mogelijk is om calcium in het pluimveevoer in de vorm van  $\text{CaCO}_3$  (gedeeltelijk) te vervangen door  $\text{CaSO}_4$  of  $\text{CaCl}_2$ . Verder is het onduidelijk wat hiervan het effect is op de ammoniakemissie. Angel et al (2008) vonden in een onderzoek bij leghennen een 39% lagere ammoniakemissie bij een voer met een 0,5% lager ruw eiwitgehalte en waaraan een binder (zeoliet) en waarbij een deel van de  $\text{CaCO}_3$  (kalk) was vervangen door  $\text{CaSO}_4$  (gypsum). Angel schrijft de lagere ammoniakemissie bij dit voer vooral toe aan de vervanging van  $\text{CaCO}_3$  door  $\text{CaSO}_4$ . Ook Hale (2005) meldt dat het vervangen van een deel van de kalk door  $\text{CaSO}_4$  leidde tot een daling van de pH in de mest (van 8,0 naar <7) en een reductie van de ammoniakemissie van 15%. Ook in het onderzoek van Wu-Haan (2007) werd een aanzienlijke reductie van de ammoniakemissie gevonden. In deze studie werd een toevoeging van 6,9% van een  $\text{CaSO}_4$ -zeoliet gecombineerd met een verlaging van het ruw eiwit in het voer. Meer onderzoek naar het effect van verzurende Ca-bronnen op productieprestaties en ammoniakemissie bij pluimvee is wenselijk.

### 3.3.7 *Yucca*-extracten

Het extract van de yuccaplant, *Yucca saponine*, inhibeert urease en bindt ammoniak. De-Odorase® is een commercieel poeder van *Yucca schidigera* extract. De zogenaamde glyco-componenten in het extract kunnen ammoniak binden. Het gebruik van dit extract als veevoederadditief kan leiden tot een vermindering van de  $\text{NH}_3$ -emissie uit pluimveestallen.

#### Vleeskuikens

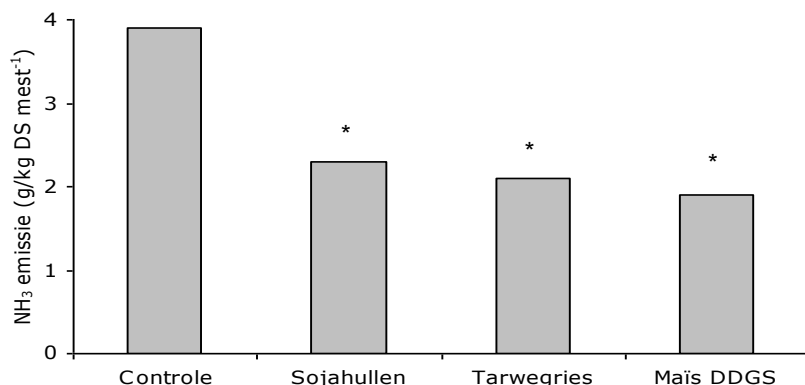
Dobeic (1997) vond in een veldstudie dat het gebruik van De-Odorase® als veevoederadditief (in combinatie met toevoeging aan strooisel) bij vleeskuikens resulteerde in een  $\text{NH}_3$ -reductie van 23%. Lozano en Tlacomulco (1997) vonden dat het gebruik van een *yucca schidigera*-extract de ammoniakconcentratie in de stal met 35-40% verlaagde. Lozano en Tlacomulco maken verder melding van verbeterde productieresultaten door de verbeterde leefomstandigheden (lees: lagere  $\text{NH}_3$ -concentratie). De groei en voerconversie verbeterden met respectievelijk 2,5 en 6%. In een veldstudie bij vleeskuikens waarbij De-Odorase® werd toegevoegd aan het voer werd de ammoniakemissie met 50% worden verminderd (Amon et al., 1997).

## 3.4 Fermenteerbare koolhydraten

Fermenteerbare koolhydraten worden niet verteerd, maar kunnen worden afgebroken door bacteriën in de dikke darm. De bacteriën hebben stikstof nodig voor hun eiwitsynthese (groei) en dit is deels afkomstig van stikstof dat vanuit het bloed wordt getransporteerd naar de darmwand – stikstof dat anders als urinezuur zou worden uitgescheiden. De totale uitscheiding van stikstof via urine en feces wordt niet minder door verstrekken van fermenteerbare koolhydraten, maar de fecale stikstof wordt uitgescheiden als microbiëel eiwit. Microbiëel eiwit wordt niet zoals urinezuur omgezet in  $\text{NH}_3$ , en draagt dus niet bij aan de ammoniakemissie (Bregendahl en Roberts, 2006). Daarnaast heeft de microbiële fermentatie van de fermenteerbare koolhydraten effect op de pH van de mest door productie van vluchtige vetzuren. Doordat de mest een lagere pH krijgt zal  $\text{NH}_3$  worden omgezet in  $\text{NH}_4^+$ , dat niet uit de mest vervluchtigt. Echter, een hoger gehalte aan fermenteerbare koolhydraten in het voer verlaagt de nutriëntenverteerbaarheid, en kan hierdoor de totale stikstofuitscheiding verhogen (Canh et al., 1997).

Het verstrekken van extra fermenteerbare koolhydraten aan leghennen kan eveneens resulteren in een vermindering van de ammoniakemissie. Bij het inmengen van 4,8% sojahullen, 7,3% tarwegries of 10,0% maïs Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS) in leghenvoeders en verstrekt aan leghennen van 45 tot 58 weken leeftijd werd de ammoniakemissie met bijna 50% verminderd (Roberts et al., 2007; Figuur 13). De verminderde ammoniakemissie was niet toe te schrijven aan een hogere uitscheiding van microbiëel eiwit, want uitscheiding van totaal urinezuur en N uit urinezuur was voor alle behandelingen vergelijkbaar. De pH van de mest was voor de behandelingen met extra fermenteerbare koolhydraten lager, waardoor de verminderde ammoniakemissie waarschijnlijk toe te schrijven is aan de productie van vluchtige vetzuren door bacteriën in de dikke darm. Het is daarom de vraag of dit werkingsmechanisme ook bij vleeskuikens niet meer valide is dan de vastlegging van stikstof in microbiëel eiwit omdat de microbiële fermentatie bij pluimvee in het algemeen niet erg groot is. Productieprestaties van de leghennen werden niet beïnvloed door het hogere gehalte aan fermenteerbare koolhydraten. Wel kunnen fermenteerbare koolhydraten een negatief effect hebben op

productkwaliteit (denk daarbij aan vuilshalige eieren), zodat een te sterke verhoging van het aandeel fermenteerbare koolhydraten niet gewenst is.



**Figuur 13** Effect van het verstrekken van 5% sojahullen, 7% tarwegries of 10% maïs DDGS in leghennenvoer op de ammoniakemissie van mest (Roberts et al., 2007). \* Significant verschillend van controle behandeling (P < 0,01)

### 3.5 Samenvatting effecten voermaatregelen

De in dit rapport beschreven effecten van voermaatregelen op stikstofuitscheiding, ammoniakemissie, strooiselkwaliteit en productiekenmerken bij pluimvee zijn in Tabel 15 kwalitatief weergegeven. Hierbij zijn voor enkele kenmerken inschattingen gemaakt van het effect omdat bijvoorbeeld in onderzoek de ammoniakemissie niet is gemeten maar het strooisel wel droger was of er werd minder N uitgescheiden.

**Tabel 15** Effect van voermaatregelen op stikstofuitscheiding, NH<sub>3</sub>-emissie, strooiselkwaliteit en productiekenmerken bij pluimvee

Voermaatregelen	Effect op: <sup>1</sup>								
	N-excretie	NH <sub>3</sub> -emissie	Strooiselkwaliteit	Productie	Geur	Fijnstof	Lachgas	Methaan	Energieverbruik
Eiwitgehalte	+	+	+	+/-	+	-	+	+	+/-
Vrije aminozuren	+	+	+	+/-	+	-	+	+	+/-
Multi-fasenvoeding	+	+	+	+	+	-	+	+	+/-
Tarwe bijvoeren	+	+	+	+/-	+	-	+	+	+/-
Enzymen	+	+	+	+	+	-	+	+	+/-
Elektrolyten <sup>2</sup>	?	+	+	-	+	-	+	+	+/-
Calcium en fosfor	?	+	+	+	+	-	+	+	+/-
Fermenteerbare koolhydraten	+/-	+	+/-	+/- <sup>3</sup>	?	?	?	?	+/-
Kleimineralen	?	+/-	?	?	+/-	?	?	?	+/-
De-Odorase	?	+/- <sup>4</sup>	?	?	+/-	?	?	?	+/-
Probioticum	?	+/-	?	?	+/-	?	?	?	+/-
Verzurende calciumbronnen	?	+/-	?	?	+/-	?	?	?	+/-

<sup>1</sup> + = positief effect, +/- = weinig tot geen effect; - = negatief effect, ? = effect onbekend en aanvullend onderzoek nodig om effect vast te stellen.

<sup>2</sup> Verlaging natrium- en kaliumgehalte in het voer.

<sup>3</sup> Bij leghennen kan het percentage vuilshalige eieren toenemen bij toenemend gehalte aan fermenteerbare koolhydraten in het voer.

<sup>4</sup> Gebaseerd op één onderzoek.



## 4 Kosten van voermaatregelen

Van de perspectiefvolle maatregelen voor de reductie van ammoniakemissie zoals genoemd aan het begin van hoofdstuk 3 zijn de kosten doorgerekend voor leghennen en vleeskuikens, als belangrijkste pluimveesoorten in Nederland.

### Leghennen

Voor leghennen is eerst een basisvoeder samengesteld en vervolgens zijn het ruw eiwitgehalte en fermenteerbare koolhydratengehalte (NSP) respectievelijk verlaagd en verhoogd (Tabel 16). Alle voeders zijn geoptimaliseerd met een OE-gehalte van 2800 kcal/kg en een verteerbaar lysinegehalte van 6,8 g/kg. Calciumgehalte was op minimaal 36,0 g/kg gesteld en het opneembaar fosforgehalte op 3,0 g/kg. Alle voeders bevatten zowel fytase als NSP-enzymen.

Een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 163 g/kg naar 160 g/kg resulteerde al in een 16% hogere voerprijs. Verdere verlaging van het ruw eiwitgehalte dreef de prijs flink op en is daarom niet weergegeven.

Bij leghennen is het NSP-gehalte redelijk te verhogen zonder grote effecten op de voerprijs.

Verhoging van het NSP-gehalte van 122 naar 160 g/kg verhoogde de voerprijs met 3%.

Het Na<sup>+</sup>- en K<sup>+</sup>-gehalte en de DEB in het basisleghenvoeder zijn al laag en het voer is niet geoptimaliseerd met nog lagere gehalten.

**Tabel 16** Effect van verschillende voerconcepten op de voerprijs van leghenvoeders

Nutriënten (g/kg)	Basis	-30 g/kg ruw eiwit	+18 g/kg NSP	+38 g/kg NSP
OE (kcal/kg)	2800	2800	2800	2800
Droge stof	884	884	887	890
Ruw eiwit	163	<b>160</b>	165	168
Ruw vet	28	30	38	55
Ruwe celstof	21	19	25	29
NSP <sup>1</sup>	122	115	<b>140</b>	<b>160</b>
Ca	36,0	37,2	36,0	36,0
P	4,5	4,4	4,6	4,9
oP	3,0	3,0	3,0	3,0
Na	1,3	1,6	1,3	1,3
K	6,5	4,4	6,4	7,0
Cl	2,1	2,8	2,1	2,0
v.Lys	6,8	6,8	6,8	6,8
v.M+C	6,1	6,1	6,1	6,1
v.Thr	4,9	5,0	4,8	4,9
v.Trp	1,5	1,4	1,4	1,4
Prijsverschil t.o.v. basis	<b>100%</b>	<b>116%</b>	<b>101%</b>	<b>103%</b>

<sup>1</sup> NSP = fermenteerbare koolhydraten.

Vleeskuikens

Voor vleeskuikens is eerst een basisvoeder samengesteld en vervolgens zijn het ruw eiwitgehalte en kaliumgehalte verlaagd en het fermenteerbare koolhydratengehalte (NSP) verhoogd (Tabel 17). Alle voeders zijn geoptimaliseerd met een OE-gehalte van 3000 kcal/kg en een verteerbaar lysinegehalte van 10,2 g/kg. Calciumgehalte was op minimaal 6,0 g/kg gesteld en het opneembaar fosforgehalte op 3,3 g/kg. Alle voeders bevatten zowel fytase als NSP-enzymen.

Een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 205 g/kg naar 200 g/kg resulteerde al in een 5% hogere voerprijs. Verdere verlaging van het ruw eiwitgehalte naar 195 en 190 g/kg verhoogde de voerprijs met respectievelijk 12% en 19%.

Bij verhoging van het NSP-gehalte van 152 naar 161 g/kg neemt de voerprijs met 6% toe. Bij een verdere verhoging tot 170 g/kg neemt de voerprijs met 13% toe (ten opzichte van het basis voer).

Verlaging van het K<sup>+</sup>-gehalte van 9,0 naar 8,5 g/kg bij gelijkblijvende DEB verhoogde de voerprijs met 3%. Een verdere verlaging van het K<sup>+</sup>-gehalte naar 8,0 g/kg bij gelijkblijvende DEB resulteerde in een 7% hogere voerprijs ten opzichte van het basisvoer.

**Tabel 17** Effect van verschillende voerconcepten op de voerprijs van vleeskuikenvoeders

Nutriënten (g/kg)	Basis	-5 g/kg ruw eiwit	-10g/kg ruw eiwit	-15 g/kg ruw eiwit	+9 g/kg NSP	+19 g/kg NSP	-0,5 g/kg K	-1g/kg K
OE (kcal/kg)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Droge stof	878	880	880	879	880	881	878	878
Ruw eiwit	<b>205</b>	<b>200</b>	<b>195</b>	<b>190</b>	202	198	202	199
Ruw vet	78	80	77	70	80	79	76	71
Ruwe celstof	27	33	38	38	27	35	28	28
NSP <sup>1</sup>	<b>152</b>	154	156	150	<b>161</b>	<b>170</b>	152	149
Ca	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
P	5,0	5,1	5,1	5,0	5,0	5,2	5,0	5,0
oP	3,3	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Na	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
K	<b>9,0</b>	8,4	7,5	6,7	8,6	7,9	<b>8,5</b>	<b>8,0</b>
Cl	2,6	2,7	2,9	2,9	2,6	2,7	2,1	1,7
v.Lys	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
v.M+C	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
v.Thr	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
v.Trp	2,2	2,1	2,0	1,9	2,1	2,0	2,2	2,1
Prijverschil t.o.v. basis	<b>100%</b>	<b>105%</b>	<b>112%</b>	<b>119%</b>	<b>106%</b>	<b>113%</b>	<b>103%</b>	<b>107%</b>

<sup>1</sup> NSP = fermenteerbare koolhydraten.

## 5 Controle

### 5.1 Algemeen

Indien de pluimveehouder gebruik wil maken van voermaatregelen en een daaraan gekoppelde emissie(factor) ligt het voor de hand dat deze zelf verantwoordelijk is voor het beschikbaar hebben en actualiseren van de documentatie en het toegankelijk zijn van zijn bedrijf voor steekproefsgewijze fysieke controle. In Tabel 17 is per maatregel kort aangegeven hoe controle mogelijk is.

### 5.2 Voermaatregelen

Eerder zijn Startnotities gemaakt voor opname van benzoëzuur en een verlaagd eiwitgehalte in het voer voor varkens (Levrouw et al., 2006; Wegereef et al., 2007). Voor voermaatregelen binnen de pluimveehouderij zou een soortgelijke notitie gemaakt kunnen worden. In de Startnotities is aandacht besteed aan controle. In deze paragraaf wordt daarvan gebruik gemaakt. Voor de vergunningverlenende instantie is het van belang dat controle mogelijk is op de toepassing van ammoniakemissiearme voeders. Gebruik van emissiearme voeders kan worden gecontroleerd als de volgende punten in acht worden genomen:

1. De mengvoederfabrikant voorziet het betreffende emissiearme voer van een unieke voercode met een nauwkeurig omschreven samenstelling.
2. In deze samenstelling dienen in ieder geval de gehalten van componenten die beogen de ammoniakemissie te verlagen nauwkeurig te zijn aangegeven (zie paragraaf 2.3).
3. De gehalten genoemd onder 2 dienen op het etiket te worden vermeld. Afhankelijk van het emissiereducerend principe dienen minimale, maximale of een gemiddelde reductie met marges aangegeven te worden. Zoals voor alle andere vermeldingen op het etiket wordt de mengvoederfabrikant door de wetgever verantwoordelijk en aansprakelijk geacht voor het respecteren van de gehalten in het voeder. De etiketvermelding biedt een bijkomende garantie voor de veehouder dat hij wel degelijk het correcte voeder heeft gevoerd (controleerbaarheid). De voercomponenten die van belang zijn voor verlaging van de ammoniakemissie met het betreffende diervoeder dienen analytisch aantoonbaar en kwantificeerbaar te zijn. Dit is noodzakelijk om etiketvermelding mogelijk te maken en moet niet strijdig te zijn met de huidige wetgeving inzake etikettering van diervoeders.
4. Als een bedrijf besluit tot het voeren van emissiearme voeders dan ligt het voor de hand dat alle dieren op dit bedrijf van een bepaalde diercategorie worden gevoerd met de emissiearme voeders. Controle kan echter ook op voersilo-niveau plaatsvinden. Dat betekent dat het mogelijk is om per stal al dan niet emissiearme voeders te verstrekken.
5. Elk bedrijf heeft een klantnummer bij de mengvoerleverancier. De controlerende instantie kan opvragen bij de mengvoerleverancier welk mengvoer met welke voercodes aan een klant zijn geleverd. Door de combinatie van klantnummer en voercodes kan op ieder moment een overzicht van de afname worden aangevraagd.
6. In de borgingssystematiek van het mengvoerbedrijf wordt voorzien dat de productie van emissiearm voer wordt geborgd via GMP- of HACCP-systematiek, met speciale aandacht voor:
  - a. controle receptuur op gehalten;
  - b. controle of voeders volgens het betreffende raamwerk zijn samengesteld. Het raamwerk bevat de verschillende eisen die aan het voeder worden gesteld. Het betreft de minimale en de maximale gehalten van bepaalde nutriënten zoals ruw eiwit, fosfaat, zetmeel etc. alsook de minimale / maximale gehalten aan voedermiddelen met het oog op voederwaarde, smakelijkheid, verwerkbaarheid, diergezondheid. Het raamwerk is de basis voor de productie. Wijzigingen zijn onderworpen aan bepaalde procedures.
  - c. afnamelijst per klantnummer met afgenomen tonnages van alle voeders en gebruikte grondstoffen opvraagbaar.
7. Op verzoek van de controlerende instantie werkt de voerleverancier mee aan interne / externe audits. Op aanvraag van de pluimveehouder wordt een door de voerleverancier volledig ingevulde en ondertekende verklaring verzonden naar de pluimveehouder.
8. De pluimveehouder blijft steeds verantwoordelijk voor de afname van de emissiearme voeders en voor het kunnen overleggen van de noodzakelijke documenten voor controle en handhaafbaarheid.

Voor bedrijven die zelf voer mengen of het mengvoer niet geheel volgens de hiervoor beschreven werkwijze aanvoeren, voldoet deze werkwijze niet en is een sluitende controle lastiger. Dit betekent echter niet dat voermaatregelen voor deze bedrijven geen optie zijn. De controle zal voor deze bedrijven nader moeten worden uitgewerkt. Aangezien het overgrote deel van de pluimveebedrijven (speciaal ook in de subklassen van kleine en middelgrote bedrijven) wel volgens de geschetste systematiek kan werken is het wenselijk om dit nu in te voeren met uitzondering van de bedrijven die niet volledig gebruik kunnen maken van deze systematiek.

**Tabel 18** Samenvatting van de mogelijkheden tot controle voermaatregelen

<b>Maatregelen</b>	<b>controle</b>	
	<b>WIE levert informatie</b>	<b>WELKE informatie</b>
Voermaatregelen	pluimveehouder/leverancier	voerbonnen (digitale administratie hoeveelheid en samenstelling)

## 6 Conclusies en Aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Vermindering van de ammoniakemissie in de pluimveehouderij door voermaatregelen is zeer wel mogelijk met instandhouding van de productieprestaties en de gezondheid en het welzijn van de dieren. Zij kunnen daarom een belangrijke bijdrage leveren aan het verminderen van de ammoniakemissie in Nederland. De meeste aanpassingen in de voersamenstelling zullen kostprijsverhogend uitwerken. In de controle op de geclaimde effecten op de ammoniakemissie kan worden voorzien door de emissiearme voeders van een unieke voercode te voorzien met een nauwkeurig omschreven samenstelling.

Hierna volgen de belangrijkste bevindingen.

- Effecten van een verminderde stikstofexcretie op ammoniakemissie zijn vaak onvoldoende beschreven in de literatuur. Een verminderde stikstofuitscheiding leidt niet automatisch tot een evenredige vermindering van de ammoniakemissie omdat ook andere factoren hierbij een rol spelen zoals bijvoorbeeld: de ruiheid, het vochtgehalte, de temperatuur en de pH van het strooisel en de structuur van de mest.
- Een juiste afstemming van het eiwitgehalte in het voer op de behoefte van de dieren resulteert in een verbeterde stikstofbenutting en een verminderde stikstofuitscheiding. Bij leghennen zijn geen studies bekend waarbij het effect van fasenvoeding op ammoniakemissie is onderzocht. Bij vleeskuikens werd in een onderzoek 22% lagere ammoniakemissie gerapporteerd wanneer 6-fasen- in plaats van 4-fasenvoeding werd toegepast. Fasenvoeding die beter is afgestemd op de behoefte van de dieren (meer voerfasen) hoeft niet te leiden tot een verhoging van de kostprijs.
- Verlaging van het ruw eiwitgehalte in voeders aangevuld met vrije aminozuren resulteert in een verminderde stikstofuitscheiding, een verlaagde wateropname, droger strooisel en een verminderde ammoniakemissie. In publicaties werden afhankelijk van de gehanteerde verlaging van het ruw eiwitgehalte bij vleeskuikens ammoniakreducties tot meer dan 50% gerapporteerd. Deze maatregel leidt echter wel tot een kostprijsverhoging van de voeders omdat vrije aminozuren toegevoegd moeten worden om in de aminozuurbehoefte van de dieren te voorzien. Een voorbeeldberekening laat zien dat bij leghennen een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 30 g/kg bij een gelijkblijvend verteerbaar lysinegehalte leidt tot een kostprijsverhoging van 16%. Bij vleeskuikens leidt een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 5, 10 en 15 g/kg tot een kostprijsverhoging van respectievelijk 5, 12 en 19%.
- Toevoeging van enzymen aan het voer resulteerde in verschillende onderzoeken in een verhoogde stikstofretentie en dus een verminderde stikstofuitscheiding. Effecten op de ammoniakemissie zijn niet gerapporteerd. De kostprijs van de voeders zal iets hoger zijn bij toepassing van enzymen. De lichte stijging van de kostprijs van het voer kan worden gecompenseerd door een verbeterde groei en voederconversie.
- Het vochtgehalte in de mest kan worden verminderd door verlaging van het ruw eiwitgehalte in voeders waaraan vrije aminozuren zijn toegevoegd, door lagere Na- en K-gehalten in het voer (bv. plantaardige eiwitrijke grondstoffen vervangen door dierlijke eiwitrijke grondstoffen) en door optimale calcium- en fosforgehalten en een optimale calcium-fosfor verhouding. Het effect van het vochtgehalte en structuur van de mest op de ammoniakemissie is niet geheel duidelijk en is niet gerapporteerd. Een voorbeeldberekening laat zien dat een verlaging van het Kaliumgehalte in vleeskuikenvoeders met 0,5 of 1,0 g/kg leidt tot een kostprijsverhoging van 3 en 7%.
- De zuurgraad van de mest kan worden beïnvloed door een hoger aandeel fermenteerbare koolhydraten op te nemen in de voersamenstelling. Een hoger aandeel fermenteerbare koolhydraten kan resulteren in een hogere productie van vluchtige vetzuren door bacteriën in de dikke darm. Echter een te hoog gehalte aan fermenteerbare koolhydraten kan leiden tot nattere mest. Bij leghennen werd een ammoniakreductie tot 50% gerapporteerd. Een voorbeeldberekening laat zien dat bij leghennen een verhoging van het NSP-gehalte van 18 en 38

g/kg leidt tot een kostprijsverhoging van respectievelijk 1 en 3%. Bij vleeskuikens leidt een verhoging van het NSP-gehalte van 9 en 19 g/kg tot een kostprijsverhoging van respectievelijk 6 en 13%. Ook kan door vervanging van een deel van de kalk door een andere verzurende Ca-bron ( $\text{CaSO}_4$  of  $\text{CaCl}_2$ ) de zuurgraad van de mest worden beïnvloed.

- Er zijn een aantal toevoegmiddelen beschikbaar die de stikstofvertering positief beïnvloeden of waarvan een urease-remmende werking uitgaat of ammoniak kunnen binden. Ammoniakreducties varieerden van 10 tot 50%. Door het gebruik van toevoegmiddelen zal de kostprijs van de voeders licht stijgen.

## 6.2 Aanbevelingen

Aanvullend onderzoek is wenselijk bij alle pluimveecategorieën om het effect van de meest perspectiefvolle voermaatregelen of combinatie van voermaatregelen op de vermindering van de ammoniakemissie nauwkeurig te meten.

De nutriëntenbehoefte van pluimvee dient regelmatig geactualiseerd te worden vanwege bijvoorbeeld genetische verandering van de dieren maar ook vanwege nieuwe huisvestingsvormen voor pluimvee. Het effect van een accurate fasenvoeding op de ammoniakemissie is onvoldoende gekwantificeerd en het is aan te bevelen om hier onderzoek naar te doen. Mogelijk kan hier ook een verdere optimalisatie van het dagelijks voeren op maat bij betrokken worden.

Tevens zijn protease enzymen op de markt die het ruw eiwit beter beschikbaar maken voor het dier. Deze enzymen kunnen in onderzoek worden opgenomen waarin voeders worden verstrekt met een verlaagd ruw eiwitgehalte.

Het is aan te bevelen nader onderzoek te doen naar de samenhang tussen de rulheid, het vochtgehalte, temperatuur en de pH van het strooisel, de structuur van de mest en de ammoniakemissie bij pluimvee. De mate waarin de afzonderlijke factoren van invloed zijn op de uitstoot van ammoniak dient vastgesteld te worden in onderzoek. Verzurende Calciumbronnen lijken perspectiefvol maar zijn naast enkele studies met leghennen nog onvoldoende bij pluimvee onderzocht. Een verhoging van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten zal ook leiden tot een lagere pH en dit biedt zeker bij leghennen perspectief om de ammoniakemissie te verlagen. Meer onderzoek bij leghennen wordt daarom aanbevolen.

Bij pluimvee neemt de microbiële activiteit af indien mest snel wordt gedroogd. Voedingsmaatregelen die leiden tot een snellere droging van de mest zullen in dat opzicht een bijdrage kunnen leveren aan de reductie van de ammoniakemissie. Min of meer onafhankelijk van het droge stofgehalte is ook variatie in structuur van de mest aanwezig. Door deze structuurverschillen zijn verschillen in specifieke vochtafgifte van de mest van 100% mogelijk. De voersamenstelling heeft naar verwachting een grote invloed op de meststructuur (Van Vuuren en Jongbloed, 1994). Van directe invloed zijn de factoren die de viscositeit en het waterbindend vermogen van de chymus bepalen en/of de wateropname van de dieren beïnvloeden. Onderzoek naar het effect van voersamenstelling op meststructuur en daarmee op specifieke vochtafgifte bij pluimvee is nog niet uitgevoerd. Allereerst dienen de factoren benoemd te worden waarmee meststructuur beïnvloed kan worden. Met name bij de toepassing van geforceerde droging van pluimveemest zou deze maatregel een significante verlaging van de ammoniakemissie tot gevolg kunnen hebben. Bij vleeskuikens zou de invloed van het vetgehalte van het voer (de vetexcretie in de mest) op de droogeigenschappen van de mest in aanmerking kunnen komen voor nader onderzoek.

Een mogelijke prioritering voor onderzoek zou kunnen zijn:

1. Verlaging van het ruw eiwitgehalte in voeders aangevuld met vrije aminozuren in combinatie met een protease bij pluimvee (onderzoek in proefstal en aansluitend op grotere schaal in praktijk)
2. Effect van verzurende Ca-bronnen op ammoniakemissie en productieprestaties bij pluimvee (onderzoek in proefstal en aansluitend op grotere schaal in praktijk)
3. Samenhang factoren zoals pH, temperatuur, vochtigheid, rulheid met ammoniakemissie bij pluimvee (onderzoek in proefstal en kan mogelijk in bovenstaande onderzoeken worden geïntegreerd)
4. Optimalisatie 'voeren op maat' bij vleespluimvee (vleeskuikens, kalkoenen, eenden) (onderzoek in proefstal en aansluitend op grotere schaal in praktijk)
5. Eiwit en aminozuurbehoefte pluimvee (onderzoek in proefstal en aansluitend op grotere schaal in praktijk)
6. Fermenteerbare koolhydraten pluimvee (onderzoek in proefstal en aansluitend op grotere schaal in praktijk)

## Referenties

- Aftab, U., M. Ashraf, Z. Jiang. 2006. Low protein diets for broilers. *World's Poultry Science Journal* 62: 688-701.
- Angel, R., W. Powers, and T. Applegate. 2008. Diet Impacts for Mitigating Air Emissions from Poultry. *Livestock Environment VIII Proceedings of the 31 August - 4 September 2008 Conference (Iguassu Falls, Brazil)*. ASABE Publication Number 701P0408
- Amon, M., M. Dobeic, R.W. Sneath, V.R. Phillips, T.H. Misselbrook, B.F. Pain. 1997. A farm-scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De-Odorase® for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. *Bioresource Technology* 61: 229-237.
- Anonymous, 2007. Evalueren van de mestuitscheidings- en mestsamenstellingscijfers voor pluimvee. Deel 1: Literatuurstudie. Proefbedrijf voor de Veehouderij en Bodenkundige Dienst van België v.z.w.
- Apata, D.F. 2008. Growth performance, nutrient digestibility and immune response of broiler chicks fed diets supplemented with a culture of *Lactobacillus bulgaricus*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88:1253-1258.
- Applegate, T., W. Powers, R. Angel, D. Hoehler. 2008. Effect of Amino Acid Formulation and Amino Acid Supplementation on Performance and Nitrogen Excretion in Turkey Toms. *Poultry Science* 87:514-520.
- Aureli, R., A.M. Klunter, F. Fru. 2010. Evaluation of the effects of a protease combined with a phytase on growth performance, phosphorus and nutrient utilization of broiler chicks fed a low phosphorus basal diet. *Proceedings of the XIIIth European Poultry Conference, 23-27 August, Tours, France: pp. 405 (abstr.)*.
- Berres, J., S.L. Vieira, W.A. Dozier, M.E.M. Cortês, R. de Barros, E.T. Nogueira, M. Kutschenko. 2010. *Journal of Applied Poultry Research* 19: 68-79.
- Blair, E.C., H.M. Allen, S.E. Brooks, J.D. Firman, D.H. Robbins, K. Nishimura, H. Ishimaru. 2004. Effects of Calsporin® on turkey performance, carcass yield and nitrogen reduction. *International Journal of Poultry Science* 3: 75-79.
- Bregendahl, K., J.L. Sell, D.R. Zimmerman. 2002. Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poultry Science* 81: 1156-1167.
- Bregendahl, K., S. Roberts. 2006. Nutritional strategies to reduce ammonia emissions from laying hens. *Midwest Poultry Federation Convention, March 21-23, St. Paul, MN*.
- Canh, T.T., M.W.A. Verstegen, A.J.A. Aarnink, J.W. Schrama. 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *Journal of Animal Science* 75: 700-706.
- Chang, M.H., T.C. Chen. 2003. Reduction of broiler house malodour by direct feeding of a lactobacilli containing probiotic. *International Journal of Poultry Science* 2(5):313-317.
- Cauwenberghe, S. van, D. Burnham. 2001. New developments in amino acid and protein nutrition of poultry, as related to optimal performance and reduced nitrogen excretion. 13<sup>th</sup> European Symposium on Poultry Nutrition. October 2001. Blankenberge, Belgium.
- Cowieson, A.J., O. Adeola. 2005. Carbohydrases, protease, and phytase have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks. *Poultry Science* 84: 1860-1867.
- De Buissonjé, F.E., J.A. Getkate, H. Enting. 1996. Effect van eiwitgehalte en eiwitsamenstelling in afmestvoer van eenden. *Praktijkonderzoek* 96/4 pp. 29-32. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Delezie, E., L. Maertens, G. Huyghebaert, M. Lippens. 2009. Can choice feeding improve performance and N-retention of broilers compared to a standard three-phase feeding schedule? *British Poultry Science* 50: 573-582.
- Dobeic, M. 1997. Influence of clinoptilolite and De-Odorase on reducing of odour and ammonia emissions from poultry and pig production. *Zbornik Veterinarske Fakultete Univerza Ljubljana* 34(2):205-215.
- Dozier, W.A., M.T. Kidd, A. Corzo, P.R. Owens, S.L. Branton. 2008. Live performance and environmental impact of broiler chickens fed diets varying in amino acids and phytases. *Animal Feed Science and Technology* 141: 92-103.
- Ellen, H.H., J. van Harn, T. Veldkamp. 2005. Inventarisatie mogelijkheden reductie ammoniakemissie uit vleeskuikenstallen. *PraktijkRapport Pluimvee* 16. Wageningen UR Animal Sciences Group.
- Elwinger, K., L. Svensson. 1996. Effect of dietary protein content, litter and drinker type on ammonia emission from broiler houses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 63(3):197-208.

- Ferguson, N.S., R.S. Gates, J.L. Taraba, A.H. Cantor, A.J. Pescatore, M.J. Ford, D.J. Burnham. 1998a. The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration, and litter composition in broilers. *Poultry Science* 77:1481–1487.
- Ferguson, N.S., R.S. Gates, J.L. Taraba, A.H. Cantor, A.J. Pescatore, M.L. Straw, M.J. Ford, D.J. Burnham. 1998b. The effects of dietary protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers. *Poultry Science* 77:1085-1093.
- Ferket, P.R., E. van Heugten, T.A.T.G. van Kempen, R. Angel. 2002. Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. *Journal of Animal Science* 80 (Suppl. 2) 168-182.
- Fuller, R. 1989. Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology* 66: 365-78.
- Gates, R.S., A.J. Pescatore, J. Taraba, A.H. Cantor, K. Liberty, M.J. Ford, D.J. Burnham. 2000. Dietary manipulation of crude protein and amino acids for reduced ammonia emission from broiler litter. ASAE Annual International Meeting. 9-12 July 2000 Milwaukee, Wisconsin, USA. pp. 1-16.
- Ghazi, S, J.A. Rooke, H. Galbraith. 2003. Improvement of the nutritive value of soybean meal by protease and  $\alpha$ -galactosidase treatment in broiler cockerels and broiler chicks. *British Poultry Science* 44: 410-418.
- Groot Koerkamp, P.W.G., J.H. van Middelkoop, E. Evers. 2000. Ammoniakemissie vleeskuikenstallen toegenomen. *Pluimveehouderij* (30)21:10-11.
- Gutierrez, O., N. Surbakti, A. Haq, J.B. Carey, C.A. Bailey. 2008. Effect of continuous multiphase feeding schedules on nitrogen excretion and broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research* 17: 463-470.
- Hale E.C. 2005. Reduction of ammonia emission and phosphorus excretion in laying hen manure through feed manipulation. Symposium State of the Science: Animal Manure and Waste Management, San Antonio, Texas.
- Haan, B.J., de, J. Kros, R. Bobbink, J.A. van Jaarsveld, W. de Vries, H. Noordijk 2008. Ammoniak in Nederland, publ.nr. 500125003, PBL, juni 2008.
- Harn, J. van, J.H. van Middelkoop. 1996. Invloed van eiwitverlaging in voer op resultaten en stikstofuitscheiding bij vleeskuikens. *Praktijkonderzoek* 96/2.
- Harn, J. van, T. Veldkamp. 2005. Beperken van voetzoolaandoeningen door dynamisch voeren. Sectormiddag vleeskuikenhouderij. *Praktijkonderzoek*, ASG, Wageningen UR.
- Harn, J. van, T. Veldkamp. 2006. ASG-onderzoek met 'voeren op maat' – soms beter, soms slechter. *Pluimveehouderij* 36, 11 februari: 16-18.
- Holsheimer, J.P., J.B. Schutte, E.W. Ruesink. J. de Jong. 1993. Eiwitverlaging van vleeskuikenvoeders in relatie tot N-excretie. *In: Stikstof en fosfor in de voeding van éénmagige landbouwhuisdieren in relatie tot de milieuproblematiek. Kwaliteitsreeks nr. 25. VVR, Den Haag.*
- Hörnig, G., R. Brunsch. 2000. Effect of an algal additive on the reduction of ammonia emission from broiler house. *EurAgEng. Paper number:00-AP-037.*
- Kerr, B.J., 1995. Nutritional strategies for waste reduction management. In: Longenecker, J.B., Spears, I.W. (Eds.), *Nitrogen. New Horizons in Animal Nutrition and Health. The Institution of Nutrition of the University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA*, pp. 47–68.
- Keshavarz, K., R.E. Austic. 2004. The use of low-protein, low-phosphorus, amino acid- and phytase-supplemented diets on laying hen performance and nitrogen and phosphorus excretion. *Poultry Science* 83:75-83.
- Kim, W.K., C.A. Froelich, P.H. Patterson, S.C. Ricke. 2006. The potential to reduce poultry nitrogen emissions with dietary methionine or methionine analogues supplementation. *World's Poultry Science Journal* (62)2: 338-353.
- Krogdahl A, B. Dalsgard. 1981. Estimation of nitrogen digestibility in poultry: content and distribution of major urinary nitrogen compounds in excreta. *Poultry Science* 60(11):2480-5.
- Lee, S.J., S.W. Choi, H. Namkung, I.K. Paik. 2000. Effect of dietary protein and feed additives on ammonia gas emission in broiler house. *Korean Journal of Animal Science* 42(3):299-314.
- Levrouw, L., A. Wegereef, en A. Aarnink. 2006. Startnotitie voor opname van veevital in de regeling ammoniak en veehouderij (rav). *Animal Sciences Group, Lelystad.*
- Lopez, G., S. Leeson. 1995a. Response of broiler breeders to low-protein diets. 1. Adult breeder performance. *Poultry Science* 74: 685-695.
- Lopez, G., S. Leeson. 1995b. Nitrogen content of manure from older broiler breeders fed varying quantities of crude protein. *Journal of Applied Poultry Research* 4: 390-394.
- Lora, A., H.S. Rostagno, L.F.T. Albino, G. Lora, G.R. Lelis, C.G. Borsatto. 2008. Nutritional strategies to reduce nutrient excretion in broilers. *Livestock Environment VIII -Proceedings of the 8<sup>th</sup> international symposium, 31 August – 4 September, Iguassu Falls, Brazil: pp. 319-324.*



- Lozano, M.C.L., M.V.Z.L. Tlacomulco. 1997. The effects of the *Yucca schidigera* extract on poultry farms. Mexicali, B.C. Mayo.
- Manangi, M.K., J.S. Sands, C.N. Coon. 2009. Effect of phytase on ileal amino acid digestibility, nitrogen retention and AMEn for broilers fed diets containing low and high phytate phosphorus. *International Journal of Poultry Science* 8: 929-938.
- Mitran, L., J.M. Harter-Dennis, J.J. Meisinger. 2008. Determining the nitrogen budget and total ammoniacal nitrogen emissions from commercial broilers grown in environmental chambers. *Journal of Applied Poultry Research* 17: 34-46.
- Murakami, A.E., E.O. Oviedo-Rondón, E.N. Martins, M.S. Pereira, C. Scapinello. 2001. Sodium and chloride requirements of growing broiler chickens (twenty-one to forty-two days of age) fed corn-soybean diets. *Poultry Science* 80: 289-294.
- Nahm, K.H. 2002. Efficient feed nutrient utilization to reduce pollutants in poultry and swine manure. *Critical Reviews in Environment Science and Technology* 32(1):1-16.
- Nahm, K.H. 2007. Feed formulation to reduce N excretion and ammonia emission from poultry manure. *Bioresource Technology* 98: 2282-2300.
- Namroud, N.F., M. Shivazad, M. Zaghari. 2008. Effects of fortifying low crude protein diet with crystalline amino acids on performance, blood ammonia level, and excreta characteristics of broiler chicks. *Poultry Science* 87: 2250-2258.
- National Research Council. 1994.
- Olukosi, O.A., A.J. Cowieson, O. Adeola. 2007. Age-related influence of a cocktail of xylanase, amylase, and protease or phytase individually or in combination in broilers. *Poultry Science* 86: 77-86.
- Oviedo-Rondón, E.O., A.E. Murakami, A.C. Furlan, I. Moreira, M. Macari. 2001. Sodium and chloride requirements of young broiler chickens fed corn-soybean diets (one to twenty-one days of age). *Poultry Science* 80: 592-598.
- Park, J.H., M.S. Ryu, S.H. Kim, C.S. Na, J.S. Kim, K.S. Ryu. 2003. Influence of supplemental dietary yeast culture on the noxious gas emission in broiler houses and performance of broiler chicks. *Journal of Animal Science and Technology* 45(1):41-48.
- Parks, C.W., P.R. Ferket, L.N. Thomas, J. Grimes. 1996. Carcass yield and N balance of turkey toms fed high and low crude protein diets supplemented with menefee humate. *Poultry Science* 75 (Suppl. 1): 116 (Abstr.).
- Pirgozliev, V., O. Oduguwa, T. Acamovic, M.R. Bedford. 2008. Effects of dietary phytases on performance and nutrient metabolism in chickens. *British Poultry Science* 49: 144-154.
- Pirgozliev, V., T. Acamovic, M.R. Bedford. 2009. Previous exposure to dietary phytases reduces the endogenous energy losses from precision-fed chickens. *British Poultry Science* 50: 598-605.
- Pope, T., L.N. Loupe, P.B. Pillai, J.L. Emmert. 2004. Growth performance and nitrogen excretion of broilers using a phase-feeding approach from twenty-one to sixty-three days of age. *Poultry Science* 83: 676-682.
- Ravindran, V., A.J. Cowieson, P.H. Selle. 2008. Influence of dietary electrolyte balance and microbial phytase on growth performance, nutrient utilization, and excreta quality of broiler chickens. *Poultry Science* 87: 677-688.
- Roberts, S.A., H. Xin, B.J. Kerr, J.R. Russell, K. Bregendahl. 2007. Effects of dietary fiber and crude protein on ammonia emission from laying-hen manure. *Poultry Science* 86: 1625-1632.
- Santoso, U. S. Ohtani, K. Tanaka, M. Sakaida. 1999. Dried *Bacillus subtilis* culture reduced ammonia gas release in poultry house. *Asian Journal of Animal Sciences* 12(5):806-809.
- Sasidhar, P.V.K. 2006. Poultry research priorities to 2020. Proceedings of National Seminar, 2-3 November, Central Avian Research Institute, Izatnagar-243 122, India.
- Schutte, J.B., J. de Jong, G.J.M. van Kempen. 1993. Dietary protein in relation to requirement and pollution in pigs during the body weight range of 20-40 kg. Pages 259-263 *In: Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*. Ed. M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen, J.H.M. Metz. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Schutte, J.B., and S. Tamminga, 1992. Nutritional measurements to reduce nitrogen and phosphorus excretion by poultry, pigs and cattle [In Dutch]. Report no. I 92-3792b. Institute of Feeding and Physiology of Farm Animals, Wageningen, The Netherlands.
- Selle, P.H., V. Ravindran, G.G. Partridge. 2009. Beneficial effects of xylanase and/or phytase inclusions on ileal amino acid digestibility, energy utilisation, mineral retention and growth performance in wheat-based broiler diets. *Animal Feed Science and Technology* 153: 303-313.

- Smith, A., S.P. Rose, R.G. Wells, V. Pirgozliev. 2000. Effect of excess dietary sodium, potassium, calcium and phosphorus on excreta moisture of laying hens. *British Poultry Science* 41: 598–607.
- Stappers, H.P., A.H.M. Grimbergen. 1983. De invloed van Na, K en tapioca op de wateropname van slachtkuikens en het vochtgehalte van de mest. Proefverslag 187, Schothorst Feed Research.
- Van der Klis, J.D. 2010. Influence of nutrient imbalances on litter composition and its impact on welfare and the environment. *Poultry Beyond 2015, 4th International Broiler Nutritionists' Conference*, 11-16 April, Christchurch, New Zealand: pp. 212-221.
- van Heugten, E., T. van Kempen. 2000. Understanding and applying nutrition concepts to reduce nutrient excretion in swine. AG-608. North Carolina Coop. Ext. Serv., North Carolina State Univ., Raleigh.
- Veens, T., H. Namkung, S. Leeson. 2009. Limits to protein in layer diets relative to mitigating ammonia emission. *Avian Biology Research* 2: 143-150.
- Veldman, A., H. Enting. 1997. De invloed van fysisch-chemische factoren op de droging van leghennenmest. Proefverslag 462, Schothorst Feed Research.
- Veldman, A., H. Enting, D. Dijkshoorn. 1999. De invloed van grondstoffen op de droging van leghennenmest. Proefverslag 516, Schothorst Feed Research.
- Vieira, S.L., I.L. Lima. 2005. Live performance, water intake and excreta characteristics of broilers fed all vegetable diets based on corn and soybean meal. *International Journal of Poultry Science* 4: 365-368.
- Visek, W.J. 1978. The mode of growth promotion by antibiotics. *Journal of Animal Science* 46:1447-1469.
- Vuuren, A.M. van, A.W. Jongbloed. De rol van veevoedingsmaatregelen bij de beperking van de ammoniakemissie uit stallen. Raamplan. Rapport ID-DLO (IVVO) no. 272. Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Lelystad, The Netherlands.
- Wegereef, A., J. Baan, A. Aarnink, en C. Peet-Schwering. 2007. Startnotitie voor opname van het eiwitgehalte in varkensvoer in de regeling ammoniak en veehouderij (rav). Animal Sciences Group, Lelystad.
- Wu-Haan, W., W.J. Powers, C.R. Angel, C.E. Hale, T.J. Applegate. 2007. Effect of an acidifying diet combined with zeolite and slight protein reduction on air emissions from laying hens of different ages. *Poultry Science* 86: 182-190.
- Yeo, J., K.I. Kim. 1997. Effect of feeding diets containing an antibiotic, a probiotic, or yucca extract on growth and intestinal urease activity in broiler chicks. *Poultry Science* 76: 381-385.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)