

OMZIEN IN VERWONDERING

door prof.dr.ir. S. Tamminga

Hoogleraar Diervoeding



WAGENINGEN UNIVERSITEIT

WAGENINGEN UR

Afscheidscollege, uitgesproken op 8 september 2005 in
de Aula van Wageningen Universiteit

Omzien in verwondering

Inleiding

Mijnheer de rector, dames en heren,
Dit verhaal gaat over mijn wetenschappelijke en andere lotgevallen van de afgelopen 20 jaar in de wondere wereld van Wageningen Universiteit.

En ik vat de koe maar meteen bij de horens, want daar gaat de essentie van het verhaal over. Om te beginnen een kleine anekdote. Toen ik mijn vrouw Nelly leerde kennen was ze erg verbaasd te horen dat aan het voeren van koeien wetenschap te pas kwam. Koeien aten gras en daarmee was voor haar de kous af. Dat je op een onderwerp als diervoeding tot doctor kon promoveren en zelfs hoogleraar kon worden ging haar voorstellingsvermogen ver te boven. Het kan zijn dat er onder u ook mensen zijn die er zo over denken. Een oud-collega heeft jaren geleden eens gezegd dat sommige vakgroepen uitonderzocht waren en hij noemde Veevoeding als voorbeeld. Die uitspraak hebben collega Verstegen en ik met graagte opgepakt door sinds die uitspraak bijna honderd wetenschappelijke promoties af te ronden, waarvan dertig op het gebied van de voeding van koeien en andere herkauwers. En er zitten nog voldoende in de pijplijn om die barrière van honderd ruimschoots te overtreffen. Niks uitonderzocht, dus.

Maar, terug naar de koe. Wat is daar zo bijzonder aan dat ik er in verwondering naar om zie? U hebt waarschijnlijk allemaal op school geleerd dat een koe 4 magen heeft, een pens, een netmaag, een boekmaag en een lebmaag. En vanmiddag wil ik met u de wondere wereld van een koeienpens eens wat nader bekijken. De pens is een gistingvat of fer-

mentatievat dat de koe bij zich draagt. Ik noem het wel eens een zich zelf voortbewegende fermentor, waar een koe omheen zit. Aan de voorkant van het vat zit een invoer waardoor voer en speeksel binnen komen. Aan de achterkant zit een uitvoer, een overloop, die voorkomt dat de zaak vastloopt. Bij een volwassen koe heeft de pens een inhoud van 100 tot 120 liter. Het bijzondere van de pens is dat er miljarden bacteriën in wonen en werken. Die bacteriën helpen de koe door het voer voor te bewerken zodat de koe het kan benutten. Dat voorbewerken heet fermentatie. De fermentatie levert halffabrikaten waaruit de koe melk maakt. De mens op haar beurt bereidt daar weer voedzame en leukere hapjes uit zoals boter, kaas, geen eieren en allerlei andere zuivelproducten zoals karnemelk, yoghurt, vlaflips en nog veel meer.

We weten al heel lang dat de pens niet voor niets in de koe hangt en dat allerlei voeders die voor mens, varken en kip niet of minder geschikt zijn, door een koe met graagte worden gegeten en omgezet in melk en vlees. Op die manier worden veel restproducten, bijvoorbeeld uit de voedingsindustrie, tot waarde gebracht. Dat bracht mijn eerste baas, Freerk de Boer, al in 1975 tot de uitspraak "Van wat de mens niet lust of smaakt wordt door het vee iets goeds gemaakt". Tegenwoordig heet dat geloof ik Biobased Economy of groene technologie.

Omzettingen waarin bacteriën een rol spelen, komen heel vaak voor, dus zo bijzonder lijkt dat op het eerste gezicht niet. U hoeft de televisie reclame maar te volgen om te horen en te zien hoe belangrijk bacteriën zijn voor het veraangenamen van het leven van de mens. Zelfs een goede stoelgang is tegenwoordig gebaat bij de juiste bacteriën. Alle reden om ook de rol van de bacteriën in de pens eens nader te bekijken.

Voorspel

In de laatste 20 jaar heeft de Nederlandse melkveehouderij zich opmerkelijk, zeg maar gerust stormachtig, ontwikkeld. De melkplas in Nederland is in 1986 door het invoeren van een quotering aan banden gelegd. Als reactie daarop gingen de Nederlandse veehouders hun plas vol melken met minder koeien en is de productie per koe sterk gestegen. Ook is het aantal koeien per bedrijf sterk toegenomen en in de huisvesting zijn aanbindstallen vervangen door ligboxenstallen. Langzaam maar zeker drong ook het besef door dat het in hoge dichtheden houden van vee, niet zonder risico is voor het milieu. Veehouderij gaat namelijk gepaard met het verlies van aanzienlijke hoeveelheden stikstof (N), fosfor (P) en de broeikasgassen ammoniak (NH_3), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O). Bij melkvee lag de oorzaak van die milieu belasting voor een deel in het niet goed begrijpen van de penswerking. Veel van deze ontwikkelingen stelden hogere eisen aan de voeding. Vooral het begrijpen en optimaliseren van de penswerking werd belangrijk. Dit onderzoek kreeg daardoor een nieuwe impuls.

Bedreigingen

En dan nu de pens, dat fermentatievat. Het eerste wapenfeit waar ik de aandacht op wil vestigen is dat er in de pens van één koe meer bacteriën zwemmen dan er mensen op aarde leven. Ongeveer een biljoen, dat is een 1 met twaalf nullen. Behalve door bacteriën wordt de pens bevolkt door ééncellige roofdiertjes, de protozoën, en soms komen er in de pens ook nog schimmels voor. Dat zijn allemaal micro-organismen, kortweg microben. En in deze micro wereld is het ook niet altijd pais en vree.

De bacteriën handhaven zich in de pens door voer af te breken en wat belangrijker is, zich te vermenigvuldigen en te groeien, d.w.z. biomassa te vormen. In de pens leiden de bacteriën echter niet bepaald een rustig bestaan. Om te beginnen dreigen ze voortdurend uit de pens te worden gespoeld. De 120 liter pensinhoud bestaat voor ongeveer 100 liter uit vloeistof en daar wordt per dag nog eens 250 liter speeksel overheen gekieperd. Die 250 liter moet er ook weer uit, dus de pens wordt voortdurend doorgespoeld of zo u wilt, ververs. Echter, tijdens dat verversen spoelen de bacteriën mee uit. Van elke drie bacteriën weten twee zich vast te klampen aan voerdeeltjes, maar dat is uitstel van executie, want die voerdeeltjes spoelen vroeger of later ook de pens uit. Maar er dreigt voor de bacteriën nog een ander gevaar. De protozoën, zeg maar de grote broers van de bacteriën, maken jacht op bacteriën en peuzelen er grote aantallen van op. Protozoën gedragen zich dus als roofdieren. Predatie heet dat. Om aan de dreigingen van uitspoeling en predatie het hoofd te bieden moeten de bacteriën dus minstens zo snel delen en groeien dan ze worden uitgespoeld of opgevreten.

Voor de koe is het uitspoelen en verversen van de pensinhoud echter van levensbelang. De door de bacteriën gevormde biomassa wordt samen met niet verteerde voerresten afgevoerd naar de lebmaag en de dunne darm. Daar zijn de bacteriën voor de koe een belangrijke bron van voedingsstoffen, vooral eiwit.

Groei van pensbacteriën

De activiteit van de bacteriën in de pens veroorzaakt een forse herverdeling van de soorten voedingsstoffen in het voer. Een deel van het voer wordt afgebroken, een ander

deel wordt omgezet in microbiële biomassa en er ontsnapt ook nog een deel aan de afbraak. De vorming van biomassa, dus de groei van bacteriën, is hierbij van groot belang, maar ook uitermate gecompliceerd.

Groei betekent voor bacteriën het maken van microbiële massa. Die massa bestaat uit eiwit, nucleïne-zuren, koolhydraten en vetten. Dat zijn ingewikkelde verbindingen en om die te kunnen fabriceren hebben de bacteriën niet alleen de juiste bouwstenen, maar ook energie, zeg maar brandstof, nodig. Zowel bouwstenen als brandstof halen de bacteriën uit het voer. Nu is de pens een anaëroob systeem. Dat houdt in dat er geen zuurstof (O_2) beschikbaar is om het door de koe aangereikte voer volledig te verbranden. Door dat gebrek aan zuurstof wordt maar een deel van het voer in de pens afgebroken. En dat is maar goed ook, want als het wel volledig zou verbranden had de koe er niets meer aan. De niet verbrande resten zijn de vluchtige vetzuren, azijnzuur, propionzuur en boterzuur en het fermentatiegas methaan. Voor de bacteriën zijn dat allemaal afvalproducten, maar voor de koe is alleen methaan afval. Dat rispt ze op en het verdwijnt in de atmosfeer. Niet dat we daar zo blij mee zijn want methaan stimuleert in de atmosfeer het broeikas effect. Maar alles heeft zo zijn prijs.

De vluchtige vetzuren zijn voor de koe waardevolle voedingsstoffen. Vanuit de pens worden ze direct in het bloed opgenomen en in haar weefsels en organen gebruikt de koe ze als bouwstenen of als brandstof. Bij het afbreken van het voer in vluchtige vetzuren komt er energie vrij die door de bacteriën tijdelijk wordt opgeslagen in een biologische vorm, namelijk als Adenosine-tri-fosfaat, kortweg ATP. Omdat er in de pens geen zuurstof is, wordt er maar weinig ATP gemaakt, maar ongeveer 10% van wat er bij aanwezigheid van zuurstof vrijgemaakt kan worden. Voor de bac-

teriën is het dus zaak om met die kleine hoeveelheid ATP een zo groot mogelijk deel van het voer om te zetten in microbiële massa. Maar ook pensbacteriën zijn liever lui dan moe en als ze iets snel en gemakkelijk kunnen krijgen gaan ze er slordiger mee om. Dus bij een snelle afbraak van het voer komt er vaak nog minder ATP vrij. Bovendien is een deel van de ATP die beschikbaar komt nodig om de cellen van de bacteriën in tact en op orde te houden. Dat deel noemen we energie voor onderhoud. Russell & Strobel (1993), twee Amerikaanse onderzoekers, vergelijken dit met de overhead in een onderneming. Zoals we allen weten mag die overhead niet te hoog worden. Soms wordt er meer ATP gemaakt dan de bacteriën kunnen gebruiken, bijvoorbeeld omdat de bouwstenen die de bacteriën nodig hebben op dat moment niet in de juiste verhouding beschikbaar komen. De overtollige ATP wordt dan weer afgebroken en omgezet in warmte. Dan gaat het dus ook verloren. Nog een vorm van overhead. Dat proces noemen we "energy spilling" en het is te vergelijken met gas geven bij een stilstaande auto in plaats van de motor stationair te laten draaien of nog liever af te zetten. Voordeel is dat de auto sneller kan optrekken. Dit sneller van start gaan geldt wellicht ook voor de bacteriën in de pens en kan een verklaring zijn voor het fenomeen "energy spilling".

Naast afbraak tot vluchtige vezuren wordt een deel van het voer omgezet in microbiële massa en ook dat is voor de koe een bron van waardevolle voedingsstoffen. Op dit punt verschilt de pensfermentatie met veel industriële toepassingen van fermentatie, bijvoorbeeld het maken van bier, wijn of zuurkool. Bij die industriële fermentaties gaat het vaak vooral om de afvalproducten zoals alcohol in bier of wijn of melkzuur in zuurkool of yoghurt.

Bacteriën planten zich voort door zich te delen. De groei

van bacteriën verloopt volgens een nogal karakteristiek patroon. Als een koe vreet is ze eigenlijk bezig de bacteriën te voeden. Meestal duurt het dan een tijdje voor de bacteriën zich volop aan het nieuwe voedsel tegoed kunnen doen. Het kan zijn dat ze zich eerst aan het voedsel vast moeten hechten of dat ze eerst de juiste enzymen moeten maken. Deze beginfase wordt gevolgd door een fase van exponentiële groei, dat wil zeggen dat ze zich regelmatig en snel delen en de hele populatie neemt zowel in aantal als in massa exponentieel toe. Dan kan inderdaad heel snel, want sommige bacteriesoorten hebben maar 10 minuten nodig om zich te delen. In 3 uur tijd kan hun aantal dan toenemen van 1 tot ruim 260000. Na deze exponentiële groeifase ontstaat er een evenwicht waarin er net zo veel bacteriën verdwijnen als er nieuwe bijkomen. De bacteriën komen in een wat rustiger vaarwater en er treedt een stationaire fase in. Echter, na verloop van tijd raakt het voedsel in de pens op en ontstaat er dus in de pens hongersnood. Veel bacteriën sterven af en er treedt verval op van de populatie. Als de koe dan weer gaat vreten en er nieuw voedsel arriveert, begint de hele cyclus opnieuw.

De bacteriën in de pens gedijen dus het best als ze doorlopend gevoerd worden. Dan blijft de populatie namelijk in de stationaire fase en in evenwicht. Maar van een koe vragen dat ze 24 uur per dag vreet is een beetje te veel van het goede. Maar daar heeft de koe het volgende op gevonden. Ze wisselt vreten af met herkauwen. Bij het vreten komt direct ongeveer de helft van het voer voor de bacteriën beschikbaar. De andere helft blijft voorlopig opgesloten in de voerdeeltjes. Tijdens herkauwen wordt het voer verder verkleind en komt de rest ook voor de bacteriën beschikbaar. Herkauwen stimuleert bovendien de secretie van speeksel en dat is goed voor de doorstroming. En dat is goed voor

de koe, want dat spoelt de bacteriën door. Bovendien buffert het de pensinhoud en dat is weer goed voor de bacteriën. Met vreten en herkauwen kan een koe wel tot 16 van de 24 uur en verdeeld over het etmaal, zoet zijn. De essentie van het voeren van koeien is dus een grote en liefst constante voeropname, een snelle en constante groei van de bacteriën, en een snelle en constante afvoer van de eindproducten.

Een deel van het voer ontsnapt aan afbraak in de pens en dat wordt samen met de gevormde bacteriële massa afgevoerd naar de darm. Tijdens afvoer naar de darm worden de bacteriën in de lebmaag afgedood en nemen de eigen verteeringsenzymen van de koe het werk van de bacteriën over. Ook de vertering van aan afbraak ontsnapt voer en de vertering van bacteriën levert de koe voedingsstoffen op. Wat de eigen verteringsenzymen van de koe niet of niet snel genoeg kunnen verteren wordt uiteindelijk met de mest weer uitgescheiden.

De bacteriën leveren andere voedingsstoffen aan de koe dan de vluchtige vetzuren. Het voer dat aan afbraak in de pens ontsnapt, en in de dunne darm wordt verteerd, levert weer andere voedingsstoffen. Om een rantsoen op basis van voedingsstoffen te kunnen balanceren of optimaliseren moeten we dus weten welk deel van het voer aan afbraak ontsnapt en hoeveel en in welke verhouding vluchtige vetzuren en bacteriën voor de koe beschikbaar komen.

De dynamiek

Om de bacteriën in de pens in de gewenste richting te kunnen sturen moeten we de dynamiek van de penswerking kennen. Het rantsoen dat we een koe voor schotelen is nogal heterogeen van structuur. Wil de pens goed kunnen

functioneren, dan moet een kwart tot een derde van het voer bestaan uit lang ruwvoer, zeg hooi of kuil. Deze heterogeniteit vinden we terug in de pensinhoud. Pensinhoud is dus niet een homogene massa, maar een systeem met meerdere fasen dat bestaat uit lange voerdeeltjes, korte voerdeeltjes, bacteriën en veel vloeistof. Het systeem bestaat uit meerdere lagen. Onderin vinden we vooral vloeistof met daarin opgelost of zwevend kleine voerdeeltjes en bacteriën. De bacteriën zijn vastgehecht aan voerdeeltjes, of bewegen zich vrij in de vloeistof. Hier bovenop een laag van drijvende lange voerdeeltjes, bijvoorbeeld gras of hooi. Dit noemen we de structuurlaag. Door herkauwen worden lange voerdeeltjes in de loop van de tijd omgezet in kleine voerdeeltjes. Bovenop de structuurlaag bevindt zich nog een gaslaag met onder andere methaan. Alle vier de fasen hebben echter hun eigen dynamiek.

In simpele termen moeten we ons elke fase in de pens voorstellen als een reservoir met een omvang, een aanvoer en een afvoer. De aanvoer naar de pens is de opname van voer door de koe, een niet continu proces. Door herkauwen wordt de periode waarin de bacteriën worden gevoederd weliswaar verlengd, maar helemaal continu wordt die niet. De afvoer uit het reservoir gebeurt op verschillende manieren. De vluchtige vetzuren worden door absorptie naar het bloed weggewerkt en het niet verteerde voer en bacteriën worden afgevoerd naar de darm. Het gas dat zich boven in de pens ophoopt wordt weggewerkt door een ingenieus systeem dat we oprispen noemen. In de volksmond heet dit ook wel boeren. De afvoer gaat wel continu, maar de snelheid kan zich in de loop van de tijd wijzigen. Aanvoer en afvoer worden dus op een verschillende manier geregeld. Ze zijn zelden met elkaar in evenwicht en het reservoir moet door in omvang te veranderen het verschil opvangen. De

dynamiek zit dus in de voortdurende veranderingen. Zowel aan- als afvoer geven we weer met een snelheid. In het dagelijkse leven drukken we een snelheid vaak uit in een gewicht per tijdseenheid, in grammen per uur of kilogrammen per dag. In het geval van de afvoer uit de pens doen we dat anders. Hier drukken we de snelheid uit als fractie van wat er op elk moment in het reservoir in de pens aanwezig is. Dit noemen we de fractionele verdwijnsnelheid. In de biologie kan het verloop van heel veel processen volgens het principe van een fractionele snelheid worden beschreven. *Die is dus niet afhankelijk van de omvang van het reservoir en de inhoud van de pens wordt dus een aantal malen per tijdseenheid (dag, uur) verwerkt, omgezet of ververst.* Vaak drukken we dat uit in een percentage per uur.

In de pens breken de pensbacteriën de voerdeeltjes ook af met een fractionele snelheid. De mate van afbraak is echter ook afhankelijk van de tijd die de bacteriën krijgen om het voer af te breken, dus de verblijftijd van de voerdeeltjes in de pens. Deze tijd wordt berekend uit de reciproke d.w.z. 1 gedeeld door de verdwijnsnelheid. De vloeistof in de pens wordt ververst door de aanvoer van speeksel, terwijl de drijvende kracht voor het wegwerken van kleine voerdeeltjes vooral het door de koe opnemen van nieuw voer is. De aandrijfmechanismen verschillen dus en mede daardoor verschilt ook de snelheid van uitvloeien van de diverse fasen. Volgens onderzoek op onze leerstoelgroep (Pellikaan, 2004) wordt van de vloeistof en de daarin opgeloste voedingsstoffen ieder uur 10-20 % ververst. Lange voerdeeltjes verlaten de pens nauwelijks en van de zwevende massa aan kleine voerdeeltjes verlaat, afhankelijk van hun soortelijke gewicht, 2-6% per uur de pens. Het passagepatroon van de pensbacteriën volgt, afhankelijk van tot welke groep ze behoren, die van de vloeistof of die van de kleine voerdeeltjes.

Protozoën blijven, zoals we later zullen zien, selectief achter en slechts een klein percentage verlaat de pens. Uit de combinatie van de snelheden van afbraak en verversing of passage kunnen we een schatting maken van de mate van afbraak

De aanvoer naar de pens regelt de koe in principe zelf. Via koe en voeding proberen we daar wel invloed op uit te oefenen. Een paar goede eigenschappen van de moderne goede koe zijn volgens mensen van het Praktijkonderzoek "een bek als een opraapwagen en een pens als een bunkersilo". Die eigenschappen moeten we uitbuiten en daarom zorgen we er tegenwoordig voor dat er op ieder moment van de dag (of nacht) voldoende voer klaar ligt. Dit is anders dan vroeger, toen de koeien vaak maar 2 maal per dag werden gevoerd. Ook krijgen de koeien tegenwoordig het voer dat ze wordt aangeboden vaak al volledig gemengd. Dit is van belang voor een goede groei en productie van de bacteriën. Als de koe maar vaak eet blijven de bacteriën in een stationaire groeifase. Als bovendien alle voor de bacteriën noodzakelijke groeistoffen op elk moment in het rantsoen van de koe (en dus ook in dat van de bacteriën) zitten zal ook de "energy spilling" wel mee vallen.

Als de afbraak en het doorschuiven van het voer in de pens te langzaam gaat duurt het te lang voor er in de pens ruimte is voor nieuw voer. Er treedt dan filevorming op en opname en verwerking van voer door de koe stagneren. Als echter de afbraak van het voer te snel gaat wordt het zo snel omgezet in vluchtige vetzuren dat de inhoud van de pens verzuurt met voor bacteriën en koe ongunstige gevolgen. Die verzuring wordt uitgedrukt in de zuurgraad of pH. Veel pensbacteriën gedijen niet goed bij een lage pH en ook dat vertraagt na verloop van tijd de afbraak van het voer en dus de groei van de bacteriën. Soms komt de afbraak helemaal

tot stilstand en dan vreet de koe ook niet meer. Het is dus een balanceren tussen uitersten. Om tussen die uitersten de juiste voedingskoers te houden moeten we de eigenschappen en het gedrag van alle voerbestanddelen in de pens goed kennen. Het uitstippelen van de juiste koers noemen we optimalisatie van de pensfermentatie. En daarmee komen we bij het voer.

Het voer

Eiwit

De hele dynamiek van de pens bezorgt de bacteriën dus de nodige hoofdbreken, maar welke rol spelen voersoort en voersamenstelling? Hoe gaan de pensbacteriën daar mee om? Het onderzoek naar de pensfermentatie richtte zich in eerste instantie op wat er met het eiwit in het voer gebeurde. Voereiwit, dat is opgebouwd uit aminozuren, wordt door de bacteriën in de pens afgebroken. Eerst in aminozuren, maar dat levert ze geen ATP. Daar kunnen de bacteriën dus niet van leven, laat staan van groeien. Het verder afbreken van de vrijgemaakte aminozuren levert de bacteriën nog wel wat ATP op, dus de aminozuren worden verder afgebroken, ook tot vluchtige vetzuren. Bij de afbraak van aminozuren wordt ook ammoniak gevormd. De koe kan daar niets mee, en na een aantal omzettingen wordt het als stikstof (N) uitgeplast en belast dan het milieu. Tussen voeders varieert de snelheid waarmee en de mate waarin eiwit en aminozuren worden afgebroken nogal. Bovendien wordt een groter of kleiner deel van het afgebroken voereiwit weer als bouwstof gebruikt en ingebouwd in bacterie eiwit. Deze gang van zaken heeft geleid tot het concept dat bij herkauwers, zeg maar dieren met een pens, de eiwitwaarde van een rantsoen niet wordt bepaald door de hoeveelheid eiwit in

het voer, maar door de mate waarin het in de pens door bacteriën wordt afgebroken en vervangen door bacterie eiwit. Op basis van dit concept hebben we in Nederland in 1991 het DVE systeem ingevoerd (CVB, 1991). DVE staat voor Darm Verteerbaar Eiwit, dat is dus eiwit dat pas in de darm wordt verteerd. Vanuit de darm worden de bij de eiwitvertering vrijgemaakte aminozuren in het bloed opgenomen. Van het eiwit dat naar de dunne darm wordt afgevoerd bestaat wel de helft tot twee derde uit bacterie eiwit. In het DVE systeem wordt ook nog de Onbestendige Eiwitbalans (OEB) berekend als het verschil tussen afbraak en synthese. Met de OEB wordt aangegeven of er en zo ja hoeveel eiwit in de pens verloren gaat. Het idee was dat met deze kennis de koeien veel efficiënter met eiwit zouden kunnen omgaan. Dit zou grote besparingen van de N verliezen opleveren en dus goed zijn voor het milieu. Maar dat bleek voorlopig een illusie. De praktijk bleef voor de hoeveelheid eiwit in het rantsoen van melkvee een hoge veiligheidsmarge gebruiken en de N verliezen namen maar marginaal in omvang af.

In het nieuwe concept van eiwitverwerking door herkauwers bleek al snel dat het proces van microbiële groei en eiwitsynthese, dat de koeien van aminozuren moet voorzien, een moeilijk te doorgronden en weerbarstige materie was. Van de biomassa in pensbacteriën is 80 tot 85% organische stof en deze bestaat weer voor ongeveer 60% uit ruw eiwit. In de resterende 40% zitten verder 10-30% koolhydraten en 10-20% vet. Van het ruwe eiwit is 75% echt eiwit, d.w.z. aminozuren, de overige 25% zijn nucleïnezuuren die voor de koe verder geen waarde hebben. In het DVE systeem nemen we aan dat elke kg in de pens gefermenteerde organische stof (FOS) uit het voer voor de koe 150 g bacterieel ruw eiwit oplevert. In de afgelopen jaren is echter duidelijk

geworden dat dit een te simpele voorstelling van de werkelijkheid is.

In de pens blijken minstens 3 groepen microben actief te zijn. Ze verschillen in samenstelling, efficiëntie van groei en verblijftijd. De eerste groep zijn bacteriën die vastgeplakt zitten aan voerdeeltjes, de Particle Associated Bacteria of PAB. De tweede groep bacteriën zijn die welke zich vrij in de vloeistof bewegen, de Liquid Associated Bacteria of LAB. De derde groep zijn de protozoën. De PAB groeien langzaam, maar ze verbruiken ook maar weinig energie (ATP) voor hun onderhoud. Omdat ze vast zitten aan voerdeeltjes, worden ze niet zo snel uitgespoeld. Ze blijven lang in de pens rondhangen, wel 20 tot 50 uur. De snelheid waarmee de vloeistof in de pens wordt ververst is twee tot drie maal zo hoog als die van de voerdeeltjes. De LAB blijven daarom veel korter in de pens, namelijk maar 5 tot 10 uur. Echter, voor de LAB is de behoefte aan energie voor onderhoud veel hoger dan voor de PAB. In de pens van een volwassen koe zit 1000 tot 1500 g bacteriële massa, met daarin PAB en LAB in een verhouding van ongeveer 3:1. Het verschil in verblijftijd en efficiëntie van groei tussen PAB en LAB zorgt er echter voor dat PAB en LAB in een heel andere verhouding naar de darm worden afgevoerd dan die waarin ze in de pens aanwezig zijn. De verhouding waarin PAB en LAB in de pens ontstaan zegt dus weinig over hoeveel PAB en LAB voor de koe in de dunne darm beschikbaar komen. Ook verschilt de samenstelling en kwaliteit van het eiwit en vet in de biomassa van PAB en LAB. De derde groep zijn de protozoën. Dat zijn eigenlijk kleine ééncellige monsters. In een druppel pensvloeistof onder de microscoop kun je de protozoën zien bewegen en al sinds jaar en dag is dat op Zodiac een trekpleister bij open dagen. In de pens gedragen de protozoën zich als roofdieren die

zich in leven houden met het verorberen van grote aantallen bacteriën. Deze predatie kan wel oplopen tot enkele tientallen procenten van de bacterie populatie. Of protozoën bij hun roofochten een voorkeur hebben voor PAB of LAB is niet bekend. Maar, bacteriën die al in de pens door de protozoën worden gevangen, bereiken nooit de dunne darm, en leveren dus geen eiwit aan de koe. De protozoën in de pens groeien maar langzaam en lopen dus een behoorlijk grote kans om uitgespoeld te worden. Maar protozoën blijken zich te kunnen verstoppen. Waar en hoe ze dat doen weten we niet precies, maar ze blijven daardoor wel selectief in de pens achter. Ze worden maar in geringe mate naar de dunne darm afgevoerd en ze dragen daardoor ook maar weinig bij aan de eiwitvoorziening van de koe. Het begrijpen van het gedrag en de samenstelling van deze drie groepen microben is voor de toekomst nog een grote uitdaging voor het onderzoek.

Koolhydraten

Verreweg het grootste deel van het voer van een koe bestaat uit **koolhydraten**. Na eiwit werd daarom ook het gedrag van koolhydraten in de pens in kaart gebracht. Als eerste stap werden ze opgedeeld in structurele en niet-structurele koolhydraten. De **structurele koolhydraten** zijn te vergelijken met **voedingsvezel**. Omdat ze het omhulsel van plantencellen vormen, worden ze ook wel celwanden genoemd. Ze bestaan voor een groot deel uit lange rijen aan elkaar geregen moleculen glucose en andere suikers. In zeer ingewikkelde structuren zitten hun bouwstenen met zogenaamde β -glycoside bindingen aan elkaar vast. De eigen enzymen van een dier of de mens kunnen die bindingen niet verbreken, en ze kunnen alleen door tussenkomst van bacteriën worden afgebroken en verteerd. We kunnen ze weer-

geven als een ineengevlochten complex van de ingrediënten cellulose, hemicellulose, pectine en lignine, waarbij lignine zich gedraagt zoals ijzer in gewapend beton of als tralies voor een venster. De bewapening geeft stevigheid aan het geheel en de tralies zorgen er voor dat de bacteriën niet gemakkelijk bij de inhoud komen. De tralies belemmeren daarmee een snelle afbraak van de door bacteriën ook erg gewilde celinhoud. Door kauwen en herkauwen raken de celwanden beschadigd en komt hun inhoud vrij voor de bacteriën. Net als in de bouwwereld varieert de kwaliteit van de bewapening en de dikte van de tralies sterk. Het gevolg is een grote variatie in de snelheid waarmee en de mate waarin plantaardige celwanden in de pens worden afgebroken en hun inhoud voor afbraak door de bacteriën beschikbaar komt. De snelheid waarmee structurele koolhydraten worden afgebroken is inmiddels voor een groot aantal voor koeien geschikte voeders in kaart gebracht.

Samen met de groep Levensmiddelenchemie hier in Wageningen en enkele groepen in Utrecht hebben we een paar jaar op de ruimtelijke structuur van structurele koolhydraten gestudeerd (Van Laar, 2000), met het doel om uit die ruimtelijke structuren een aantal functionele eigenschappen af te leiden. Dat bleek voorlopig een brug te ver en is dus maar in zeer beperkte mate gelukt.

Een bijkomende eigenschap van de structurele koolhydraten is dat ze de penswand prikkelen tot contracties. De penscontracties zorgen ervoor dat de pensinhoud voortdurend gemengd wordt. Dit zorgt er voor dat de vluchtige vetzuren in de buurt van de penswand komen en gemakkelijker naar het bloed getransporteerd worden.

De **niet-structurele koolhydraten** bestaan vooral uit suikers en zetmeel en bevinden zich doorgaans binnen in een plantencel. Hun bouwstenen zijn ook glucose, maar die zijn

vooral door α -glycoside bindingen met elkaar verbonden. Deze bindingen worden vrij gemakkelijk verbroken en ze kunnen ook zonder tussenkomst van bacteriën door mens en dier worden verteerd. Maar ook voor de pensbacteriën zijn het lekkere hapjes en ze worden, zodra ze uit de cel zijn vrijgemaakt, snel en uitbundig door de bacteriën in de pens afgebroken. Soms is die afbraak zo uitbundig dat er pensverzuring optreedt. Hun afbraak wordt soms vertraagd doordat ze worden afgeschermd met een laagje moeilijk afbreekbaar materiaal. Zo kunnen de al eerder genoemde celwanden belemmerend werken. Als zetmeel is opgeslagen in korrels kunnen ook dunne laagjes van dicht opeengepakte eiwitmoleculen die rond de korrels liggen haar afbraak belemmeren. Ook kunnen de vezels in zetmeel zo dicht opeengepakt liggen dat er moeilijk water in doordringt en zonder water beginnen bacteriën niet veel. We spreken dan van "resistant starch" of in koeietermen van bestendig zetmeel. Bij de afbraak van zetmeel spelen ook de protozoën een rol. Protozoën kunnen zetmeel in kleine bolletjes opslaan in hun cellen, en onttrekken het daarmee aan de bacteriën. Dit voorkomt een te stormachtige afbraak en omzetting van zetmeel in zuren en daarmee een te abrupte daling van de pH in de pens. Helaas weten de protozoën daarbij geen maat te houden. Als ze veel zetmeel op hun bord krijgen vreten ze zich letterlijk te barsten. En dat overleven ze dus niet.

Ook de afbraak van de niet structurele koolhydraten is voor veel koeienvoerders in kaart gebracht. Ze worden doorgaans veel sneller afgebroken dan structurele koolhydraten, maar ook tussen de niet-structurele koolhydraten blijken onderling grote verschillen in snelheid van afbraak te bestaan.

Ik heb eerder gezegd dat er 3 verschillende populaties van bacteriën en protozoën in de pens zitten. In werkelijkheid

zijn het er veel meer en daarbij is iedere subpopulatie min of meer gespecialiseerd in het afbreken van een bepaald soort koolhydraat. Sommige soorten zijn vooral geschikt om zetmeel af te breken, andere kunnen beter met oplosbare suikers overweg en weer andere geven de voorkeur aan vezels. Omdat koolhydraten een groot deel van het voer van een koe vormen zijn het ook de voornaamste substraten voor pensbacteriën. De eerder besproken groeipatronen van bacteriën worden voor de verschillende subpopulaties in de pens sterk bepaald door de snelheid waarmee ze hun substraat afbreken. Dus om de groei van de totale populatie van pensbacteriën in goede banen te leiden moeten de verschillende soorten koolhydraten in het voer van een koe in een uitgebalanceerde verhouding van celwanden, zetmeel en suikers in het voer zitten. Dus ook dat moet geoptimaliseerd worden.

Vet

Naast koolhydraten en eiwitten bevat het rantsoen van koeien meestal ook een beetje vet. In gras is dat bijvoorbeeld 2-3%. Eigenlijk niet iets om je druk over te maken, ware het niet dat recent ontdekt is dat die kleine vetfractie een heel bijzondere invloed op het geheel uitoefent. Of eigenlijk moet ik zeggen dat de pensbacteriën met de vetfractie kleine dingen doen die heel grote gevolgen hebben. Voor de bacteriën is vet eigenlijk nauwelijks interessant. Het is niet alleen maar een kleine fractie, de bacteriën kunnen er ook geen ATP aan onttrekken. De vetfractie bestaat uit vetzuren met een ketenlengte van 12 tot 18 koolstofatomen en in die keten zitten 0 tot 3 onverzadigde of dubbele bindingen. Voor de pensbacteriën zijn vetzuren, vooral de meervoudig onverzadigde vetzuren, giftig. Ze moeten dus onschadelijk gemaakt worden. Dat doen de bacteriën door de

onverzadigde bindingen te verzadigen met waterstof. Van de onverzadigde vetzuren in het voer wordt in de pens 80 tot 90% verzadigd. Vandaar dat vlees en melkproducten afkomstig van herkauwers weinig onverzadigde vetzuren bevatten. Voor de mens beschouwen we dat als niet erg gunstig. Recent is echter ontdekt dat het verzadigingsproces uit meerdere stappen bestaat en dat er, voordat de vetzuren geheel verzadigd zijn, tussenproducten worden afgevoerd naar de dunne darm en uiteindelijk in het bloed van de koe terecht komen. Via het bloed bereiken ze de uier en kleine hoeveelheden van die tussenproducten, tegenwoordig ook wel bekend als CLA's, worden ingebouwd in melkvet. En die CLA's blijken heel sterke en gunstige metabole werkingen te hebben. Zo zouden ze beschermen tegen kanker en nog een heel scala aan andere gunstige eigenschappen hebben. Ik ga daar echter niet verder op in.

Het woord gras is gevallen. Ik ben dit verhaal begonnen met een anekdote over gras. Maar gras is in ieder geval bij ons weer helemaal in en terug van weggeweest. Samen met de leerstoelgroep Gewas en Onkruid Ecologie doen we al een aantal jaren onderzoek aan gras. Onder andere naar de vraag of het wel de juiste samenstelling heeft voor de koe, maar meer nog voor de bacteriën. En of het graaspatroon van de koe wel zorgt voor een uitgebalanceerde aanvoer van het juiste substraat voor de bacteriën. Mijn college van vandaag had ook wel helemaal over gras kunnen gaan, maar ik wil me beperken tot het vet in gras. De kleine vetfractie in vers gras bestaat voor het overgrote deel uit linoleenzuur en in mindere mate linolzuur, beide meervoudig onverzadigde vetzuren. Deze worden voor een groot deel in de pens verzadigd. Echter, een klein deel wordt maar gedeeltelijk verzadigd en bereikt de uier. Die kan van een enkelvoudig onverzadigd vetzuur weer CLA maken, een proces dat waar-

schijnlijk voor een deel door de erfelijke eigenschappen van de koe wordt bepaald. Dit is de reden waarom weidende koeien relatief hoge gehalten aan CLA in hun melkvet hebben. Bij het conserveren van gras tot graskuil of hooi gaan de meervoudig onverzadigde vetzuren grotendeels verloren. Waarom is niet erg duidelijk. Over de gezondheids bevorderende waarde van CLA's en hoe we de gehalten in melkvet gericht kunnen sturen is nog veel onderzoek nodig. Vooral het antwoord op de vraag hoe en met welke snelheid het verzadigingsproces door de bacteriën in de pens precies in zijn werk gaat vertoont nog vele hiaten. Ook daar ligt dus nog een grote uitdaging voor het onderzoek.

Simulatiemodel

Een belangrijke vraag is nu hoe krijgen we dat ingewikkelde proces van pensfermentatie onder controle? Om de hiervoor geschetste wirwar van processen te kunnen vatten in één proces van pensfermentatie moesten we de afzonderlijke processen kennen en integreren in één model. Dat vroeg een zeer ingewikkeld wiskundig model, bestaande uit een groot aantal reservoirs waar voedingsstoffen instromen en eindproducten uitstromen. Het prototype daarvan is ruim 10 jaar geleden ontwikkeld door Jan Dijkstra (1993). In ons huidige model wordt de pensfermentatie beschreven aan de hand van ongeveer 20 reservoirs, sommige naast elkaar, andere achter elkaar. Elk reservoir wordt gevoed met 1 tot 5 verschillende stromen van grondstoffen of tussenproducten. Elk reservoir heeft ook één of meer afvoerstromen. Daarbij heeft elke stroom haar eigen, vaak in de tijd variërende, stroomsnelheid. Met behulp van moderne reken technieken en computers is het mogelijk al die stromen en reservoirs op elkaar af te stemmen en met elkaar in even-

wicht te brengen (Dijkstra, 1993). Simuleren noemen we dat. Het model is weliswaar nog niet helemaal rijp voor gebruik in de praktijk, maar we kunnen al wel allerlei typen rantsoenen doorrekenen. Een voorbeeld daarvan werd kort geleden gepubliceerd in het weekblad "De Boerderij" (Hogenkamp, 2005).

Praktische toepassing

Heeft de B.V. Nederland nu iets gehad aan het vergaren van al die kennis. Ik meen van wel. Om te beginnen hebben wij deze nieuwe kennis natuurlijk opgenomen in ons onderwijs en doorgegeven aan onze studenten. Een groot deel van onze afgestudeerden vindt een baan in de mengvoerindustrie en heeft daar de verworven kennis toegepast en vaak zelfs verder ontwikkeld. Het gevolg is dat in voedingsadviezen voor melkvee tegenwoordig heel sterk rekening wordt gehouden met wat er in de pens met het voer gebeurt. We zijn ons terdege bewust geworden van het feit dat wil je een koe goed voeren, allereerst de pensbacteriën vertroeteld moeten worden.

Anders dan bij de mens of het varken, die vooral glucose, aminozuren en vetzuren aan hun voedsel onttrekken en verbruiken, krijgt de koe azijnzuur, propionzuur, boterzuur en microbiel eiwit. Hierbij is propionzuur te vergelijken met glucose en azijnzuur en boterzuur met vet. We noemen propionzuur daarom een glucogene voedingsstof en azijn- en boterzuur ketogene voedingsstoffen. Eiwit, ongeacht of het afkomstig is uit voer of van pensbacteriën, noemen we aminogeen. Het type koolhydraat bepaalt in belangrijke mate welk zuur door de bacteriën wordt gemaakt. Langzaam afbreekbare structurele koolhydraten zoals cellulose en hemicellulose in celwanden worden vooral omgezet

in azijnzuur, de snel afbreekbare niet structurele koolhydraten zoals zetmeel en suikers leveren meer propionzuur. In de moderne melkveevoeding proberen we de glucogene, ketogene en aminogene voedingsstoffen in de juiste verhouding te krijgen, maar dat vereist een grondige kennis van de pensfermentatie.

De stijging van de melkproductie per koe, waar ik in het begin op wees, is de gemiddelde Nederlandse koe niet in haar koude kleren gaan zitten, want met haar levensduur is het in diezelfde periode bergafwaarts gegaan. Een belangrijk aspect van duurzaamheid is de levensduur en het welzijn van de koe. Als we een koe niet goed voeren wordt ze ziek. Dit doet zich vooral voor in het begin van de lactatie als de koe veel melk moet geven, soms meer dan 50 liter per dag. De meeste koeien zijn niet in staat om daarvoor voldoende voer op te nemen. Ze moeten hun reserves aanspreken en verdagen daardoor in wat we noemen een Negatieve Energie Balans (NEB). Dat verbruikt niet alleen hun reserves, het vermindert ook hun weerstand en ze worden vatbaar voor allerlei ziektes, zogenaamde metabole afwijkingen. De vraag was of we dat via de voeding kunnen beïnvloeden. Samen met de leerstoelgroep Adaptatie Fysiologie doen we daar onderzoek naar. Door te schuiven met de verhouding tussen glucogene en ketogene voedingsstoffen bleek het mogelijk de omvang en de duur van de NEB te sturen (Van Knegsel et al., 2004). Dat schuiven tussen glucogene en ketogene voedingsstoffen vereiste dat ook de pensfermentatie in de gewenste richting werd gestuurd. Dus ook de gezondheid van de koe is gebaat bij een goede pensfermentatie.

In het begin van mijn verhaal heb ik opgemerkt dat een hoge dichtheid aan vee een minder gunstige uitwerking kan hebben op het ons omringende milieu van bodem, water en

lucht. Dit zijn langzaam verlopende en voor een groot deel onzichtbare processen. De mens of de boer, aan wie ook niets menselijks vreemd is, zal uit zichzelf niet gauw besluiten daar iets aan te doen, zeker niet als het ook nog geld kost. Dat moet de maatschappij dus via wetgeving afdwingen. Die wetgeving moet echter wel wetenschappelijk verantwoord, uitvoerbaar en handhaafbaar zijn. Ik beschouw het als een voorrecht mijn steentje te hebben mogen bijdragen aan de wetenschappelijke onderbouwing van die wetgeving (Tamminga e.a., 2000, 2004). En daarbij heeft de door ons vergaarde kennis van pensfermentatie ook zeker een belangrijke rol gespeeld.

Dat is dus de wondere wereld van de pensfermentatie. In deze legpuzzel heb ik de afgelopen 20 jaar met medewerkers in mijn en andere leerstoelgroepen een paar stukjes van die puzzel op hun juiste plaats kunnen leggen. Het zal u niet verbazen dat ik hierop met verwondering maar ook met veel plezier terug kijk.

En hoe het me verder (ver)ging

Een belangrijke mijlpaal bij het beklimmen van de academische ladder is het plaats nemen op een leerstoel. Dat voorrecht was mij in 1985 beschoren, zij het dat het in mijn geval maar een halve leerstoel was en dat zit nogal wankel en ongemakkelijk. Na 5 jaar konden we (collega Versteegen en ik) ons fundament versterken en hebben van de leerstoel een leerbank (niet te verwarren met een leren bank) gemaakt

Bij een leerstoel hoort een leerstoelgroep (vroeger een vakgroep). Onze leerstoelgroep had en heeft als motto: "Alles wat je zegt kan en zal tegen je gebruikt worden". Een gepast antwoord daarop leek mij om dan maar niet te veel te zeg-

gen en dat werkte, althans voor mij, heel goed. Desondanks heb ik de afgelopen jaren leiding mogen geven aan een fantastische groep mensen. Ik kan me niet herinneren ooit een dag met tegenzin aan de rit van Zeewolde naar Wageningen te zijn begonnen, zij het dat de A30 wat mij betreft 20 jaar eerder aangelegd had mogen zijn. Hier past overigens ook een woord van dank aan een aantal van mijn promovendi die mij in de loop der jaren hebben voorzien van veel van de Powerpoint plaatjes die ik vanmiddag ter illustratie van mijn betoog kon laten zien.

Het onderzoek van onze universiteit is al weer 15 jaar gebundeld in Onderzoekscholen. Dat is ook bij Dierwetenschappen het geval en ik heb met veel genoegen mijn steentje mogen bijdragen aan de Onderzoeksschool WIAS, die kortgeleden voor de derde achtereenvolgende keer als zodanig door de KNAW is erkend.

Als je een tijdje meedraait in het circuit van leerstoelhouders kan het haast niet anders of je wordt vroeger of later gestrikt voor bestuurlijke functies in de organisatie. Via het lidmaatschap van de vaste commissie wetenschap (VCW) werd ik gewogen en voldoende zwaar bevonden voor het lidmaatschap van het College van Decanen, later het College voor Promoties. Dit college adviseert het College van Bestuur in zaken betreffende onderwijs en wetenschapsbeoefening. Aan de maandelijkse bijeenkomsten heb ik heel positieve en prettige herinneringen en het (als waarnemend rector) voorzitten van promoties en het uit laten reiken van diploma's was ook een activiteit waar ik met veel plezier aan terug denk. Voor het in mij gestelde vertrouwen past vanaf deze plaats een woord van dank.

In de leeropdracht van collega Verstegen en mij stond dat we de uit onze leeropdracht voortkomende relaties naar de veevoederindustrie dienden te onderhouden. Nu is dat niet

zo moeilijk, want een groot deel van de veevoederindustrie in Nederland is bemenst met lieden die door ons zijn opgeleid. En het gros daarvan komt van tijd tot tijd terug om in een phlo cursus bijgeschoold te worden. De laatste jaren mogen we ons daarbij verheugen in een toenemend aantal dierenartsen als cursist. Door ook enkele dierenartsen als docent in te huren hebben we een uitstekend werkend format gevonden, dat Wageningen Universiteit en onze leerstoelgroep geen windeieren heeft gelegd.

Maar er was meer. Via het uitzetten van onderzoekgeld en een netwerk met het Centraal Veevoeder Bureau als spil, werd ons het onderhouden van die contacten ook gemakkelijk gemaakt. Vanaf deze plaats wil ik graag mijn dank uitspreken voor het vertrouwen dat er altijd is geweest tussen onze leerstoelgroep en de sector.

Toch ook een paar punten van zorg. De afgelopen 20 jaar is er in onze organisatie veel veranderd. De tijd zal moeten leren of al deze veranderingen wel de duurzaamheid hebben gebracht die werd nagestreefd. Ik heb zelf het gevoel dat er wel eens wat weinig duurzaam is nagedacht over de gevolgen van allerlei maatregelen op de werkvloer. Vooral de snelheid waarmee onderwijsprogramma's op de schop gingen viel niet altijd bij te houden. Ook het tijdens het spelen van het spel veranderen van de spelregels is niet altijd bij iedereen in goede aarde gevallen. Wat dat betreft is de flexibiliteit van de instelling danig op de proef gesteld. Ook het proces van "planning en control" heeft voor veel hoofdbreken en mijns inziens voor een te grote belasting van de werkvloer en een te grote overhead gezorgd.

Maar waar het uiteindelijk allemaal om draait zijn onze studenten. Die kwamen en gingen en ze ploegden en ploeterden voort, tot aan de einden der aarde. Met dat laatste doel ik vooral op Nieuw Zeeland waar tot voor kort erg veel van

onze studenten op stage naar toe wilden. De laatste jaren is dat in toenemende mate ook Latijns Amerika. En met Latijns Amerika kom ik aan de afsluiting van mijn verhaal. Tijdens mijn eerste sabbatical, die mijn vrouw en ik in 2000 doorbrachten in Uruguay, ben ik tot de conclusie gekomen dat het niet verstandig zou zijn als ik tot mijn 65^{ste} jaar zou blijven door gaan in het tempo zoals ik de afgelopen 20 jaar gewend was. Zelfs Balkenende heeft die gedachte niet uit mijn hoofd weten te praten. In plaats van mijn carrière op te bouwen besloot ik die af te bouwen, dus niet af te breken. En dat ging simpel. Ik hoefde het traject van opbouw alleen maar in omgekeerde, maar wel iets versnelde, volgorde te doorlopen. In Zuid Amerika is een stappenplan geboren en het daarbij horende tijdschema heb ik uitgevoerd. De eerste stap in mijn stappenplan was stoppen met het College voor Promoties, daarna met WIAS en ten slotte met de leerstoelgroep. Nu is het zich houden aan tijdschema's niet het sterkste punt van onze organisatie, dus dat heeft wel tot enige rimpelingen geleid. Het schema van aftreden van de leden van het College voor Promoties was kennelijk zoek geraakt en het bleek moeilijk om het als punt op de agenda te krijgen. Dus moest ik wel zelf het heft in handen nemen en heb per 1 september 2003 gewoon maar ontslag genomen. WIAS lag iets ingewikkelder, omdat er voor 2004 een aanvraag voor (her-) erkenning bij de KNAW stond gepland. Na ampele overweging zoals dat heet en omdat we inmiddels een uitstekend opvolger hadden weten te vinden, kon ik begin 2004 het WIAS stokje overdragen aan collega Johan van Arendonk. Met die move bleek de (her-) erkenning eigenlijk een fluitje van een cent. De laatste horde was de leerstoelgroep. Omdat volgens mijn tijdschema ik per 1 februari jongstleden ging stoppen zou er een gat vallen, want een opvolger was er nog niet.

Maar gelukkig had collega Martin Verstegen nog de moed om de voorzittershamer een half jaar van mij over te nemen totdat er wel een opvolger was gevonden. Die is er inmiddels en ik wens Wouter Hendriks veel sterkte en plezier met de leerstoelgroep Diervoeding, bij ons beter bekend als de "georganiseerde chaos".

Last but not least wil ik de leden van mijn gezin, met echtgenote Nelly vooraan, dank zeggen voor het feit dat ze er altijd mee hebben ingestemd of zich er bij hebben neergelegd dat ik van mijn werk mijn hobby maakte. En maakt u zich geen zorgen, ik red me wel, ik ben nog niet helemaal uitgehobbied. Of om met Youp van 't Hek te spreken: "Het leven is wel mooi".

En u, luisteraars, dank voor uw aandacht.

1. Boer, F. de, 1975. Bedrijfsontwikkeling, febr. 1975, p. 131-135.
2. CVB, 1991. Eiwitwaardering voor herkauwers: Het DVE systeem. CVB reeks nr. 7, Centraal Veevoederbureau, Lelystad
3. Dijkstra, 1993. Mathematical modelling and integration of rumen fermentation processes. PhD Thesis Wageningen Agricultural University, 221 p.
4. Hogenkamp, W. 2005. Rantsoenen onder de loep. Amper verschil in eiwit- en energievoorziening. Boerderij/Veehouderij 90-3, 5-11
5. Knegsel, A.T.M. v., Brand, H. vd., Dijkstra, J., Tamminga, S., Kemp, B., 2004. Effect of dietary

energy source on energy balance, production, metabolic disorders, health and reproduction in dairy cattle – A review. Report Adaptation Physiology Group/Animal Nutrition Group, Wageningen University, 40 p.

6. Laar, H. v., 2000. Soy beans and maize: The effect of chemical and physical structure of cell wall polysaccharides on fermentation kinetics. PhD thesis Wageningen Agricultural University, 165 p.
7. Pellikaan, W.F. 2004. Passage of ^{13}C labelled feed components through the digestive tract of dairy cows, PhD thesis Wageningen University, 188 p.
8. Russell, J.B., Strobel, H.J., 1993. Microbial energetics. In: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism (J.M. Forbes & J. France, eds), CAB International, p.165–186.
9. Tamminga, S., Jongbloed, A.W., Eerdt, M.M. v., Aarts, H.F.M., Mandersloot, F., Hoogervorst, N.J.P., Westhoek, H., 2000. De forfaitaire excretie van stikstof door landbouwhuisdieren. Report ID-Lelystad 00-2040R, 71 p.
10. Tamminga, S., Aarts, F., Bannink, A., Oenema, O., Monteny, G.-J., 2004. Actualiseren van geschatte N en P excreties voor rundvee. Reeks Milieu en Landelijk Gebied nr. 25, 1-48.