

Landbouwuniversiteit

Levensmiddelen-

proceskunde:

het product gevormd

door interacties

● prof.dr.ir. R.M. Boom

**LEVENS MIDDELEN PROCESKUNDE:
HET PRODUCT GEVORMD DOOR
INTERACTIES**

Door prof. dr. ir. R.M. Boom



Inaugurele rede uitgesproken op 25 februari 1999
Landbouwuniversiteit Wageningen

LEVENS MIDDELEN PROCESKUNDE: HET PRODUCT GEVORMD DOOR INTERACTIES

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Lang geleden, nog ver voordat mensen de neiging hadden steden en huizen te gaan bouwen en graan te verbouwen, leefde men van de jacht en van wat men aan voedsel in het veld en in het bos vond.

Het vervelende van veel voedsel dat men wist te vergaren was, dat het meteen opgegeten moest worden, anders werd je er ziek van. Dat gaf aanleiding tot veel problemen: het ene moment was er veel te veel voedsel, het volgende moment veel te weinig.

Op een dag echter heeft waarschijnlijk iemand per ongeluk een reep vlees in de zon laten liggen, waardoor het snel verdroogde. Tot zijn verbazing moet deze persoon geconstateerd hebben, dat het vlees in gedroogde toestand lang niet zo snel bedierf. Hij, of zij, trok zijn conclusies, en vanaf dat moment heeft men voedsel aan behandelingen onderworpen. Food processing als principe was uitgevonden.

Zoals vaak, leidde deze uitvinding al snel tot variaties op dit thema. Nadat men het vuur had leren te beheersen, werd dat uiteraard ook op voedsel toegepast, en behalve dat de houdbaarheid beter werd, werden dierlijke producten lekkerder, en veel plantaardige producten kregen veel meer voedingswaarde (Walstra, 1996; Dekker en Linneman, 1998).

In de geschiedenis van de mensheid heeft de voedselvoorziening, en dus ook de behandeling van levensmiddelen, altijd een hoofdrol gespeeld. Het ontstaan van steden werd mogelijk gemaakt door het in grote hoeveelheden kunnen opslaan van voorraden. Grote rijken werden gesticht door de mogelijkheid van het aanleggen van

LEVENS MIDDELEN PROCESKUNDE: HET PRODUCT GEVORMD DOOR INTERACTIES

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Lang geleden, nog ver voordat mensen de neiging hadden steden en huizen te gaan bouwen en graan te verbouwen, leefde men van de jacht en van wat men aan voedsel in het veld en in het bos vond.

Het vervelende van veel voedsel dat men wist te vergaren was, dat het meteen opgegeten moest worden, anders werd je er ziek van. Dat gaf aanleiding tot veel problemen: het ene moment was er veel te veel voedsel, het volgende moment veel te weinig.

Op een dag echter heeft waarschijnlijk iemand per ongeluk een reep vlees in de zon laten liggen, waardoor het snel verdroogde. Tot zijn verbazing moet deze persoon geconstateerd hebben, dat het vlees in gedroogde toestand lang niet zo snel bedierf. Hij, of zij, trok zijn conclusies, en vanaf dat moment heeft men voedsel aan behandelingen onderworpen. Food processing als principe was uitgevonden.

Zoals vaak, leidde deze uitvinding al snel tot variaties op dit thema. Nadat men het vuur had leren te beheersen, werd dat uiteraard ook op voedsel toegepast, en behalve dat de houdbaarheid beter werd, werden dierlijke producten lekkerder, en veel plantaardige producten kregen veel meer voedingswaarde (Walstra, 1996; Dekker en Linneman, 1998).

In de geschiedenis van de mensheid heeft de voedselvoorziening, en dus ook de behandeling van levensmiddelen, altijd een hoofdrol gespeeld. Het ontstaan van steden werd mogelijk gemaakt door het in grote hoeveelheden kunnen opslaan van voorraden. Grote rijken werden gesticht door de mogelijkheid van het aanleggen van

voedselvoorraden. Lange ontdekkingsreizen naar verre werelddelen werden mogelijk door gedroogde en dus lang houdbare levensmiddelen, waarbij men helaas nog niet op de hoogte was van de functie of zelfs maar het bestaan van ingrediënten als ascorbinezuur, wat aanleiding gaf tot gebreksziekten als scheurbuik.

Juist door zijn ouderdom is de techniek van het 'food processing' altijd conservatief geweest. De methoden van wijn- of bierbereiding bleven door de eeuwen zo goed als gelijk, en daar was men trots op. Innovaties ontstonden vaak slechts door toevalligheden, maar men speurde er niet specifiek naar.

Pas in de afgelopen eeuwen kreeg men de behoefte om technieken die werden toegepast meer systematisch te bestuderen, om ze mogelijkerwijs te verbeteren.

Naarmate men hierin slaagde, ontstond de technologie, de leer van de techniek.

In de afgelopen 50 jaar heeft door de ontwikkeling van de technologie, de techniek van het behandelen van levensmiddelen een grote vlucht genomen, tegelijkertijd met zovele andere vakgebieden. Zo was men in staat om op grote schaal levensmiddelen veilig te produceren en bij de consument op tafel te brengen, waarbij de voedingswaarde, en de inhoud aan nutriënten zo goed mogelijk gewaarborgd was (Beverloo en Van den Berg, 1978). Daarnaast was men ook in staat om levensmiddelen nieuwe eigenschappen te geven, zoals bij halfvolle melk, en alcoholvrij bier.

De ontwikkeling van de levensmiddelenproceskunde, zoals die net beschreven is, is in de afgelopen jaren in

een stroomversnelling gekomen. Dat heeft veel te maken met de stormachtige ontwikkeling van verschillende takken van de wetenschap en de daaruit voortkomende technologie.

Milieu

Een belangrijke ontwikkeling betreft het besef van de invloed van de samenleving op de rest van de wereld. Begin jaren '70 werd het duidelijk dat onze aardse hulpbronnen eindig zijn. Hoewel de angst voor uitputting op het gebied van fossiele brandstoffen inmiddels wat getemperd is, geldt dat zeker niet voor ons besef van eindigheid van de capaciteit van ons natuurlijk milieu. Hierdoor is men veel zorgvuldiger gaan omspringen met emissie naar water of atmosfeer.

Dit alles geeft op dit moment binnen de procestechnologie aanleiding tot veel onderzoek naar processen die intrinsiek minder chemicaliën, minder energie en minder apparatuur gebruiken.

Gezondheid

Een andere belangrijke ontwikkeling betreft een beter begrip van de relatie tussen gezondheid en voedsel. Men heeft natuurlijk altijd voedsel met gezondheid geassocieerd. Als je niet eet dan ga je dood. Eet je niet gevarieerd genoeg, dan word je ziek. Eet je te veel, wordt je ook ziek.

Maar de relatie tussen voedsel en gezondheid is gebleken inniger en complexer te zijn. Nieuwe fysiologische inzichten hebben duidelijk gemaakt dat levensmiddelen veel met gezondheid te maken hebben. Het is nu bijvoorbeeld algemeen bekend dat het eten van te veel verzadigde vetten erg ongezond is, en dat verschillende

stoffen, die in kleinere hoeveelheden aanwezig zijn, zoals vitamines, bijzonder belangrijk zijn om gezond te blijven. Er is dan ook een groeiende vraag naar gezonder eten.

Dat uit zich bijvoorbeeld in de vorm van de wens naar verse, zo min mogelijk behandelde levensmiddelen (groenten, fruit, vlees). De levensmiddelenproceskunde reageert daarop door nieuwe methoden te ontwikkelen om levensmiddelen te conserveren zonder ze tot hoge temperaturen te verhitten.

Een andere uitingsvorm is de vraag naar producten die juist zo weinig mogelijk voedingswaarde bevatten; de typische 'light' producten. Voor een deel is dat een antwoord op het gezondheidsprobleem van overgewicht, voor een ander deel geeft het de consument de mogelijkheid om evenveel te blijven eten en drinken, maar toch minder calorieën binnen te krijgen. Soms wordt dat bereikt door de ongewenste componenten uit het product te halen, soms door een vervanger te gebruiken, zoals het bekende 'olestra' een vervanger voor vetten is. Ook hier speelt de levensmiddelenproceskunde een centrale rol: immers, traditionele componenten zoals suiker en vetten moeten worden vervangen door andere stoffen, waarbij de vorm en consistentie van het product dezelfde moeten blijven.

Er is ook een steeds beter inzicht in de specifieke relaties tussen gezondheid, bevattelijkheid voor bepaalde ziekten, en consumptie van voedingsmiddelen of ingrediënten daarvan. Dit geeft zelfs aanleiding tot de ontwikkeling van heel nieuwe voedingsmiddelen.

Een klassiek voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van Becel enige decennia geleden. Toen bekend werd dat meervoudig onverzadigde vetzuren een positieve werking konden hebben op het voorkomen van hart- en vaatziekten, wilde het bedrijf Unilever met deze componenten een margarine vervaardigen, voor de farmaceutische markt. Dat is niet eenvoudig omdat deze vetzuren, in tegenstelling tot de meestal gebruikte vetzuren, vloeibaar zijn bij kamertemperatuur, en je er dus moeilijk vaste margarine mee kunt maken. Het is Unilever echter gelukt om dit voor elkaar te krijgen - een mooi staaltje levensmiddelenproceskunde - en men heeft dit product onder de interne codenaam BCL (Blood Cholesterol Lowering) uiteindelijk op de markt gebracht: *Becel*. Niet alleen op de farmaceutische markt, maar later ook op de normale consumentenmarkt, zoals bekend met succes.

Een dergelijk product noemt men nu een 'functional food'. Deze producten of productconcepten, die een aantoonbaar positief effect op iemands gezondheid kunnen hebben, staan sterk in de belangstelling. Op deze manier worden melk met extra calcium, of het yoghurt drankje yakult, dat de spijsvertering zou bevorderen, aan de mens gebracht. En een nieuwe generatie Becel-achtige producten zit er ook aan te komen, gelet op de ontwikkeling van het Finse product Benecol, en de Becel-variant Becel Proactiv, waarin plantesterolen zijn verwerkt. Men zegt wel, dat de levensmiddelensector en de farmacie steeds dichterbij elkaar komen, en waarschijnlijk gedeeltelijk zullen gaan overlappen. Wie weet dat het ooit zover komt dat we kunnen zeggen: 'voor elke kwaal een maal'.

Het zal voor de levensmiddelenproceskunde aldus een toenemende behoefte betekenen om enerzijds nieuwe ingrediënten op industriële schaal te kunnen produceren en anderzijds deze ingrediënten, met afwijkende eigenschappen, in te kunnen bouwen in levensmiddelen.

Levensmiddelen en procestechologie

Er komt dus nogal wat op de levensmiddelenproceskunde af: stringentere emissie-eisen, nieuwe conserveringsmethoden, en nieuwe ingrediënten voor nieuwe producten. Gelukkig zijn er ook een aantal ontwikkelingen die ons de mogelijkheid zullen geven op deze trends in te spelen, waarvan ik er hier twee wil noemen.

- Mede dankzij de grote voortgang in de rekenkracht die ons ter beschikking staat, zijn we steeds beter in staat om complexiteit, die kenmerkend is voor levensmiddelen, en waarin ook de essentie ligt van een levensmiddel, te begrijpen en te beheersen, en in de toekomst zelfs vanuit de principes, 'ab initio' te ontwerpen.
- Een toenemend inzicht in de chemische, fysische en microbiële processen die zich afspelen tijdens en na de productie van levensmiddelen levert nieuwe mogelijkheden in de vormgeving en conservering van een product, en in de typen ingrediënten die men kan toepassen.

Zoals gezegd is kenmerkend voor vele levensmiddelen dat de componenten en de producten vaak erg complex van aard zijn; ze bestaan uit mengsels van vele stoffen, die bovendien niet allemaal op moleculaire schaal gemengd zijn, maar colloïdaal gestructureerd zijn. Dit

geeft aanleiding tot productieprocessen voor de bereiding van levensmiddelen, die weliswaar in principe vergelijkbaar zijn met die, toegepast voor de productie van andere materialen, maar waarin de processen die zich afspelen zo complex zijn, dat de levensmiddelentechnoloog het proces nu nog slechts bij benadering kan ontwerpen. De rest moet uit ervaring komen.

Een voorbeeld hiervan is de toepassing van het extrusieproces, dat zowel in de kunststoffenindustrie als in de levensmiddelenindustrie wordt gebruikt, en dat een belangrijk onderwerp van onderzoek is geweest in de leerstoelgroep levensmiddelenproceskunde (Van Zuilichem, 1992). Hoewel bijvoorbeeld het vormgeven van kunststoffen via extrusietechnologie zeker een complexe aangelegenheid is, is het produceren van levensmiddelen via vergelijkbare technologie nog een stuk ingewikkelder.

Het extruderen van een *kunststof*, als polystyreen of polyetheen, omvat het introduceren van de grondstoffen in korrelvorm in de extruder. Door toevoer van warmte en door wrijvingswarmte worden de korrels zover opgewarmd dat ze smelten. Hier kunnen fase-overgangen, zoals smelten en glasovergangen een rol spelen, maar dat is niet altijd zo. Nadat een homogene smelt is gevormd, wordt deze door een mal geperst, afgekoeld en mogelijk verder vormgegeven.

Bij het extruderen van *levensmiddelen*, zoals bijvoorbeeld bij de productie van zetmeel-gebaseerde snacks, moeten de kristallijne zetmeelkorrels in het meel geconverteerd worden tot een min of meer homogene oplos-

sing, om verdere verwerking mogelijk te maken. Het basismateriaal is de kristallijne zetmeelkorrels, bestaand uit ongeveer 25% amylose en 75% amylopectine.

Allereerst vindt een zwelling van de korrels plaats, wat ze gevoelig voor afschuifkrachten maakt. Daarna vindt mechanische opbreking en verdere doordringing van het water in de korrel, en het oplossen van de ingrediënten plaats. Deze processen zijn onmogelijk zonder gelijktijdige inwerking van een enzym als amylase, om de hoogmoleculaire polymeren korter en gemakkelijker oplosbaar te maken. Verdere menging met water en verhitting (voor de geling) onder intense menging (kneding), leidt via enzymatische en chemische modificaties, tot een oplossing met de gewenste eigenschappen.

Hier spelen multicomponent massa- en warmtetransport, verschillende orde fase-overgangen zoals smelten en glasovergangen, maar ook chemische modificaties een hoofdrol. De stroming, die bij kunststofverwerking al gecompliceerd is, wordt hier door de inhomogeniteit en de dynamiek van het gehele proces, nog veel complexer. Anders dan bij extrusie van een kunststof houdt het proces niet op nadat het product de mal verlaat. Doordat de oplossing tot ver boven 100 °C is opgewarmd, verdampft er instantaan een behoorlijke hoeveelheid water als de druk is wegge gevallen. Het product 'ontploft' als het ware en vormt de poreuze, glasachtige structuur die we in snacks als bijvoorbeeld wikkels of Hamka's zo waarderen, omdat ze daardoor zo lekker 'crispy' smaken. Er moet dus heel wat gebeuren voordat u een simpel zoutje in handen heeft.

Hoewel dus de principes van de twee bovenstaande processen vergelijkbaar zijn, wordt het verschil gekarakter-

seerd door het feit dat het levensmiddelen-extrusieproces erg complexe materialen bewerkt.

De normale manier om een dergelijk proces nader te beschouwen is, door het systeem zo ver te vereenvoudigen dat het systeem begrijpbaar wordt. Als je vindt dat in het bovenstaande voorbeeld van productie van snacks, het oplosproces van de korrels de kritische stap is, ga je dat deelproces nauwkeurig bekijken. Vanaf dat punt probeer je weer langzaam aspecten van het totale proces toe te voegen totdat de uitkomsten van het eenvoudige systeem enigszins vertaald kunnen worden naar het praktische systeem; je gaat het model van het korreloplosproces uitbreiden met andere aspecten, zoals de menging en opwarming van de korrels.

Maar als de essentie van een proces of product, zoals bij levensmiddelen in de complexiteit zit, dan kom je er zo nooit helemaal. Als je deze wilt vangen zou je eigenlijk van de andere kant moeten komen, door te beginnen bij de interacties tussen de deelmodellen. Eerst bepaal je de interacties tussen eenvoudige modellen van deelprocessen, en kijk je, via een simulatie, of het totale systeem enigszins lijkt op de praktijk. Dan ga je de deelmodellen langzaam verfijnen, en eventueel deelmodellen toevoegen, totdat een systeemmodel ontstaat, dat correcte voorspellingen kan doen over de werkelijkheid.

Moderne rekenmethoden, zoals het gebruik van computers voor het berekenen van stromingen in niet-Newtonse systemen, of voor het simuleren van colloïdale structuurvorming in een oplossing, geven voor het eerst de gelegenheid om dit te doen, omdat ze de mogelijkheid geven om vele verschillende verschijnselen

waarvan de principes bekend zijn in één systeemmodel te zetten, waarin ook de interacties tussen de deelprocessen worden gesimuleerd (Van den Akker, 1999).

Daarnaast zijn er veel instrumenten ontwikkeld om (deel)processen die nog niet optimaal begrepen worden, toch te kunnen beschrijven met een niet op fysica gebaseerd model. Juist de combinatie van deze empirische modellering, zoals het gebruik van neurale netwerken, en de theoretische modellering kan voor een gebied als de levensmiddelenproceeskunde veel betekenen.

De complexiteit komt hier dus uiteindelijk van het feit dat alle deelprocessen, zoals stroming, massa-, warmte-transport, biochemische omzettingen en fase-overgangen, elkaar sterk beïnvloeden. De essentie van het probleem ligt in de *interacties* tussen deze deelprocessen.

Complexiteit door interacties tussen deelprocessen is lastig. Wetenschappers hebben de neiging om deelproblemen afzonderlijk te bekijken, om deze later weer aan elkaar te knopen, en te zien of dit correcte voorspellingen oplevert. Maar als de essentie van het proces nu juist in die interacties tussen deelprocessen zit, kom je met deze reductionistische aanpak maar halverwege.

De ontwerpde wetenschappen als de procestechnologie kunnen hier uitkomst bieden. Anders dan fundamentele wetenschappen, is het de traditionele taak van de procestechnoloog om de nieuwe kennis vanuit verschillende gebieden samen te voegen, en hieruit nieuwe procesconcepten te ontwikkelen, die tegemoet komen aan de nieuwe wensen en eisen van de maatschappij (Mashelkar, 1995).

De procestechnologie, is dus een product, gevormd door interacties met andere, meer fundamentele disciplines. Waar het de taak is van de fundamentele disciplines als bijvoorbeeld de fysica om deelprocessen als fase-overgangen te begrijpen, is het de taak van de proces-technoloog om dit begrip in een zo simpel mogelijke vorm te koppelen met andere deelmodellen. De taak van de procestechnoloog ligt dus in het tot stand brengen van deze koppelingen. En waar de hij of zij lacunes vindt in de beschikbare deelmodellen, kan gericht onderzoek plaatsvinden om deze lacunes te vullen.

Interacties tussen processchalen

Er zit een adder onder het gras bij het werken aan de interacties tussen de verschillende deelprocessen. Deze wordt gevormd door het feit dat veel deelprocessen die elkaar beïnvloeden, op verschillende schaalgrootten spelen. Reacties, evenwichten, spelen vooral op moleculaire (nanometer) schaalgrootte, vorming van colloïdale structuur speelt op een mesoscopische (micrometer) schaalgrootte, en massa-, warmte- en impulstranport spelen op een veel grotere schaal van millimeters tot meters. Reacties beïnvloeden transportverschijnselen, maar transportverschijnselen beïnvloeden ook de reacties weer. Het probleem is dat als je een proces op een schaal van nanometers wilt beschouwen, dat er in één cm^3 in totaal 10^{21} nm^3 zitten. Als je dus in detail processen op een nanometerschaal wilt vertalen naar een centimeterschaal, betekent dat, dat je 10^{21} kubieke nm moet doorrekenen. Dat kost veel te veel rekentijd, zelfs met de snelste computers.

Men heeft dat traditioneel opgelost door middel van globale beschrijvingen, die alleen de belangrijkste dingen

van schaal naar schaal doorgeven, zoals het gebruik van analogieën tussen warmte-, impuls- en massatransport, dimensieanalyse, en andere empirische correlaties die de onderlinge afhankelijkheden van parameters beschrijven. Een dergelijke, vereenvoudigende benadering, gaat in wezen alleen op voor eenvoudige systemen, met niet teveel componenten of niet-idealiteiten.

Desondanks is deze benadering krachtig, en de proces-technoloog heeft er een groot vermogen mee ontwikkeld om de uitkomsten voor eenvoudige systemen met succes te vertalen naar de complexe situatie die in werkelijkheid bestaat.

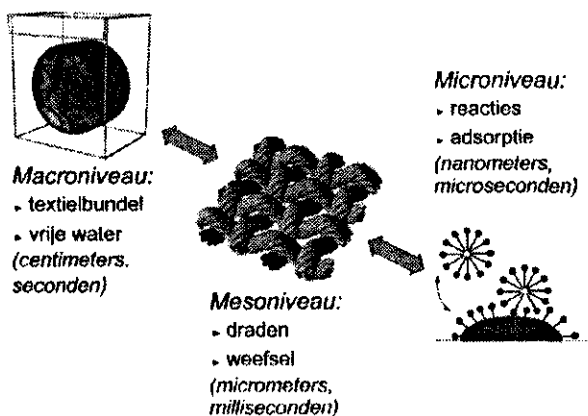
Maar bijvoorbeeld voor de productie van levensmiddelen, waarin juist in de complexiteit de essentie ligt, zien we dat veel procesberekeningen niet exact een productkwaliteit konden voorspellen en veel procesontwerpen op een behoorlijke dosis empirie of ervaring rustten.

Ik heb in mijn vorige werkkring, bij Unilever Research in Vlaardingen, een dergelijke situatie meegemaakt, in een ander veld: het wassen van textiel. Voor velen lijkt dat wellicht een eenvoudig proces: je stopt het wasgoed in de wasmachine, doet er wasmiddel bij, de wasmachine neemt water in en het wasgoed wordt vanzelf schoon.

De processen die hier een rol spelen zijn echter ook hier erg complex. Om te kunnen werken moet een wasmiddel eerst oplossen. De opgeloste stoffen moeten, met het water, zich goed verdelen over het wasgoed. Die verdeling houdt in, dat massatransport moet plaatvinden, het wasgoed moet worden gemengd, en het waswater moet in de draden doordringen. Vanaf dat moment spelen vele moleculaire processen, zoals complexatieprocessen, ads-

orptieprocessen en omzettingsprocessen (enzymatische reacties, precipitaties, chemische omzettingen). Vervolgens moet het vuil verwijderd worden uit de poriën van het textiel, terwijl het in oplossing gehouden wordt.

De complexiteit ligt hier in het feit dat vele processen zich op verschillende grootteschalen en tijdschalen afspelen, en elkaar sterk beïnvloeden. Dat kan geïllustreerd worden aan de hand van een deelprobleem, het massatransport.



De textielbewegingen (op het macroniveau) zorgen er voor dat het weefsel nat wordt (mesoniveau). Doordat dit nat wordt, wordt de dynamica van de textielbundel anders. Interactie beide kanten op.

Doordat de wasmiddelcomponenten in de draden doordringen, vinden de gewenste reacties op het textieloppervlak plaats. Doordat dit plaatsvindt, worden weer de oppervlakte-eigenschappen van het textiel anders, hetgeen de bewegingen van het textiel weer beïnvloedt.

Zodoende beïnvloeden alle processchalen elkaar.

Hoe moet je een dergelijk probleem nu gaan begrijpen? De traditionele manier is om te veronderstellen dat op één niveau de kritische processen aanwezig zijn, en dat de andere schalen tot een gemiddelde kunnen worden samengevat. Er waren dan ook een aantal relaties bekend die iets zeiden over het proces, maar die vreemd genoeg weinig over het totale verloop van het proces konden zeggen.

Dat kwam, doordat het hele proces chaotische trekken vertoont: niet het gemiddelde, maar juist de afwijkingen van dat gemiddelde bepalen het verloop van het proces. Juist die toevallige uitschieters in de beweging van het textiel zorgen voor de waswerking.

We zijn in de afgelopen jaren toch in staat geweest dit probleem aan te pakken door niet zozeer één niveau als uitgangspunt te nemen, maar juist de interacties tussen de niveaus als uitgangspunt te nemen. Simpele beschrijvingen van deelprocessen werden in een geheel gepast, en vervolgens geleidelijk verbeterd tot het model voldoende voorspellend vermogen bevatte. Als een voorspelling van het model klopt met de werkelijkheid, is het model acceptabel. Als model en praktijk niet overeenkomt en moet je het model wijzigen. Deze continue vergelijking met het experiment is overigens verreweg de meest tijdrovende stap in het proces. Modelleren is voornamelijk experimenteren. Het leidde uiteindelijk tot de mogelijkheid om voorspellingen te kunnen doen over situaties die nu experimenteel nog niet kunnen worden uitgevoerd. Er is overigens meer overeenkomst tussen levensmidde-lenproceskunde en wassen dan u wellicht dacht. De interacties tussen vele verschillende processen en pro-

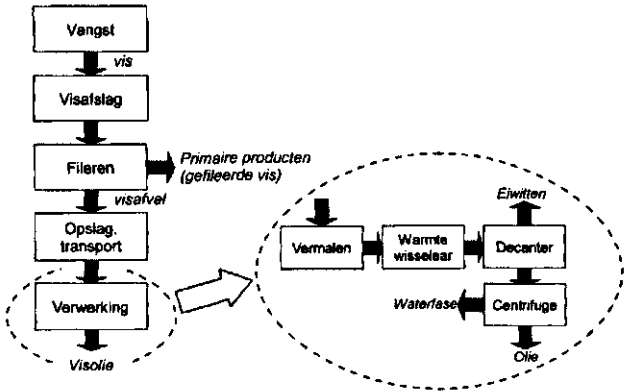
cesschalen, die ons parten speelden binnen het wassen, spelen ook een hoofdrol bij de levensmiddelenproductie. Bij het eerder genoemde extrusieproces beïnvloedt het verwekings- en oplosgedrag van de korrels de reologie sterk, doordat de viscositeit sterk toeneemt. Deze viscositeitssteiging op zijn beurt beïnvloedt het oplosproces sterk. Door juist deze interacties te nemen als uitgangspunt, is het mogelijk om een goed begrip van de processen op korrelschaal te koppelen aan het begrip op apparaatschaal.

Ketens van processen

Naast een beter en kwantitatiever begrip van de productie zelf, speelt er nog meer voor de levensmiddelen-technoloog. De uiteindelijke kwaliteit van het levensmiddel is een product van de vele interacties tussen de verschillende stappen in het totale productieproces, van grondstof tot consumptie.

De levensmiddelenproceskundige zal zich steeds meer dit gehele systeem tot werkgebied maken.

Neem nu bijvoorbeeld de productie van visolie. Dit is een onderzoek dat de leerstoelgroep op het moment uitvoert in samenwerking met het Rijksinstituuut voor Visserij Onderzoek (RIVO-DLO), op het gebied van het modelleren van kwaliteit van oliën, als functie van het productieproces, en als functie van de keten om het proces heen. Ook hier ligt de nadruk op de *interacties* van de stappen in de totale productieketen, de wijze waarop het complexe *product* reageert op de keten van processtappen, en manieren om de juiste informatie uit het complexe systeem te verkrijgen, *karakteriseringsmethoden* dus.



De kwaliteit van het product wordt sterk bepaald door de totale productieketen. Als je wat aan de kwaliteit van het product wilt doen, zal je het stuk dat aan het productieproces zelf vooraf gaat beter moeten beheersen. In dit geval wordt de olie gewonnen uit afval van vis die gefileerd wordt en verwerkt tot eindproducten (ingevroren vis, vissticks, etc.). Het afval wordt vermalen, en gescheiden in een olie en andere fracties. Als je in staat bent het uitgangsmateriaal dat van de fileertafels komt te karakteriseren en te beheersen, beheers je de kwaliteit van de olie beter.

Dit werk vergt een combinatie van ketenmodellering, analytische methoden, en begrip van de chemische en fysische veranderingen die zich voor kunnen doen. Verder speelt een goed begrip van de biologie van de uitgang grondstof een belangrijke rol.

Overigens zijn niet alleen de processen van belang die zich *tijdens* de productie afspelen. De meeste levensmiddelen ondergaan ook veranderingen rond de productie en

tot aan de consumptie.

Ook hier draagt de leerstoelgroep bij, in samenwerking met de leerstoelgroep levensmiddelenmicrobiologie, en wel op het gebied van voedselveiligheid. Door een goede proceskundige beschrijving van relevante aspecten van de procesketen te combineren met kennis van micro-organismen, die kunnen leiden tot voedselbederf of -vergiftiging, worden schattingen gemaakt van de kansen dat deze processen zich op merkbare schaal gaan voordoen, bij een gegeven productieprocesketen. Hiermee worden de kritische beheerspunten in een proces beter bepaald, en het productieproces beter ingericht op het garanderen van een optimale productkwaliteit.

Het werkkerrein van de proceskundige wordt dus groter. Niet de kwaliteit van het product dat de fabriek verlaat, maar de kwaliteit op het moment van consumptie is bepalend. De proceskundige werkt dus vaak op een wat hoger 'plan', op het niveau van de procesketens, waarbij de veranderingen van het product in de hele keten globaal kunnen worden gevolgd.

Uiteraard betekent dit, dat de proceskunde op het veld van andere vakgebieden komt, en daar interactie mee zal hebben. Deze vakgebieden zullen aan de procestechnoloog veel kunnen leren, en andersom zal de procestechnoloog ook kunnen bijdragen aan die vakgebieden.

Interacties met andere vakgebieden

De levensmiddelenproceskunde zal zich steeds meer gaan richten op het bestuderen van de complexe, praktische systemen. Complexiteit in systemen op verschillende grootteschalen komt echter niet alleen voor *binnen* de productieprocessen van een levensmiddel, maar is een

algemeen kenmerk van systemen van biologische aard of oorsprong.

Deze eigenschap komen we natuurlijk van twee kanten tegen bij het eind van de consumptieketen: de mens. Als we de consumptie van een levensmiddel beschouwen, hebben we te maken met zowel het organisme van de mens, als het levensmiddel. Beide zijn uiterst complex. Het is de ontmoetingsplaats van de levensmiddelentechnologie en de fysiologie.

Het uiteindelijke doel van een levensmiddel, en dus ook van de levensmiddelentechnologie, is om mensen op de juiste wijze te voeden, en om 't lekker te laten smaken. Dat is dus ook het doel van de proceskundige. Men zou het als een uiterste vorm van ketenbeheer kunnen zien, om ook de laatste stap van de consumptie beter te leren begrijpen.

Er zijn belangrijke parallellen tussen een productieproces en een verteringsproces, die hoop geven dat een proces-technoloog hier iets bij kan dragen. In het geval van een productieproces gebruik je fysische en chemische processen om een structuur en een bepaalde samenstelling te creëren, in het geval van een verteringsproces gebruik je ruwweg dezelfde typen processen om de structuur af te breken, en de oorspronkelijke samenstelling af te breken tot componenten die kunnen worden opgenomen.

Ook de genoemde verschillende processchalen spelen hier een rol: (bio)chemische reacties, fase-overgangen, massa- en impulstransport. Het systeem dat zorgt voor de spijsvertering is complex, wat traditioneel een integrale aanpak tot een compleet, voorspellend model moeilijk maakte.

Binnen de stromingsleer en de procestechologie is men steeds beter in staat om deelprocessen als massatransport in complexe en veranderende media te begrijpen en te modelleren. Ik verwacht daarom dat binnen afzienbare tijd, de procestechologie op het fysiologische vlak een rol gaat vervullen.

Wat is daarbij nu het nut voor de levensmiddelenproductie? Als de lokale omstandigheden tijdens consumptie goed bekend zijn (in termen van afschuifkrachten, omzettingen en transportprocessen), is men veel beter in staat om levensmiddelen zodanig te ontwerpen dat de juiste ingrediënten op precies de juiste plaats in het menselijk organisme terecht komen. Een goede vorm van 'targeted release', waarbij je eerst eens gaat onderzoeken wat het target eigenlijk is, en dan pas het product gaat ontwikkelen. Deze benadering zal hele nieuwe mogelijkheden kunnen bieden voor de levensmiddelentechnologie.

Onderzoek

Het is al eerder opgemerkt dat waar de benadering van de fundamentele wetenschappen is via het begrijpen van deelproblemen, het de taak van de procestechologie is om de deelmodellen samen te voegen, en de interacties tussen de deelprocessen als uitgangspunt te nemen.

De leerstoelgroep levensmiddelenproceskunde concentreert zich dan ook op de koppeling tussen deelproblemen, en niet specifiek op de deelproblemen zelf, waarvan wij weten dat andere groepen deze bestuderen.

Ik meen dat het programma van de leerstoelgroep te verdelen is in drie categorieën, namelijk gericht op product-

ingrediënten, gericht op *productstructuur* en gericht op *productstabiliteit*.

Productingrediënten

Door de ontwikkeling naar nieuwe functies in een levensmiddel op het gebied van gezondheid, is er ook een grote belangstelling naar specifieke ingrediënten. Deze ingrediënten moeten of worden gezuiverd vanuit een natuurlijke grondstof, of worden gesynthetiseerd uit andere materialen.

- Scheidingsmethoden spelen al langere tijd een belangrijke rol. Immers, een ruwe grondstof als bijvoorbeeld tarwe, moet toch vaak eerst gescheiden worden in een aantal minder ruwe stromen, bijvoorbeeld het zetmeel en de gluten. Naast deze 'traditionele' scheidingen, groeit de behoefte aan zeer specifieke scheidingen, om een hele waardevolle component uit een grondstof te winnen, die elders gebruikt kan worden als geur- of smaakstof, of als 'functioneel' ingrediënt, zoals plantesterolen voor toepassing in margarine. Het is duidelijk dat door de trend naar de functional foods, veel scheidingsvraagstukken zowel in de farmacie als in de levensmiddelenindustrie zullen spelen. Een voorbeeld hiervan is de scheiding van enantiomeren van werkzame stoffen, voor de farmacie essentieel, en voor de levensmiddelenbranche steeds belangrijker.
- Synthetiseren van ingrediënten kan bereikt worden door gebruik te maken van enzymatische omzettingen. Omdat enzymen vaak anders worden gebruikt dan overeenkomstig hun oorspronkelijke biologische

functie, geven ze niet altijd de hoge selectiviteit en opbrengst naar het product die we willen hebben. Daarnaast kan massatransport een belangrijke rol vervullen, afhankelijk van de manier waarop de enzymen toegepast worden.

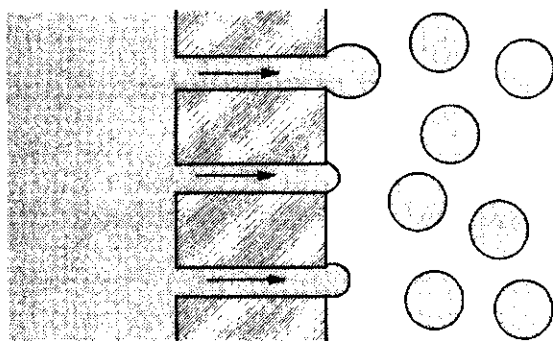
De gewenste selectiviteit en conversie is te bereiken door uit te gaan van een compleet procesontwerp, waarin verschillende enzymatische omzettingen gecombineerd kunnen worden met de juiste scheidingsstappen. Een gereedschapskist aan hulpmiddelen wordt zó ingezet dat de dynamische interacties tussen deze procesonderdelen kunnen leiden tot het uiteindelijke doel.

Productstructuur

Als men de ingrediënten heeft, zal men in het product de juiste structuur moeten vormen. Deze ligt over het algemeen op mesoscopische, colloïdale schaal. Een voorbeeld is de productie van consumptie-ijs, waar in een aantal stappen een emulsie-achtige meerfasen-structuur wordt bewerkstelligd. Deze emulsievorm ligt ten grondslag aan vele levensmiddelen, bijvoorbeeld boter, margarine, en mayonaise.

Een relatief nieuwe manier om een emulsie te maken is met behulp van een soort micro-extrusie, genoemd membraanemulsificatie.

Centraal staat een membraan met uniforme poriëngrootte: de ene fase wordt door de poriën geperst, en komt aan de andere kant als monodisperse druppeltjes te voorschijn.



Hoewel dit proces heel simpel is, ligt daarin niet het grootste voordeel. Het grootste voordeel is het feit dat het proces gemakkelijk beheersbaar en bestuurbaar is. Daardoor zijn er vrij gemakkelijk complexe structuren mee te maken, zoals dubbele emulsies of encapsulaten, die voor een gecontroleerde afgifte van ingrediënten zoals geurstoffen kunnen dienen. Verder zijn de procesomstandigheden erg mild, waardoor je kwetsbare ingrediënten kunt gebruiken; bijvoorbeeld enzymen of andere eiwitten, die een colloïdmolen niet zouden overleven.

Het proces, dat een voorbeeld is van een proces dat nadere aandacht verdient, wordt gekarakteriseerd door sterke interactie tussen membraanmorphologie en oppervlakte-eigenschappen, procesomstandigheden, zoals langsstroomsnelheden en de stoffeigenschappen van de gebruikte chemicaliën. Het is de uitdaging van het onderzoek om deze interacties te begrijpen en te beheersen, zodat nieuwe productstructuren en -eigenschappen binnen handbereik komen.

Productstabiliteit

Als het product eenmaal is gevormd is de taak van de procestechnoloog nog niet afgelopen. De kwaliteit van het product moet stabiel zijn, en mag niet bij de consumptie onacceptabel zijn, in termen van microbiële besmetting of degradatie van ingrediënten of structuur.

Een belangrijk deel hiervan is de productveiligheid.

- Door de wens naar versheid, zijn verschillende nieuwe inactivatieprocessen in ontwikkeling, die een voldoende microbiële inactivatie moeten kunnen koppelen aan het vers blijven van het product. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van gepulseerde elektrische velden, het gebruik van ultrageluid en het gebruik van zeer hoge drukken. Deze processen zijn nog zodanig nieuw dat nog veel gedaan moet worden aan een effectief ontwerp van het proces.
- De *interacties* tussen verschillende processtappen binnen een productieketen zijn vaak van doorslaggevend belang; opslag- en procestijd, effectiviteit van microbiële inactivatieprocessen en de zorgvuldigheid van de bewaking van hygiëne tijdens de procesvoering en tijdens reiniging, spelen hier een rol.

De benadering vanuit de systeemgedachte is hier essentieel; het is immers een illusie om te denken dat een inactivatieproces alleen voldoende is om de microbiële veiligheid van een product te garanderen, als de stappen daarna niet goed zijn ontworpen. Door alle interacties goed in kaart te brengen en te combineren met de dynamica van het systeem, in dit geval de microbiële groei, zijn we in staat om te leren welke factoren in de totale procesketen van doorslaggevend belang zijn, en in welke mate.

Ook in andere aspecten van de productkwaliteit is het ketenbeheer van doorslaggevend belang. Men kan denken aan het behoud van de juiste onverzadigde vetzuren in een visolie, of het behouden van vitaminen in een product, of het behouden van de juiste productstructuur.

Al deze aspecten zullen voor de leerstoelgroep van belang zijn in de toekomst. Maar zoals al eerder was aangegeven: de taak van de procestechnoloog is om de koppelling te maken tussen verschillende deelprocessen. En dat houdt automatisch in dat het werk alleen via een intensieve samenwerking met andere groepen zal kunnen worden volbracht. Want als je geen deelmodellen hebt om aan elkaar te koppelen, kan er van de complete procesbeschrijving ook niet veel terecht komen.

Om de synthese van de deelproblemen naar een procesontwerp te bewerkstelligen, zie ik met plezier uit naar het leggen en onderhouden van de interacties met verschillende leerstoelgroepen. Een procestechnoloog wil zich immers om het proces bekommeren.

Onderwijs

Het samenwerken tussen vele verschillende disciplines is niet specifiek voor dit vakgebied. In feite is het een ontwikkeling die op vele plaatsen in de maatschappij naar voren komt. Echte nieuwe ontwikkelingen worden niet meer gecreëerd door individuen, maar door groepen van mensen.

Hierbij zijn niet alleen de persoonlijke expertise maar ook het respect en openheid naar anderen en andersdenkenden van eminent belang. Omdat dit buiten de universiteit misschien nog sterker naar voren komt dan erbin-

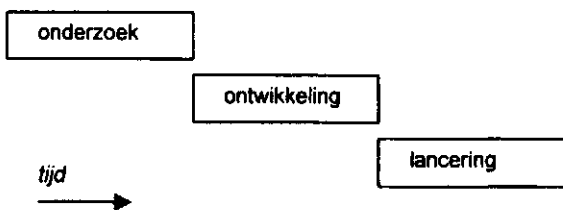
nen, is het van belang dit in het onderwijs te benadrukken. De meeste studenten komen na hun studie immers buiten de universiteit terecht.

Werken in teamverband

Ik wil als voorbeeld het proces beschrijven dat ligt tussen een technologische vinding of een idee, en de uiteindelijke lancering van een product op de markt.

Dergelijke processen worden in de industrie over het algemeen in de vorm van een project gegoten. Laten we voor het gemak een project bekijken dat uit drie stukken werk bestaat: een eerste stuk werk dat het eerste idee moet uitwerken tot een werkend technologisch principe, een tweede stuk werk dat zorgt voor technische en bedrijfsmatige haalbaarheid, en een derde stuk werk dat het product daadwerkelijk op de markt moet brengen.

Deze werkwijze kan in een diagram worden weergegeven.



In het verleden was het zo, dat het tweede stuk werk pas kon beginnen nadat het eerste was afgerond. Logisch, want hoe kan je nu een technologie gaan uit-ontwikkelen, als je de principes nog niets eens precies kent? En pas nadat de ontwikkeling was afgerond, kon je serieus

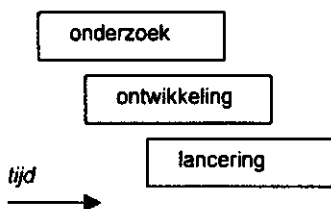
aan de implementatie werken.

Dit is een overzichtelijke manier van werken, waarin alle werk goed voorspelbaar verloopt.

De tijd die mag verlopen tussen het begin van een project, en de lancering van een product op de markt, is echter de afgelopen jaren drastisch afgenomen, en dat zal in de toekomst alleen nog maar sterker worden.

Als je nu een opdracht krijgt om een stuk technologie te ontwikkelen, en je wacht met het communiceren van het resultaat tot het einde van het project, dan is de kans groot dat het hele toepassingsgebied intussen verdwenen is.

Daarom begint men tegenwoordig al met de tweede en derde fase van het werk, als men nog volop bezig is met het eerste verkennende werk. Dit is in het volgende diagram weergegeven.



Deze manier van werken heeft als voordeel dat de tijd tussen eerste idee en lancering van het product veel korter is. De nadelen zijn ook duidelijk: je moet al gaan nadenken over de marketing concepten, terwijl je nog maar net bezig bent met de technische principes uit te werken, en je moet al gaan nadenken over grootschalige productie, als je het product wellicht net in detecteerbare hoeveelheden in het laboratorium kan maken. Je moet

tevens heel zorgvuldig omgaan met de risico's. Een mislukking kan grotere consequenties hebben.

De enige manier om hier uit te komen is door je in je werk te laten leiden door interacties met anderen. Dit stelt hoge eisen aan de onderzoekers: ze moeten even goed kunnen praten met marketeers, als met logistieke experts, inkopers, consumentenwetenschappers en technici, en bovendien ook openstaan voor hun ideeën, en respect hebben voor hun zwakke punten. Alleen dan kan een productlancering slagen.

Maar *als* al deze interacties goed gaan, dan zijn de voordelen nog veel groter. Want niet alleen is de ontwikkelingstijd veel korter, bovendien zijn de fundamentele wetenschappers heel direct betrokken bij de directe wensen van de consumenten, waardoor ze in de toekomst beter weten wat de preciese behoefte is, en hun ideeën veel beter kunnen aansluiten op deze behoeften. En andersom krijgen marketeers meer voeling met de technologie, waardoor zij beter in staat zijn adequaat op nieuwe ontwikkelingen in te spelen.

Zo worden producten, maar ook innovaties en mensen gevormd door interacties. Want in deze interacties ligt de waarde van organisaties, niet *in* hun mensen, maar in de interacties *tussen* mensen (Senge, 1994).

Ik heb zelf in de afgelopen jaren waarin ik in een industriële research-omgeving werkzaam was, ervaren, dat in groepsverband werken zeker geen vanzelfsprekendheid is, maar een moeizaam proces is, dat zorgvuldig opgebouwd moet worden.

Een groep mensen die gezamenlijk een opdracht heeft gekregen zit eerst wat onwennig naar elkaar te kijken. De groep moet elkaar eerst leren kennen, en men moet elkaars rol en expertise gaan accepteren, hetgeen tijd en veel omgang kost. Daarna moet de groep aan de slag om te weten te komen wat nu *precies* de opdracht is. Vaak is de verstrekte informatie voor meer interpretaties vatbaar, ook omdat mensen en dus ook opdrachtgevers redeneren vanuit een bepaald perspectief, dat de onderzoekers niet altijd delen. Als dit is gelukt dan ben je er nog niet. Om echt iets te bereiken moeten mensen enthousiast worden en gaan geloven in hun werk. Pas als iedereen dat gevoel heeft, werk je in een groep.

Het is mijn ervaring, maar ook die van anderen, dat als je veel aandacht en ruimte geeft voor dit proces, de voortgang van de groep bijna vanzelfsprekend wordt. Mensen die op deze manier aan de slag gaan zijn zo goed op de hoogte van wat ze willen en moeten, dat opeens de communicatie met andere groepen in een organisatie veel gemakkelijker gaat. Het proces van in elkaar schuiven van fasen in een project kan dan ook op deze manier goed verlopen.

Het is van belang dat mensen al in hun opleiding deze manier van werken en leven aangereikt krijgen; het is een manier van werken vanuit de interacties, in plaats van werken vanuit je eigen persoonlijke kunnen. Het is een werkhouding die traditioneel binnen een universiteit minder aandacht krijgt, terwijl hij maatschappelijk juist zo van belang is.

Ik hoop dat het meegeven van een dergelijk houding, de sterke punten van een Wagenings ingenieur, een brede

opleiding en aan algemene inzetbaarheid, nog verder kan versterken.

Afsluiting

Ik denk dat al deze ambitieuze doelen in feite niet alleen doelen zijn voor de leerstoelgroep levensmiddelenproceeskunde. Tenslotte zal het merendeel van dit werk in samenwerking met andere groepen worden verricht. Eens te meer geldt dus dat het werk het product is gevormd door de interacties met anderen.

Mijns insziens is de discipline levensmiddelenproceeskunde als toegepaste wetenschap een product, gevormd door interacties met de maatschappij. Daarnaast is het juist de procestechnologie die, als ontwerpende wetenschap, gevormd wordt door de vergaande interacties met fundamentele wetenschappen.

Qua technologie worden de processen die het levensmiddel vanuit de grondstoffen vormen bepaald door interacties tussen deelprocessen op verschillende proces-schaalgrootten, de microscopische schaal van de ingrediënten, de mesoscopische schaal van de colloïdale structuur, en de macroscopische schaal van de apparaten en van hele procesketens. Hierbij spelen opnieuw de interacties tussen de processtappen onderling een dominante rol.

Wij leiden studenten op voor een complexe taak in onze moderne samenleving. Productinnovaties wordt steeds meer gevormd door interacties tussen zeer verschillende mensen, disciplines, culturen en locaties. Het is onze taak te zorgen dat de Wageningse ingenieurs volkomen vertrouwd zijn met deze processen.

Daarom hoop ik dat u begrijpt dat de titel in feite een samenvatting is van wat ik wilde zeggen.

Dat geldt ook mijzelf. Mijn voorganger, prof. Van 't Riet stelde in zijn intreerede dat het goed is voor een vakgebied, om iemand aan te stellen die nog niet 'gevestigd' was in dat betreffende vakgebied (Van 't Riet, 1983). Mijn reinigingstechnologische achtergrond sluit goed aan bij zijn stelling, en ik hoop dat ik deze in de toekomst zal kunnen onderbouwen met in ieder geval één experimenteel gegeven.

Dat neemt niet weg, dat ik mij goed bewust ben van het feit dat ik veel met de uitstekende wetenschappers in dit vakgebied in interactie wil treden, om gezamenlijk de leerstoel levensmiddelenproceskunde, en de levensmiddelentechnologie vorm te geven.

Mijnheer de rector magnificus, zeer gewaardeerde toehoorders, net zoals een leerstoelgroep in zijn eentje niet veel kan bereiken, sta ik hier slechts doordat anderen aan mij hun vertrouwen en hulp hebben gegeven.

Allereerst wil ik de leden van de benoemingsadviescommissie bedanken voor het door hen aan mij gegeven vertrouwen. Tevens wil ik mijn collega's, de medewerkers van het Departement Levensmiddelentechnologie en Voedingwetenschappen, en in het bijzonder iedereen van de groep Proceskunde, bedanken voor de openheid en grote mate van bereidheid tot samenwerken waarmee zij mij hebben ontvangen. Dit geldt met name voor mijn meest naaste collega, Hans Tramper.

Bij het aanvaarden van een nieuwe baan, moet je je oude werkkring helaas verlaten. En dat heeft in mijn

geval veel moeite gekost. Ik wil mijn vroegere collega's van Unilever bedanken voor de bijzonder leuke en nuttige tijd die ik met hen doorbracht. Gelukkig blijven we samenwerken, hetgeen het afscheid verzacht.

Een speciaal woord van dank wil ik richten aan professor Warmoeskerken. Waarde Marijn! Jij was degene die me Unilever binnen bracht, en jij hebt me ook geleerd wat de boeiende dingen zijn aan de combinatie van wetenschappelijk onderzoek en industriële ontwikkeling. Kwam dat van pas binnen een bedrijf, het komt misschien nog wel meer van pas binnen een universitaire omgeving. Jij bent een inspirator voor velen, buiten en binnen Unilever Research, een rol die niet overschat kan worden.

Een tweede persoon waar ik veel aan te danken heb is drs. Rocourt. Beste Antoine! Hoewel we in de eerste jaren van samenwerking vaak van mening verschilden, moet ik toch bekennen dat je over het algemeen gelijk had. Je ongeëvenaarde coaching en steun hebben me heel veel geleerd over de industrie, over industriële research, maar ook over mijzelf, op wie je vaak een helderder blik had dan ikzelf.

Ik hoop nog heel lang met je te kunnen samenwerken, en van je te blijven leren.

Je promotor is een bijzondere persoon in je leven. Voor mij zijn het enthousiasme en de gedrevenheid van prof. Smolders voor de wetenschap een grote inspiratie geweest. Hij heeft niet alleen de membraantechnologie in Nederland vormgegeven, hij heeft er ook voor gezorgd dat een grote schare enthousiaste mensen zijn gedachtengoed verder neemt. Ik heb veel van hem geleerd, en ik vind het een grote eer te proberen in de komende

jaren een klein beetje in zijn voetstappen te kunnen treden.

Beste aio's en studenten, jullie zijn de primaire redenen van bestaan voor een universiteit. Alle mooie woorden ten spijt, uiteindelijk zullen jullie de nieuwe ontwikkelingen in de maatschappij moeten gaan vormgeven, en de mensen van de staf kunnen daarbij slechts assistenten in jullie opleiding zijn.

Ik hoop de komende jaren iets aan jullie opleiding te kunnen bijdragen, en ik hoop dat jullie die bijdrage in de toekomst als nuttig zullen ervaren.

En daarnaast hoop ik dat de prettige samenwerking die ik in de afgelopen maanden met jullie heb gehad, voortgezet kan worden.

Wat mijn ouders betreft, het is onmogelijk om zelfs maar te beginnen te zeggen wat ik allemaal aan jullie te danken heb, maar het is denk ik wel duidelijk dat ik mijn belangstelling voor de wetenschap niet van een vreemde heb. Maar daarnaast zijn jullie voor mij op heel veel gebieden een voorbeeld en een inspiratiebron.

Astrid, alleen wij tweeën weten hoe enorm veel je hebt bijgedragen aan deze dag en aan alles wat daaraan voorafging.

Meneer de rector, dames en heren,
ik dank u voor uw aandacht.

Referenties

- Van den Akker H.E.A., De toekomst van de Nederlandse Procestechnologie, NPT Procestechnologie 6(1), 1999, 10-14
- Dekker M., Linneman A.R., in: Jongen W.M.F., Meulenberg M.T.G., Innovation of Food Production systems; product quality and consumer acceptance, Wageningen Pers, The Netherlands, 1998, 67-86
- Guijt R., Wordt eten nu echt gezond?, Chemisch2Weekblad, 95(1), 1999, 12-13
- Levensmiddelentechnologie aan de Landbouwhogeschool Wageningen, Miscellaneous papers, 15 (1978), H. Veenman & zonen, Wageningen
- Van 't Riet, Vooruitgang door achterstand, intreerede, Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen, 26 mei 1983.
- Senge P.M., Kleiner A., Robert C., Ross R.B., Smith B.J., The Fifth Discipline: the art and practice of the learning organisation, Doubleday, NY, 1994

- Viladsen J., in: Dijkgraaf A., Procestechologie: de kostenbesparing voorbij, Polytechnisch tijdschrift 53(12), 1998, 14-17;
Villadsen J., Putting structure into Chemical Engineering. Proceedings of an industry/university conference, Chemical Engineering Science 52 (17) (1997) 2857-2864.

- van Zuilichem, D.J, Extruders in de levensmiddelen industrie, Procestechologie 2,10 (1992) 24-27. Van Zuilichem, D.J., Extrusion cooking, craft or science?, PhD thesis, Landbouwniversiteit Wageningen (1992)