

DIFFERENTIATIE VAN
BOERDERIJMELK

NRLO-rapport nr. 92/4

Verslag van de Werkgroep Differentiatie Melksamenstelling
van de NRLO-Taakgroep Fokkerij-onderzoek.

Samenstelling verslag: J.K. Oldenbroek en E.W. Brascamp

Samenstelling werkgroep: E.W. Brascamp (LU)
F. Brouwer (DMV-Campina)
J.K. Oldenbroek (IVO-DLO)
T.H.M. Snoeren (Friesland Frico Domo)
S. Tamminga (LU)
P. Walstra (LU)
J.T.M. Wouters (NIZO)

Nationale Raad voor
Landbouwkundig Onderzoek
Postbus 20401
2500 EK 's-Gravenhage
tel.: 070 - 3793653/3793654

december 1991



Ten geleide

De mogelijkheid om de samenstelling van boerderijmelk beter af te stemmen op de wensen van de afnemer, de zuivelindustrie, is de centrale vraag welke wordt behandeld in het voor U liggende rapport. Deze vraag wordt geanalyseerd in het perspectief van de ontwikkelingen op langere termijn welke zich aftekenen in de eisen die de zuivelindustrie stelt aan de grondstof. Dit leidt tot een toekomstvisie welke van belang is voor het verder versterken van de relaties in de produktieketen.

Een werkgroep bestaande uit deskundigen op het gebied van de zuiveltechnologie, van de veefokkerij en de veevoeding heeft zich bezonnen op de perspectieven welke het onderzoek zou kunnen bieden om de melksamenstelling naar de wensen van de gebruiker te beïnvloeden. Aspecten van dit thema zijn ook aan de orde gekomen in de studiemiddag "Genetische varianten en melkeigenschappen" welke op 27 september 1990 in NRLO-kader werd georganiseerd door NIZO en LU-Vakgroep Veefokkerij. Het verslag van de studiemiddag zal binnenkort beschikbaar komen als NRLO-rapport.

Met deze beide rapporten is een belangrijke bijdrage geleverd aan de strategische gedachtenvorming omtrent de mogelijkheden de doelmatigheid van de melkproduktie, welke van vitale economische betekenis is voor ons land, verder te vergroten.

Een woord van dank aan de leden van de werkgroep is hiervoor op zijn plaats.

Dr. F. van Vugt, secretaris
Sector-Kamer Dierlijke Produktie,
Gezondheid en Welzijn.

INHOUD	pag.
1. INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING	5
2. DE HUIDIGE MELKPRODUKTIE EN MELKSAMENSTELLING	6
3. DE GEWENSTE SAMENSTELLING VAN DE MELK	9
3.A De gewenste kwalitatieve samenstelling van de melkcomponenten	10
3.B De gewenste kwantitatieve samenstelling van de melk	12
4. MOGELIJKHEDEN VANUIT DE VEEVOEDING VOOR DE MELKSAMENSTELLING	18
5. MOGELIJKHEDEN VANUIT DE FOKKERIJ VOOR DE MELKSAMENSTELLING	24
6. ONTWIKKELINGEN IN DE MOLECULAIRE GENETICA EN DE VOORTPLANTING	26
7. GENETISCHE MODIFICATIE EN MELKSAMENSTELLING	28
8. CONCLUSIES	30
9. AANBEVELINGEN VOOR ONDERZOEK	32

DIFFERENTIATIE VAN BOERDERIJMELK

Verslag van een werkgroep van de NRL0-taakgroep Fokkerij
"Differentiatie melksamenstelling".

1. Inleiding en probleemstelling

Jaarlijks wordt in Nederland bijna 11 miljard kilogram melk door rundveehouderijbedrijven als grondstof afgeleverd aan de zuivelfabrieken. Wanneer de melk voldoet aan een aantal eisen op het gebied van de hygiëne, de smaak, de geur en de afwezigheid van antibiotica, accepteert de desbetreffende zuivelfabriek de grondstof. De prijs per kilogram wordt bepaald door de gehalten aan vet en eiwit in de melk. De laatste jaren is de prijsstelling zodanig dat hoge gehalten aan vet en eiwit worden gestimuleerd door een negatieve grondprijs per kilogram melk. De prijs voor het eiwit is hoger dan voor het vet. Andere componenten: lactose, vitaminen en mineralen worden niet bij de uitbetaling betrokken.

In Nederland werd in 1990 47 procent van de melk verwerkt tot kaas, 20 procent tot diverse soorten melkpoeder en boter, 15 procent tot consumptiemelkprodukten, 8 procent tot geëvaporeerde melk (evap) en 10 procent tot overige produkten. De laatste jaren stijgt de hoeveelheid melk die tot kaas verwerkt wordt ten koste van de hoeveelheid melk voor de productie van melkpoeder (evap) en boter. De zuiveltechnologie heeft zich sterk ontwikkeld en kan uit de betrekkelijk uniforme grondstof een groot scala aan hoogwaardige voedingsmiddelen produceren.

Mede door de kracht van de zuiveltechnologie is tot nu toe weinig aandacht besteed aan een betere afstemming van en wisselwerking tussen de veefokkerij, de veehouderij en de veevoeding enerzijds en de verwerking van de melk anderzijds. In andere sectoren van de agrarische produktie ontstaan steeds meer integraties van de produktieketens: de vleesproduktie, de tuinbouw en in enkele akkerbouwtakken. Het lijkt tijd om ook na te denken over een mogelijke wisselwerking tussen de zoötechniek, en dan met name de veefokkerij en de veevoeding, en de zuiveltechnologie.

Centraal dient dan de vraag te staan of zuivelprodukten efficiënter en marktgerichter geproduceerd kunnen worden door een betere onderlinge afstemming, met betrekking tot de samenstelling van melk in de ruimste zin, van de zoötechniek en zuiveltechnologie.

Het doel van dit rapport is het beantwoorden van de vraag of differentiatie naar samenstelling van boerderijmelk een wezenlijke wens is van de zuivelindustrie voor de veefokkerij en de veevoeding. Kunnen veevoeding, veefokkerij en zuiveltechnologie beter op elkaar afgestemd worden?

Allereerst zal in dit rapport ingegaan worden op de huidige samenstelling van de melk en op de wensen van de zuivelindustrie voor deze grondstof van verschillende produkten. Daarna worden de mogelijkheden besproken die respectievelijk de veevoeding en de veefokkerij bieden om te voldoen aan deze wensen. Vervolgens zal ingegaan worden op een aantal ontwikkelingen in de moleculaire genetica en de voortplantingstechnologie, die een betere afstemming van de zoötechniek op de zuiveltechnologie kunnen bevorderen. Het voorlaatste hoofdstuk behandelt de mogelijkheden van de genetische modificatie voor de melksamenstelling. Conclusies en aanbevelingen voor onderzoek vormen het besluit.

2. DE HUIDIGE MELKPRODUKTIE EN MELKSAMENSTELLING

De gemiddelde melkproduktie per koe van de gecontroleerde veestapel in 1990 - 1991 bedroeg 7001 kg melk in 314 melkdagen met 4,42 % vet en 3,48 % ruw eiwit. Sinds 1965 is de gemiddelde dagproduktie met 8 kg gestegen tot ruim 22 kg. In die periode is het vetgehalte 0,51 procent gestegen en het ruw eiwitgehalte 0,14 procent. De eiwit/vet-verhouding in de melk is gedaald van 0,85 naar 0,79. In diezelfde periode verdubbelde het krachtvoerconsumptie per koe per jaar tot 2400 kg.

Vanuit de fokkerij wordt getracht een verdere verschuiving naar een hogere melkvet-produktie tegen te gaan, door bij de berekening van de fokwaarde voor melkproduktie, de eiwitvererving drie maal zo zwaar te wegen als de vetvererving. Op grond hiervan mag bij melkvaarzen per generatie (6 - 7 jaar) een erfelijke vooruitgang worden verwacht van 929 kg melk, 36 kg vet, 32 kg eiwit, -0,07 % vet en +0,02 % eiwit.

Tabel 1.3 uit het boek "Dairy Chemistry and Physics" van Walstra en Jenness (John Wiley & Sons, New York) geeft de gemiddelde samenstelling en de structuur van melk weer. In het vervolg van dit rapport zal aandacht worden besteed aan de macro-samenstelling: water, vet, eiwit en lactose en aan de micro-samenstelling: de verzadigde en onverzadigde vetzuren, cholesterol, de wei-eiwitten en de caseïnes en de mineralen Ca en Fe.

Table 1.3. Composition and Structure of Milk, Approximate Average Quantities In 1 kg Milk

Fat Globule		Membrane		Casein Micelle	
<p><i>Glycerides</i></p> <p>triglycerides 38 g</p> <p>diglycerides 0.1 g</p> <p>monoglycerides 10 mg</p> <p><i>Fatty acids</i> 25 mg</p> <p><i>Sterols</i> 100 mg</p> <p><i>Carotenoids</i> 0.4 mg</p> <p><i>Vitamins A, D, E, K</i> 2 mg</p> <p>Water 60 mg</p> <p>Others 30 mg</p>		<p>Water 80 mg ?</p> <p>Protein 350 mg</p> <p><i>Lipids</i></p> <p>phospholipids 210 mg</p> <p>cerebrosides 30 mg</p> <p>gangliosides 5 mg</p> <p>neutral glycerides +</p> <p>sterols 15 mg</p> <p><i>Enzymes</i></p> <p>alkaline phosphatase +</p> <p>xanthine oxidase +</p> <p>many others</p> <p>Cu 4 µg</p> <p>Fe 100 µg</p>		<p><i>Protein</i></p> <p>casein 26 g</p> <p>proteose peptone 0.4 g ?</p> <p><i>Salts</i></p> <p>Ca 800 mg</p> <p>phosphate 950 mg</p> <p>citrate 140 mg</p> <p>Mg, K, Na, Zn, etc. 150 mg</p> <p><i>Enzymes</i></p> <p>lipoprotein lipase +</p> <p>plasmin +</p> <p>Water +</p>	
<p>Leukocyte</p> <p>Enzymes e.g., catalase</p> <p>Nucleic acids</p>		<p>Lipoprotein Particle</p> <p>Polar lipids</p> <p>Protein</p> <p>Enzymes</p>			
		<p>Serum</p> <p><i>Organic acids</i></p> <p>citric 1600 mg</p> <p>formate 40 mg</p> <p>acetate 30 mg</p> <p>lactate 30 mg</p> <p>oxalate 20 mg</p> <p>others 20 mg</p> <p><i>Gases</i></p> <p>oxygen 6 mg</p> <p>nitrogen 15 mg</p> <p><i>Lipids</i></p> <p>neutral glycerides +</p> <p>fatty acids 15 mg</p> <p>phospholipids 110 mg</p> <p>cerebrosides 10 mg</p> <p>sterols 15 mg</p> <p>others</p> <p><i>Vitamins</i></p> <p>B vitamins 200 mg</p> <p>ascorbic acid 20 mg</p>		<p><i>Proteins</i></p> <p>casein +</p> <p>β-lactoglobulin 3200 mg</p> <p>α-lactalbumin 1200 mg</p> <p>serum albumin 400 mg</p> <p>immunoglobulins 750 mg</p> <p>proteose peptone 200 mg ?</p> <p>others 400 mg</p> <p><i>Nonprotein nitrogenous compounds</i></p> <p>urea 300 mg</p> <p>peptides 200 mg</p> <p>amino acids 300 mg</p> <p>others</p> <p><i>Phosphoric esters</i> 300 mg</p> <p><i>Enzymes</i></p> <p>lactoperoxidase +</p> <p>acid phosphatase +</p> <p>many others</p> <p><i>Alcohol</i> 3 mg</p>	
<p>Water 870 g</p> <p><i>Carbohydrates</i></p> <p>lactose 46 g</p> <p>others 0.1 g ?</p> <p><i>Minerals</i></p> <p>Ca 370 mg</p> <p>Mg 75 mg</p> <p>K 1340 mg</p> <p>Na 460 mg</p> <p>Cl 1060 mg</p> <p>phosphate 1080 mg</p> <p>sulfate 100 mg</p> <p>bicarbonate 100 mg</p> <p><i>Trace elements</i></p> <p>Zn 400 µg</p> <p>Fe 100 µg</p> <p>Cu 20 µg</p> <p>many others</p>					

Tabel 2.1 uit het boek van Walstra en Jenness geeft een indruk van de activiteiten in de uier van een koe op de grens van bloed naar melk. Opvallend is de opbouw van de voedingsstoffen lactose, caseïne en try-glyceriden door de uier en de concentratie van Ca en P in de melk, die gepaard gaat met een verdunning van Na en Cl. In het bloed wordt de osmotische waarde vooral bepaald door de mineralen; in de melk vervult vooral lactose deze rol voor 60 procent. Met andere woorden: de lactoseproductie is mede bepalend voor de hoeveelheid geproduceerde melk.

Table 2.1. Relation between Some Milk Constituents and Their Blood Precursors

Milk Constituents		Precursors in Blood Plasma	
Name	Content g·kg ⁻¹	Name	Content g·kg ⁻¹
Water	860.	Water	910.
Lactose	46.	Glucose	0.5
Protein			
casein	26.	Amino acids	0.4
β-lactoglobulin	3.2		
α-lactalbumin	1.2		
lactoferrin	0.1		
blood serum albumin	0.4	Blood serum albumin	32.
immunoglobulins	0.7	Mostly the same	15.
Enzymes	traces	Amino acids, vitamins (in part)	—
Fat		{ Acetate β-hydroxybutyrate Some lipids Glucose	0.1 0.06 2. 0.5
triglycerides	38.		
phospholipids	0.3		
Citrate	1.6		
Minerals			
Ca	1.3	Ca	0.1
P	0.9	P	0.1
Na	0.4	Na	3.4
K	1.5	K	0.3
Cl	1.1	Cl	3.5

Kennis van de synthese van melkbestanddelen geeft een verklaring voor correlaties tussen gehalten. Deze correlaties zijn dus fysiologisch bepaald en zijn moeilijk beïnvloedbaar. Dit betreft onder meer:

- Door de genoemde constantheid van de osmotische druk een sterk negatieve correlatie tussen lactose en Na + Cl.
- Door de aanwezigheid van "Na/K-pompen" in de klierepitheelcellen een sterke negatieve correlatie tussen Na en K.
- Doordat citraat sterk calcium bindt, een sterke negatieve correlatie tussen citraat en calciumionen (van belang voor de strembaarheid van de melk).
- Door de vorming van caseïnemellen een positieve correlatie tussen caseïne en Ca + anorganisch fosfaat.
- Ten gevolge van de aard van de secretie mogelijk een positieve correlatie tussen vet en eiwit; hierin bestaat echter onvoldoende inzicht.

3. DE GEWENSTE SAMENSTELLING VAN DE MELK

In de landbouwkwaliteitswet is melk gedefinieerd als het produkt dat verkregen wordt door het melken van runderen zonder dat melkbestanddelen worden toegevoegd of onttrokken. Alleen voor het vetgehalte is standaardisatie toegestaan. Maar men moet dan wel in de verkregen produkten het vetgehalte definiëren.

De gemiddelde samenstelling van de gecontroleerde Nederlandse veestapel is als volgt:

vet	4,42 %
ruw eiwit	3,48 %
lactose	4,6 %
zouten	0,85 %.

Als we spreken over de gewenste samenstelling van melk dan is deze sterk afhankelijk van de gekozen invalshoek. Zo kan de gewenste samenstelling gekozen worden als functie van:

- A. de kwalitatieve samenstelling van de verschillende melkbestanddelen en
- B. de kwantitatieve samenstelling.

Welke het meest gewenst is, hangt af van:

- 1° de aanwending: welk produkt wordt er uit gemaakt?
- 2° de huidige quotumregeling,

- 3° de voortbrengingskosten op de melkveebedrijven en
- 4° de marktverhoudingen.

3.A De gewenste kwalitatieve samenstelling van de melkcomponenten

- **Vet:** De samenstelling van melkvet is zeer karakteristiek. Melkvet heeft een laag gehalte aan meervoudige onverzadigde vetzuren en is rijk aan korte vetzuren. Een gedetailleerde beschrijving van de samenstelling van melkvet is weergegeven in tabel 5.2 uit het boek van Walstra en Jenness. Daar het niet zo eenvoudig is om de vetsamenstelling door middel van fokkerij of voeding te wijzigen en er mogelijkheden zijn om melkvet te fractioneren en te mengen met andere vetten, is een advies voor de samenstelling van melkvet dan ook niet opportuun. Cholesterol, dat momenteel in de publieke belangstelling staat en in melkvet voorkomt, is voedingskundig gezien niet van belang. Veelal wordt beweerd dat consumptie van melkvet leidt tot verhoging van de cholesterolspiegel van het bloed en daardoor tot verhoging van de incidentie van hart- en vaatziekten. De oorzaak zou liggen in het in melkvet aanwezige cholesterol en in het overwegend verzadigde karakter van de samenstellende vetzuren van melkvet. Het eerstgenoemde is onjuist: de opname van cholesterol in hoeveelheden zoals die uit melkvet afkomstig kunnen zijn, heeft nauwelijks invloed op de cholesterolspiegel. Het andere, verhoging van de cholesterolspiegel door verzadigd vet, is wel aangetoond, maar

- a. de verhoging door consumptie van melkvet is gering en ook andere factoren hebben invloed; zo is tekenend dat het gebruik van volle melk de cholesterolspiegel lijkt te verlagen;
- b. het verband met de sterfte aan hart- en vaatziekten is zeer zwak. Tot nu toe is een dergelijk verband alleen aangetoond voor mannen van 40 - 60 jaar. Bovendien is nimmer aangetoond dat vermindering van het gebruik van "verzadigd" vet leidt tot vermindering van de totale sterfte.

Al met al lijkt er geen reden te zijn om de bevolking het gebruik van melkvet af te raden (misschien wel om het totale vetgebruik te beperken). Verwacht mag worden dat dit inzicht op den duur ook tot de consument zal doordringen.

Table 5.2. Outline of Fatty Acid Composition of Milk Lipids

Acid	Notation	Melting Point (°C)	Solubility at 25°C (mg/100 ml water)	Composition (in mol %) of			
				Neutral Glycerides*	Phospho-lipids	Free Fatty Acids*	Cholesteryl Esters
Saturated				69.0 (57-80)	45.0	72.0	63
Butyric	4:0	-8	∞	8.5 (7-14)	—	14.5	—
Caproic	6:0	-4	970.00	4.0 (2-7)	—	4.5	—
Caprylic	8:0	16	73.00	1.8 (1-3.5)	0.2	2.0	1
Capric	10:0	31	6.00	3.0 (1.5-5)	0.2	2.0	3
Lauroic	12:0	44	0.55	3.6 (2.5-7)	0.5	2.0	4
Myristic	14:0	54	0.18	10.5 (8-15)	3.0	9.0	15
Palmitic	16:0	63	0.08	23.5 (20-32)	19.0	21.0	25
Stearic	18:0	70	0.04	10.0 (6-13)	12.0	13.0	12
Odd-numbered				2.5 (1.5-3.5)	4.5	2.5	3
Branched				1.1 (0.7-1.8)	0.7	1.0	?
Other				0.7 (0.3-2)	5.0	?	?
Monoene				27.0 (18-36)	41.0	23.0	30
Palmitoleic	16:1 Δ9'			1.4	?	?	?
Oleic	18:1 Δ9'	16		21.0 (13-28)	38.0	19.8	24
Other (unspecified)				5.5	3.0	3.5	6
Diene				2.5 (1-4.3)	8.0		
Linoleic	18:2 Δ9,12'	-5	21.00	1.8	8.0	2.3	2
Other				0.7	0.2	?	
Polyene				0.8 (0.4-2)	4.0		
α-linolenic	18:3 Δ9,12,15'	-12		0.4	2.0	?	
Other				0.4	2.0	?	
Keto				0.3	?	?	
Hydroxy				0.3	?	?	
Fatty alcohol				0.01	0.15		
Fatty aldehyde				0.02	0.01		
Unclassified					2.0	1.0	5

*In parentheses is the approximate range found in the literature

*The data on free fatty acids are very tentative and refer to acids liberated by the action of milk lipase only.

*All cis.

Table 6.3. Concentration of Proteins in Milk

	Concentration in Milk		Percentage of Total Protein (w/w)
	g·kg ⁻¹	mmol·m ⁻³	
Total Protein	33.0	~1490	100.0
Total Casein	26.0	1170	79.5
Whey Proteins	6.3	~320	19.3
Fat Globule Membrane Proteins	0.4		1.2
α ₁ -casein	10.0	440	30.6
α ₂ -casein	2.6	110	8.0
β-casein	9.3	400	28.4
γ-casein	0.8	40	2.4
κ-casein	3.3	180	10.1
α-lactalbumin	1.2	90	3.7
β-lactoglobulin	3.2	180	9.8
Blood Serum Albumin	0.4	6	1.2
Immunoglobulins	0.7	~4	2.1
Miscellaneous (including Proteose-Peptide)	0.8	~40	2.4

- **Eiwit:** Het ruw eiwit in de melk (N-gehalte x 6.38) bestaat uit caseïne, wei-eiwitten en Niet-Eiwit-N (NPN). Uit de grafieken op de volgende pagina blijkt dat ongeveer 5 % van het ruw eiwit NPN is. Het NPN-gehalte blijkt in de weideperiode iets hoger te zijn dan in de stalperiode. De caseïne- en wei-eiwitfractie bedragen respectievelijk 78 % en 17 %. Binnen de eiwit-fractie zou een verschuiving van α -caseïne AA en β -lactoglobine AA naar de BB varianten gewenst kunnen zijn, omdat dit kan resulteren in een hogere kaasopbrengst (zie 3B-a). Een onderverdeling van de melkeiwitten staat in tabel 6.3 ontleend aan het boek van Walstra en Jennes.
- **Lactose:** Lactose is een koolhydraat dat langzaam wordt afgebroken in de darm waardoor er geen hoge glucosespiegels in het bloed ontstaan. Alhoewel algemeen wordt aangenomen dat lactose een belangrijke rol speelt bij de calciumabsorptie, is dit nooit door humaan experimenteel onderzoek bevestigd. Er is geen wens om de koolhydraatsamenstelling te wijzigen.
- **Mineralen:** Melk is een belangrijke mineralenbron voor de mens. Vanuit het oogpunt van humane voeding is er weinig aanleiding tot wijzigen van de mineralensamenstelling.
- **Vitaminen:** Melk is een vitaminebron: A, B1, D, E maar vooral van B2.
- **Overige stoffen:** Het is belangrijk dat er geen contaminanten in melk terecht komen.

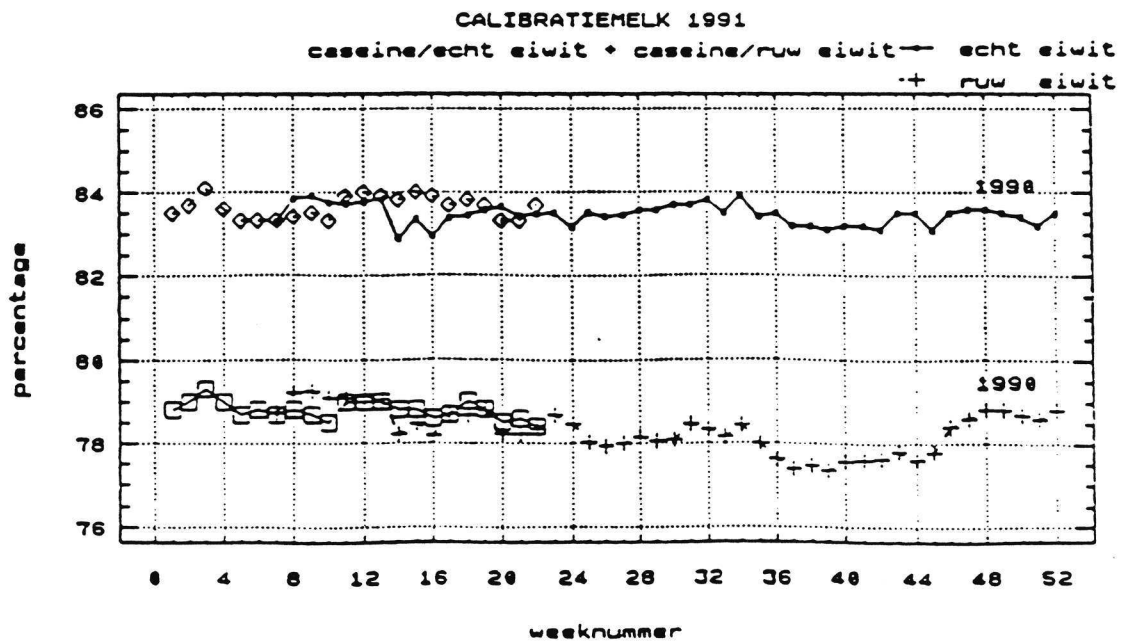
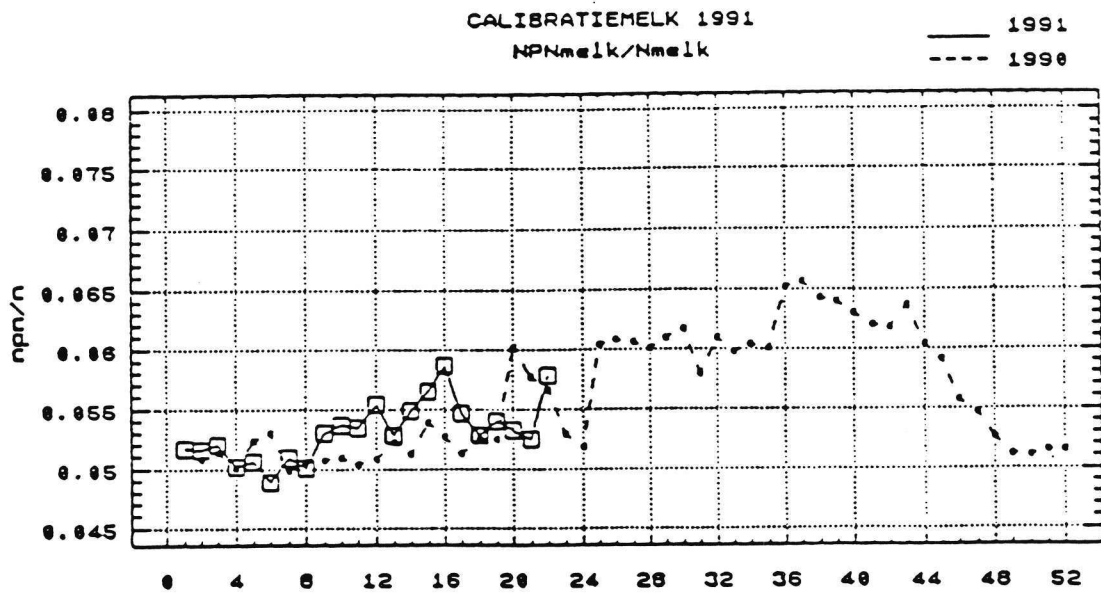
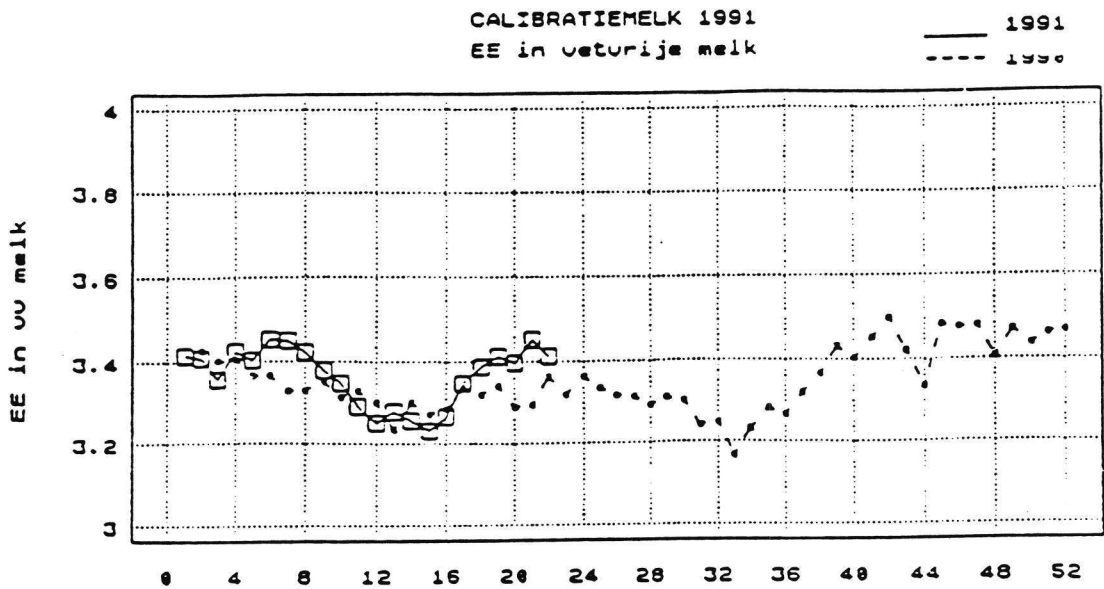
3.B De gewenste kwantitatieve samenstelling van melk

a) De gewenste samenstelling van de melk in relatie tot de aanwending

Melk wordt aangewend voor een viertal produktgroepen, namelijk: consumptiemelk, evap, poeder en kaas. In andere produktgroepen zoals babyvoeding, ijsmix en creamers etc. is de samenstelling van de uitgangsmelk minder relevant omdat deze produkten qua samenstelling aangepast worden.

Bij de bereiding van consumptiemelk, evap en poeder zal het totaal aan vetvrije melkdrogestof overgaan in het produkt. Het vetgehalte kan naar "wens" worden ingesteld. Op deze wijze kunnen magere, halfvolle en volle melk worden verkregen, alsmede magere en volle poeder of evap van gewenste samenstelling, bijvoorbeeld 9/22 (9 % vet, 22 %v vetvrije melkdrogestof). De gebezigde produktnamen zijn onafhankelijk van het eiwitgehalte. In deze produkten kan dus een variatie in eiwitgehalte voorkomen hetgeen zijn in-

Verdeling van N-componenten in melk per aanvoerweek (EE = echt eiwit).



vloed heeft op de kostprijs van het produkt. Bij de huidige Nederlandse opbrengstprijzen per kg voor de componenten (eiwit f 13,-, vet f 7,-, lactose f 1,-) krijgen we uitsluitend als gevolg van variatie in eiwitgehalte de volgende grondstofprijverschillen uitgaande van melk met een gemiddeld en een laag eiwitgehalte (zie tabel 1).

Tabel 1. Grondstofprijverschil tussen melk met een gemiddeld en laag eiwitgehalte in ct/l of kg.

Melkgrondstof	Consumptie- melk	Magere poeder	Evap x, 22
gem. eiwitgehalte (3,48 % E) t.o.v. laag eiwitgehalte (3,25 % E)	+ 2	+ 15	+ 3

Uit de gegevens van tabel 1 blijkt dat melk met een "hoog" eiwitgehalte voor deze produktgroepen een dure grondstof is, wanneer er niet op eiwitgehalte gestandaardiseerd mag worden.

Vet gedraagt zich voor de prijs als min of meer inert materiaal; er wordt immers gestandaardiseerd.

Bij de kaasbereiding gaat een deel van het eiwit namelijk de caseïne over in het eindprodukt evenals de gewenste hoeveelheid vet. De resterende drogestof zoals wei-eiwitten, lactose en mineralen komen voor het grootste deel in de wei terecht. Alleen bij de kaasbereiding is er een directe relatie tussen het eiwitgehalte en de kaasopbrengst.

Vanuit het oogpunt van de aanwending kan de wens omtrent een relatief geringe samenstellingsverandering van melk op korte termijn onder de huidige randvoorwaarden als volgt worden weergegeven (zie tabel 2).

Tabel 2. De gewenste samenstellingsverandering van melk gedifferentieerd naar de aanwending.

Component	Consumptiemelk	Evap	Poeder	Kaas
vet	+	+	+	+
caseïne	-	-	-	+
wei-eiwit	-	-	-	0
lactose	0	+	+	+

Een nadere toelichting voor de verschillende componenten is als volgt:

- **Vet:** Een hoger vetgehalte geeft een hogere totaalopbrengst van de eindprodukten. Het "overschot" levert in de vorm van boter of boterolie een bijdrage aan de opbrengst.

- **Eiwit:** Bij de kaasbereiding resulteert een hoger eiwitgehalte in een hogere kaasopbrengst. Bij een hoger eiwitgehalte wordt dus uit eenzelfde hoeveelheid melk meer kaas verkregen, hetgeen als gevolg van lagere verwerkingskosten een hogere bijdrage oplevert.

De kaasopbrengst is niet alleen afhankelijk van het eiwitgehalte maar ook van de genetische varianten. De variant κ -caseïne BB en β -lactoglobuline BB geeft een extra kaasopbrengst van 3 % t.o.v. de variant κ -caseïne AA en β -lactoglobuline AA. We moeten ons realiseren dat deze hogere kaasopbrengst tevens inhoudt dat het eiwitgehalte in de wei lager zal zijn. Indien men alleen weipoeder maakt, is er een duidelijke voorkeur voor de BB, BB varianten, terwijl deze voorkeur voor wei-veredelaars minder duidelijk gewenst is omdat de eiwitcomponent in de veredelde produkten een veel hogere bijdrage levert dan in weipoeder.

- **Lactose:** Voor het rendement in de bereiding van poeder en condens is een verhoogd lactosegehalte van belang. Verschillen in lactosegehalte van boerderijmelk worden niet in de prijsstelling betrokken, maar bepalen bij deze produkten wel voor een groot deel de opbrengst.

b) De invloed van de quotumregeling op de gewenste melksamenstelling

Volgens de huidige quotumregeling mag een veehouder een beperkt aantal kg melk produceren met een beperkt vetgehalte.

Wordt het vetgehalte overschreden dan wordt extra gekort op het aantal kg melk. Een te hoog vetgehalte houdt dus automatisch in dat er ook minder eiwit geproduceerd kan worden. Gelet op deze regeling is het gewenst dat het vetgehalte naar beneden gebracht wordt, terwijl de andere gehalten op peil dienen te blijven.

De gewenste samenstelling van de melk voor de verschillende produktgroepen ziet er nu als volgt uit (zie tabel 3).

Tabel 3. De gewenste samenstelling van de melk rekening houdend met de huidige quotumregeling.

Component	Consumptiemelk	Evap	Poeder	Kaas
vet	-	-	-	-
caseïne	-	-	-	+
wei-eiwit	-	-	-	+
lactose	0	+	+	+

De belangrijkste conclusie uit tabel 3 is dat het vetgehalte van de melk te hoog geworden is. De gezamenlijke veehouders en de zuivelindustrie zijn gebaat met een lager vetgehalte mits dit niet gepaard gaat met een daling van het eiwitgehalte.

c) De gewenste samenstelling van de melk in relatie met de voortbrengingskosten op het melkveebedrijf

Het is niet geheel duidelijk welke kosten aan krachtvoer toegerekend moeten worden aan een extra verhoging van de melkcomponenten. Het is wel duidelijk dat ook hier een optimum is tussen voerkosten en opbrengsten. De veehouder zal voor zijn bedrijf het optimum moeten vaststellen. Grondstoffen die het vetgehalte van de melk verhogen kunnen als snel te duur worden omdat als gevolg van de vetcorrectie het totaal te produceren quotum wordt verlaagd. De veehouder zal trachten een zo hoog mogelijke prijs voor zijn melk te realiseren. De ideale samenstelling voor de veehouder onder de huidige quotumregeling zal zijn een laag vetgehalte en een hoog eiwitgehalte.

d) De gewenste samenstelling van melk vanuit het oogpunt van de marktverhoudingen

Als gevolg van budgettaire lasten van de EEG en gesteund door druk vanuit de GATT is te verwachten dat de prijs voor boerderijmelk zal afnemen. De waarde van het vet zal naar verwachting het sterkst dalen hetgeen weer zal leiden tot een toename van de consumptie. Een veronderstelde toename van de boterconsumptie wordt mede gesteund door de recente onderzoeken naar de relatie tussen voeding en gezondheid, alsmede door de sterke trend naar natuurlijke produkten. Indien deze veronderstellingen juist zouden zijn, zou de gewenste verandering van de samenstelling van melk overeenkomen met die weergegeven in tabel 2.

Resumé ten aanzien van de gewenste melksamenstelling

- Het afgeven van een zoötechnisch advies is niet eenvoudig en wordt sterk bepaald door politiek en regelgeving van het moment. Op dit moment kan de melkveehouder binnen de quotumregeling het vetgehalte van de melk niet straffeloos verhogen. De zuivelindustrie mag de aangevoerde melk vóór het bereidingsproces van zuivelprodukten alleen standaardiseren op vetgehalte.
- Gelet op de huidige quotumregeling en levensmiddelenwetgeving is in principe differentiatie naar melksamenstelling en aanwending gewenst. Voor de totale melkveestapel kan geen éénduidig advies worden afgegeven. Bijvoorbeeld het fokken van een hoger eiwitgehalte heeft voor ruim 50 % van de melk tot gevolg dat de grondstof duurder wordt, terwijl hier geen extra opbrengsten tegenoverstaan. Voor de overige 47 % (kaasmelk) resulteert een hoger eiwitgehalte ook in hogere opbrengsten.
- Bij de huidige quotumregeling is een algemeen geldend advies: Verlaag het vetgehalte van melk en verhoog de andere componenten met name het eiwit.
- Uit concurrentie-overwegingen zal er internationaal op moeten worden aangedrongen dat standaardisatie van zuivelprodukten naar samenstelling mag plaatsvinden.
- Indien standaardisatie wordt toegestaan, luidt het fokadvies (bij handhaving vetcorrectie quotumregeling):
 - . verlaag het vetgehalte en
 - . verhoog het eiwitgehalte.

- Indien uitsluitend met de kaasopbrengst per kg melk rekening wordt gehouden, is er voorlopig een duidelijke voorkeur voor α -caseïne BB, β -lactoglobuline BB.

4. MOGELIJKHEDEN VANUIT DE VEEVOEDING VOOR DE MELKSAMENSTELLING

In de melkveehouderij en de melkveevoeding in Nederland staan nu, en naar verwacht mag worden ook in de nabije toekomst, de volgende doelstellingen centraal:

- a. Verlaging van de kostprijs van een kg geproduceerde melk.
- b. Vergroting van het aandeel ruwvoer in het rantsoen.
- c. Beïnvloeding van de samenstelling van melk (meer eiwit, minder vet, en mogelijk een andere vetsamenstelling).
- d. Terugdringen van de uitstoot van N (en mineralen) en methaan in fermentatiegassen, mest en urine.

Behalve door de erfelijke aanleg van de koe worden melkproductie en melksamenstelling bepaald door de hoeveelheid en de aard van de voor de koe beschikbaar komende voedingsstoffen. Deze voedingsstoffen of nutriënten komen pas na microbiële omzetting van voer in de voermagen en resorptie van de daarbij gevormde en overblijvende eindprodukten uit magen en darm, voor het dier beschikbaar. Organische nutriënten hebben als gemeenschappelijk kenmerk dat ze energie bevatten. Deze energie komt in drie grondvormen voor: energie waaruit het dier respectievelijk vet (melk, lichaam), eiwit (melk, lichaam) en koolhydraten (melk) kan maken. De drie vormen van energie worden ook wel aangeduid als lipogene, aminogene en glucogene energie. Tussen de drie vormen bestaat enige overlap; ze kunnen elkaar in het dier in beperkte mate vervangen.

Het niveau van melkproductie wordt vooral bepaald door de totale opname aan energie. Beperkende factoren hierbij zijn naar alle waarschijnlijkheid de energiedichtheid (VEM/kg ds), de snelheid en de omvang van de synthese van vluchtige vetzuren (pH) en de snelheid van afvoer van zowel onverteerd voer als van gevormde eindprodukten. Ook het onvoldoende of niet op het juiste moment beschikbaar zijn van groeifactoren voor de pensmicroben kunnen beperkende factoren zijn.

Energie voor de produktie van melk komt voor 45 % terecht in (lipogene) vetzuren, 25 % in (glucogene) lactose, 5 % in (glucogene) glycerol en 25 % in (aminogeen), maar na desaminering tegelijkertijd deels lipogeen en deels glucogeen eiwit. Voor de vorming van vetzuren, lactose + glycerol en eiwit zijn in de uier respectievelijk lipogene, glucogene en aminogene bouwstoffen nodig. Onderlinge vervangingsmogelijkheden beperken zich tot een deel van glucogene en aminogene energie. De melksamenstelling is tot op zekere hoogte een weerspiegeling van de verhouding waarin de lipogene, aminogene en glucogene bouwstoffen vanuit het maagdarmkanaal beschikbaar komen. Zulke bouwstoffen zijn de vluchtige vetzuren azijnzuur (lipogeen), propionzuur (glucogeen) en boterzuur (lipogeen) uit de pens en aminozuren (aminogeen + deels glucogeen, deels lipogeen), langketige vetzuren (lipogeen) en glucose (glucogeen) uit de dunne darm. Ook kunnen bouwstoffen voor melkproduktie beschikbaar komen uit de lichaamsreserves. Dit zijn 85 - 90 % langketige vetzuren (lipogeen) met daarnaast ca. 5 % glycerol (glucogeen) en 10 % aminozuren (aminogeen, maar ook deels lipogeen, deels glucogeen).

Voor het veranderen van de melksamenstelling via de voeding is het nodig de verhouding waarin de drie zojuist genoemde "stromen" van bouwstoffen uit het maagdarmkanaal of uit de lichaamsreserves beschikbaar komen, te wijzigen. Een mogelijkheid om dit in het onderzoek te realiseren, is het na de voormagen (lebmaag, begin dunne darm, bloedbaan) geven van een infuus van de betreffende bouwstof. De tot op heden op deze wijze bereikte veranderingen in melksamenstelling worden weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 4. Invloed van een infuus van voedingsstoffen op de melksamenstelling.

Infuus	% gerealiseerde verandering t.o.v. controle			
	melkproductie (kg)	vet	eiwit gehalten	lactose
azijnzuur	+8,3	+8,9	-1,2	+2,1
propionzuur	-1,6	-8,3	+6,5	+0,8
boterzuur	-4,9	+14,2	+2,2	+2,2
glucose	+5,5	-10,3	-1,1	+0,9
aminozuren	+7,2	-2,5	+5,9	+0,5
langketige vetzuren	+2,1	+13,1	-	-

Bronnen: P.C. Thomas & P.A. Martin, 1988. The influence of nutrient balance on milk yield and composition. In: Nutrition and Lactation in the Dairy Cow. P.C. Garnsworthy (Ed.), pp. 97-118, Butterworth, London.
P.C. Thomas & D.G. Chamberlain, 1984. Manipulation of milk composition to meet market needs. In: Recent Advances in Animal Nutrition. W. Haresign and D.J.A. Cole (Eds.), pp. 219-243, Butterworth, London.

Door gerichte rantsoensamenstellingen zouden veranderingen als bovengenoemd ook bewerkstelligd moeten kunnen worden. In de praktijk zijn veranderingen in melksamenstelling echter minder voorspelbaar, omdat door een rantsoenverandering vaak op meerdere plaatsen de verdeling van energie wordt beïnvloed. Het effect hangt zowel bij een infuus als bij een rantsoenverandering ook af van de invloed die een verhouding van nutriëntenstromen heeft op de intermediaire stofwisseling, met name de endocrine evenwichten. Vooral de hormonen somatotropine en insuline lijken hierbij een belangrijke rol te spelen. Van beide hormonen wordt aangenomen dat ze de verdeling van voedingsstoffen (nutrient partitioning) tussen melkklier en andere weefsels en organen (o.a. reserves) beïnvloeden. Hoewel endocrine evenwichten voor een groot deel erfelijk bepaald zijn, kunnen ze via de voeding worden beïnvloed.

Kwantitatieve en kwalitatieve veranderingen in de stromen van zowel voedingsstoffen als van niet bruikbare eindprodukten van de stofwisseling (ureum, endogeen eiwit), en daardoor veroorzaakte veranderingen in hoeveelheid en samenstelling van melk alsmede de samenstelling van mest en urine, zijn in een melkkoe in principe in beperkte mate mogelijk door:

1. Keuze van grondstoffen en/of (bio-)technologisch behandelen daarvan.
2. Het beïnvloeden van de pensflora door antibiotica (bijvoorbeeld avoparcine of anderszins).

3. Het beïnvloeden van de endocrine evenwichten.
4. Het beïnvloeden van de benutting van extra geresorbeerd eiwit.

Optimalisering van de pensfermentatie is mogelijk door het op elkaar afstemmen van o.a. de snelheid waarmee eiwit en energie worden afgebroken. Dit kan enerzijds bereikt worden door een gerichte grondstoffenkeuze, anderzijds door het in positieve of negatieve zin beïnvloeden van de snelheid waarmee afbraak plaatsvindt. Doorgaans betekent dit het verhogen van de afbraaksnelheid van celwanden en het verlagen van die van eiwit en zetmeel. Penscapaciteit van (ruw-)voerverwerking kan wellicht positief beïnvloed worden door fysische, chemische of enzymatische "ontsluiting" van celwanden. Naast verkleining van het niet verteerbare deel zal dit vaak ook de snelheid van afbraak van het wel verteerbare deel verhogen.

"Bestendig" eiwit heeft tot nu toe in Nederland vooral geleid tot verhoging van melkproductie en vetgehalte. Dit is mogelijk te verklaren doordat de in Nederlands krachtvoer opgenomen bestendige eiwithoudende grondstoffen een stabiliserende invloed hadden op de pensfermentatie. Dit wellicht als gevolg van het combineren van weliswaar bestendige, maar overwegend matig eiwitrijke grondstoffen (kokos- en palmpitprodukten, bierbostel) tot mengvoeders. Een combinatie van eiwitarme grondstoffen (bietenspulp, sojablizen, maissilage, tarwe en/of maiszemelen) met eiwitrijke en tevens bestendige grondstoffen (aardappelwit, vismeel, verenmeel, maisgluten, bloedmeel) zou mogelijk een groter effect op het melkeiwitgehalte kunnen hebben. Het via beïnvloeding van de pensfermentatie veranderen van de stromen van nutriënten in de koe is mogelijk met coccidiostatica, antibiotica en aanverwante stoffen zoals rumensin, avoparcine, actaplanin e.d. Antibiotica veroorzaken doorgaans een verschuiving in de pensfermentatie van azijnzuur naar propionzuur met veelal een negatieve invloed op het melkvetgehalte en maar weinig effect op het melkeiwitgehalte. Stoffen die selectief de protozoën uitschakelen, bieden ook perspectief. Uitschakelen van de protozoën maakt de microbiële eiwitsynthese efficiënter en als gevolg daarvan wordt de eiwittoevoer naar de dunne darm hoger. Op dit moment zijn er echter nog geen veilige stoffen beschikbaar die praktisch bruikbaar zijn. Van levende gisten is bekend dat ze soms een positief effect hebben. Waarschijnlijk hebben ze een stabiliserende werking op de pensflora. Voorzover bekend beperken de gevolgen zich tot een iets verhoogde pH en een iets verhoogd gehalte aan azijnzuur, resulterend in hetzij een hogere melkproductie met

ongeveer gelijkblijvende gehalten, hetzij een gelijke melkproduktie met iets verhoogde gehalten. In het laatste geval is het vetgehalte vaak sterker verhoogd dan het eiwitgehalte. In sommige situaties lijken de pensmicroben onvoldoende in staat om de voor hoge melkproducties benodigde B-vitamines te produceren. Er zijn met name aanwijzingen dat niacine soms in een tekort positie verkeert.

Met het beschikbaar komen van recombinant-DNA bovine somatotropine (BST) is het nu mogelijk om de melkproduktie sterk te stimuleren (10 - 25 %). Vermoed wordt dat dit o.a. tot gevolg heeft dat de afvoer van vluchtige vetzuren uit de pens wordt versneld, waardoor na verloop van tijd de voeropname wordt verhoogd. Voorzover bij BST-toediening een verandering optreedt in de gehalten in melk is er een tendens tot een iets verhoogd vetgehalte en een iets verlaagd eiwitgehalte. Een soortgelijke melkproduktiestijging, die na een aantal weken wordt gevolgd door een voeropnameverhoging, doet zich voor bij de introductie van drie maal daags melken. Ook hier zou een versnelde afvoer van vluchtige vetzuren uit de voormagen wel eens de oorzaak van de verhoogde opname kunnen zijn. Voorzover er bij drie maal daags melken veranderingen optreden in de gehalten is er een tendens tot zowel een lager vetgehalte als een lager eiwitgehalte.

Het verhogen van de toevoer van eiwit naar de dunne darm en de daaruit voortvloeiende verhoogde eiwitresorptie betekent nog niet dat dit extra eiwit efficiënt wordt benut voor het maken van melkeiwit. De benutting voor melkeiwitproduktie van na de voormagen (lebbmaag, dunne darm) geïnfuseerd caseïne is betrekkelijk laag en varieert van minder dan 10 % tot ca. 35 % maar neemt toe met een toenemende produktie. Alleen wanneer de dieren in een extreem sterk negatieve energiebalans verkeren, lijken hogere efficiënties mogelijk.

De hierboven genoemde mogelijkheden om de onderlinge verhouding in het aanbod van nutriënten en daarmee de melksamenstelling te beïnvloeden, is slechts mogelijk door een duidelijker en vooral meer kwantitatief inzicht in zowel de omzettingsprocessen in het maagdarmkanaal als de reguleringsprocessen in de intermediaire stofwisseling waardoor de verdeling van nutriënten tussen de diverse weefsels en organen wordt bepaald. Hiervoor zijn de thans gangbare voederwaarderingssystemen ontoereikend. Om dit in de toekomst beter mogelijk te maken, is een geïntegreerde dynamische voederwaardering noodzakelijk.

Met een geïntegreerd dynamische voederwaardering wordt bedoeld een voederwaardering die niet is opgesplitst in een waardering voor energie en een waardering voor eiwit, maar een systeem waarin alle individuele voedingsstoffen, die een bijdrage leveren aan de energievoorziening geïntegreerd zijn opgenomen, inclusief de tussen de voedingsstoffen voorkomende interacties. Bovendien is het een voederwaarderingssysteem dat zich richt op de doorgaans op dynamische wijze verlopende dosis-respons-relaties in plaats van op het trachten te voldoen aan behoeftenormen, met behulp van veelal vaste, statische efficiëntie factoren.

In het navolgende wordt kort aangegeven hoe de kwantitatieve en kwalitatieve melksamenstelling door de voeding op basis van onze huidige kennis is te beïnvloeden:

Vet:

Relatief gezien is zowel het vetgehalte als de vetsamenstelling van de melk sterk via de voeding te beïnvloeden, o.a. door de verhouding tussen (lang) ruwvoer en (gemalen) krachtvoer. Veel ruwvoer werkt positief op het vetgehalte, veel krachtvoer werkt tegengesteld. Daarnaast is beïnvloeding mogelijk door de kwaliteit van ruwvoer (veel ruwvezel werkt positief) en krachtvoer (veel zetmeel en suikers werken negatief). Teveel ruwvezel in het rantsoen leidt bij hoog-productieve koeien tot een te lage energie-opname, wat een ongunstige eiwit/vet verhouding in de melk tot gevolg heeft, omdat dit leidt tot de mobilisatie van (lipogene) vetreserves uit het lichaam.

Verzadigde vetten in het rantsoen hebben doorgaans een positieve invloed op het melkvetgehalte. Grote hoeveelheden poly-onverzadigde vetten zijn daarentegen giftig voor de micro-organismen in de pens. Wanneer deze vetzuren "gecoat" worden (d.w.z. beschermd tegen aantasting door de pensmicroben) komt maximaal 30 - 50 % ervan in melkvet terecht. Hierdoor wordt de melk echter veel gevoeliger voor oxidatie. De lage efficiëntie van inbouw, de hoge kosten van het coatingsproces, de slechte kwaliteit van de melk en de daaruit bereide producten en de risico's van residuën van coatingsstoffen in de melk hebben verhindert dat deze methode praktische toepassing heeft gevonden.

Eiwit:

Het eiwitgehalte in de melk kan in geringe mate positief beïnvloed worden door het eiwitgehalte in het rantsoen en door het verlagen van de ruwvoer/krachtvoer verhouding. Boven de 160 g/kg ds heeft een verhoogd ruw eiwitgehalte nauwelijks invloed. De overmaat wordt in de pens afgebroken tot ammoniak en afgevoerd naar de lever, waar omzetting in ureum, gevolgd door uitscheiding (via de nieren) in de urine plaatsvindt. Wel kan meer ureum (NPN) in de melk terechtkomen waardoor het eiwitgehalte wordt overschat.

Bestendige eiwitten, d.w.z. eiwitten die afbraak in de pens overleven, kunnen het melkeiwitgehalte soms verhogen. Een grotere krachtvoergift heeft doorgaans een hoger aanbod aan glucogene nutriënten tot gevolg wat kan leiden tot het sparen van aminogene (maar tegelijkertijd glucogene) nutriënten, wat een licht positief effect op het melkeiwitgehalte kan hebben.

Lactose:

Het lactosegehalte van de melk is moeilijk door de voeding te beïnvloeden. Koeien die lange tijd in een (sterk) negatieve energiebalans verkeren, hebben soms een licht verlaagd gehalte aan lactose in de melk.

Mineralen:

Voor mineralen (Ca, Fe) geldt eveneens dat ze moeilijk via de voeding te beïnvloeden zijn. Tekorten aan mineralen in het rantsoen leiden eerder tot ziekteverschijnselen dan dat er verlaagde gehalten aan mineralen in de melk optreden.

5. MOGELIJKHEDEN VANUIT DE FOKKERIJ VOOR DE MELKSAMENSTELLING

De eiwit/vet verhouding: Zowel het vet- als het eiwitgehalte van de melk hebben een hoge erfelijkheidsgraad (0,6). De genetische spreiding is voor het vetgehalte tweemaal zo hoog als voor het eiwitgehalte.

De percentages aan vet en eiwit in de melk zijn negatief genetisch gecorreleerd met de hoeveelheid melk (-0,3). Deze percentages zijn onderling positief genetisch gecorreleerd. De correlatie is 0,6. Selectie op vetgehalte zal positieve gevolgen hebben voor het eiwitgehalte en omgekeerd. De correlatie van 0,6 biedt toch enige perspectieven om de vet/eiwit verhouding in

de melk gunstig te beïnvloeden door selectie. De spreiding in eiwit/vet ratio bij de Nederlandse zwartbonten is 0,06 (gem. = 0,79). Er zijn uitschieters met een ratio > 1,00. Dit zijn koeien met extreem lage vetgehalten. Uit Canadees onderzoek blijkt dat selectie op kg eiwit en op eiwit/vet verhouding een goed fokdoel is om het rendement van de melkeiwitproductie op te voeren. In dat geval moet er wel een daling van het vetgehalte in de melk geaccepteerd worden. Een dergelijk fokdoel stelt ook andere (moeilijke) eisen aan het rantsoen van een melkkoe. Op darmniveau moeten er minder lipogene en meer aminogene voedingsstoffen beschikbaar komen. Dit vraagt relatief hoge krachtvoergiften en een goede krachtvoersamenstelling. In Nederland wordt door de vakgroep Veefokkerij van de LU een selectieproef uitgevoerd om twee extreme lijnen met betrekking tot de verhouding eiwit/vet te fokken.

Eiwit en eiwitsamenstelling: De afgelopen jaren is het onderzoek naar de relatie tussen verschillende genetische varianten voor melkeiwitten en de kaasopbrengst opgeleefd. In de melk is de eiwitfractie opgebouwd uit werkelijk eiwit en NPN. Het werkelijk eiwit is te onderverdelen in caseïnes en wei-eiwitten. De caseïnes zijn te onderscheiden in α -, β -, en κ -caseïnes. Met behulp van stremsel wordt de laatste in het kaasbereidingsproces opgesplitst in para-caseïne en glyco-macro-peptiden. Deze "GMP's" komen niet in de kaas terecht. De B-variant van κ -caseïne gaat gepaard met een hoger melkeiwitgehalte, een iets lagere fractie aan wei-eiwitten, een hogere fractie aan GMP's en een hogere Ca-concentratie in de melk. De B-variant van β -lactoglobuline gaat samen met een lagere fractie aan wei-eiwitten, met name van lactoglobuline (en iets meer α -lactalbumine) en gaat gepaard met een grotere overgang van eiwit naar de kaas. De stremming van de melk wordt voor een groot deel beïnvloed door de κ -caseïne variant, al kunnen de verschillen tussen genotypen voor een deel gecompenseerd worden door toevoeging van CaCl_2 .

Voor de kaasbereiding is een selectie op de BB-varianten gunstig, maar onderzoek aan de LU heeft uitgewezen dat de totale hoeveelheid eiwit per koe niet stijgt. Zolang de zuivelindustrie de betere kaasbereidingseigenschappen niet waardeert, wordt de melkveehouder niet gestimuleerd om in het stierengebruik met de melkeiwitvarianten rekening te houden.

Lactose: Uit Amerikaans onderzoek blijkt dat de erfelijkheidsgraad voor het lactosegehalte 0,5 is. Toch lijken de mogelijkheden om met selectie het lactosegehalte van de melk te veranderen erg beperkt. De fenotypische spreiding en de erfelijkheidsgraad voor het lactosegehalte zijn ongeveer 50 procent van de waarden, die bij het eiwitgehalte gevonden worden. In Nederland wordt het lactosegehalte in de melk van individuele koeien wel bepaald, maar het wordt niet systematisch vastgelegd, bijvoorbeeld ten behoeve van de selectie.

Mineralen: Tussen rassen zijn verschillen in het Ca-gehalte van de melk geconstateerd, die waarschijnlijk samengaan met verschillen in eiwitgehalten. Jersey-melk bevat globaal 4,00 % eiwit en 1400 mg Ca/l; voor zwartbont-melk is dit respectievelijk 3,40 % en 100 mg/l. Over de variatie binnen rassen is niet veel bekend.

6. ONTWIKKELINGEN IN DE MOLECULAIRE GENETICA EN DE VOORTPLANTING

De techniek van de kunstmatige inseminatie heeft een daadwerkelijk fokprogramma voor melkproductie mogelijk gemaakt. KI bood de mogelijkheid om de fokwaardeschatting voor melkproductie adequaat te gaan uitvoeren. Door de grootschalige benutting van topstieren is de erfelijke aanleg voor melkhoeveelheid en vetgehalte fors gestegen.

De kennis van het DNA in de celkern neemt voordurend toe. Dit biedt op twee manieren perspectieven voor selectie. Er kan geselecteerd worden op stukken DNA die gekoppeld zijn aan belangrijke genen voor produktie-eigenschappen (indicator of merker-genen) of er kan direct op genen geselecteerd worden, die verantwoordelijk zijn voor een kwalitatief kenmerk.

Het wordt echter niet alleen mogelijk om genen op chromosomen te lokaliseren en hun DNA-volgorde te karakteriseren, maar ook om genen over te brengen van de ene soort (= micro-organisme of landbouwhuisdier) naar de andere. Een aantal denkbare toepassingen van deze transgenese zijn al gerealiseerd. In fermentatieprocessen produceren E-coli bacteriën humane (somatotropine en insuline) en dierlijke hormonen (somatotropine), die respectievelijk hormonale stoornissen kunnen opheffen of als produktie-bevorderaar aangewend kunnen worden. Er zijn al muizen en schapen die in de melk humane bloedstollingsfactoren produceren. Er bestaan verschillende transgene mui-

zenlijnen, waarin het boviene α_{s_1} -caseïne in de melkklier tot expressie komt.

De techniek van de transgenese kan met name belangrijk zijn voor het werkstelligen van kwalitatieve veranderingen in produktieprocessen. De melksecretie lijkt hier bij uitstek voor geschikt, omdat de expressie van ingebrachte genen goed te lokaliseren is (uier) en goed te sturen is (alleen expressie tijdens de lactatieperiode).

In het voortplantingsonderzoek bij runderen wordt wereldwijd nu veel aandacht gegeven aan technieken die leiden tot een groter aantal nakomelingen per koe per jaar. Binnen enkele jaren kunnen door de combinatie van follicelpunctie technieken, in vitro bevruchting, in vitro kweek van embryo's en embryotransplantaties een honderdtal nakomelingen per koe per jaar geboren worden. Deze ontwikkeling geeft mede aanleiding tot het stichten van kernfokbedrijven, die door een snelle generatiewisseling een gespecificeerd fokdoel kunnen nastreven. Een andere ontwikkeling in dit geheel is het klonen van runderen. Door herhaalde kerntransplantaties van embryonale donorcellen van een gewenste vader-moeder-combinatie, naar embryonale ontvangster-cellen die van kernmateriaal ontdaan zijn, kunnen in principe honderden identieke koeien ontstaan. Met deze ontwikkeling van klonen kan men profiteren van combinaties van gewenste produktie-eigenschappen die in de populatie niet frequent voorkomen. Klonen zouden bijvoorbeeld aanzienlijk kunnen verschillen in melksamenstelling: laag vetgehalte en een hoog eiwitgehalte.

Door deze ontwikkelingen in de moleculaire genetica en de voortplantingstechnologie wordt het beter mogelijk om uniforme groepen koeien te fokken die onderling verschillen in produktiedoel ten aanzien van de melksamenstelling en waarvan de melk geschikt is voor specifieke verwerkingsprocessen in de zuivelindustrie. Het kan een belangrijke bijdrage leveren aan het ontwikkelen van "speciale produkten". Teneinde fokdoelen ten aanzien van de melksamenstelling goed te definiëren, is het nodig om de wensen van de zuivel voor de samenstelling van de boerderijmelk nader te omschrijven met het oog op de bereiding van de verschillende zuivelprodukten.

7. GENETISCHE MODIFICATIE EN MELKSAMENSTELLING

Pensmicroben: Een gedeelte van het (buitenlandse) onderzoek naar het gebruik van genetische modificatie in de rundveehouderij richt zich op het veranderen van de genetische aanleg van micro-organismen in de pens. Drie doelstellingen kunnen worden onderscheiden. De eerste richt zich op een betere afbraak van celwandmateriaal. De tweede richt zich op een hogere propionzuurproductie in de pens, waardoor de micro-organismen meer eiwit gaan vormen. De derde beoogt de verbetering van de kwaliteit van het eiwit dat door de microben wordt gemaakt. Wanneer dit kan, komen er perspectieven om het eiwitaanbod vanuit het verteringskanaal naar het bloed te vergroten. De transgenese of de expressie van ingebracht genen bij deze micro-organismen is moeilijk: de transfectiemethode is weinig ontwikkeld, de verschillende pensmicroben vertonen een sterke onderlinge afhankelijkheid en het pensmilieu kan gedurende de dag sterk wisselen. Het lijkt moeilijk om door verschuivingen in dit ecosysteem een bijdrage te kunnen leveren aan het verschuiven van de eiwit/vet verhouding in de melk en aan het verbeteren van de melkeiwitkwaliteit.

Humane eiwitten: Een twee toepassing van transgenese in de rundveehouderij is het inbouwen van humane genen in runder-DNA (van geslachts- of uiercellen) op een zodanige wijze dat het gen in de uier tot expressie komt en het humane eiwit in rundermelk geproduceerd kan worden. Dit is een alternatief voor het produceren van geneesmiddelen door micro-organismen met behulp van recombinant-DNA technieken. Uit de melk zijn deze specifieke eiwitten gemakkelijker te isoleren dan uit fermentatievloeistoffen. Momenteel worden er in het buitenland pogingen ondernomen om runderen menselijke bloedstollingsfactoren te laten produceren. Omdat voor deze farmaceutische toepassing maar enkele koeien nodig zijn, wordt op deze toepassing in deze nota niet verder ingegaan.

Caseïnes: Een derde interessante toepassing van transgenese is het opvoeren van de caseïneproductie in de melk of het produceren van caseïnes met betere functionele eigenschappen. Tussen diersoorten zijn grote stukken van caseïne eiwit homolog. Deze stukken zijn essentieel voor de ruimtelijke structuur van de caseïnes, de stabiliteit en de binding van Ca en fosfaat. Binnen diersoorten zijn er buiten de homologe stukken ook genetische vari-

anten die de fysische eigenschappen, die van belang zijn bij het kaas maken, beïnvloeden. Deze genetische varianten van bijvoorbeeld κ -caseïne lenen zich bij uitstek voor transgenese. De werking van gunstige eiwitvarianten en de promotoren voor de eiwitproductie kunnen getest worden in lagere organismen en kunnen vervolgens weer teruggeplaatst worden in de koe.

Immuunglobulinen en andere globulinen: Een vierde toepassing van transgenese wordt momenteel in Nederland nagestreefd. Er zijn een aantal publikaties die aangeven dat een betere resistentie tegen Coli-mastitis verbeterd zou kunnen worden door een hogere lactoferrineproductie. Lactoferrine is een ijzerbindend eiwit in de melk, waardoor bij hogere concentratie ijzer niet meer voor bacteriën beschikbaar is. Met behulp van transgenese (van gen en promotor) tracht men de lactoferrineproductie op te voeren. Naast een betere resistentie tegen coli-mastitis, wat niet de meest frequente vorm van mastitis is maar wel een ernstige, worden er ook voordelen voor de consument (jong kalf) verwacht. Het lijkt er op dat lactoferrine en ook immuoglobulinen de drie barrières in het maagdarmkanaal (pepsine, trypsine, darmwand) van pas geboren dieren kunnen overleven.

Onverzadigde vetzuren: Een vijfde bediscussieerde toepassing van genetische modificatie is het tot hogere expressie brengen van het desaturase-gen in de melkklier. Desaturase zet het verzadigde vetzuur stearine om in een onverzadigd vetzuur. De fractie van stearinezuur in het totale melkvet is maar 10 - 15 %. Een desaturase dat palmitinezuur "aan kan", zou pas een echte verbetering geven.

Lactose: Een zesde toepassing van transgenese is het inbouwen van het lactase-enzym dat in de uier lactose kan afbreken in glucose en galactose. Hierdoor zou de rundermelk geschikt worden voor grote groepen wereldbewoners die het lactase-enzym niet in hun maagdarmkanaal hebben. De werking van dit enzym in de uier heeft echter grote nadelen voor de houdbaarheid van de melk (bruinkleuring en kooksmaak bij verhitting) en voor de smaak. Maar veel belangrijker is het feit dat lactosesplitsing zou leiden tot een verdubbeling van de osmotische waarde. Dit heeft grote negatieve gevolgen voor de totale melkproductie.

Oligosachariden: Moedermelk bevat naast lactose (6 %) ook nog oligosachariden (ongeveer 1,5 %). Deze laatste worden in het maag-darmkanaal niet gesplitst en dienen vooral als stimulans voor de groei van de Bifidobacterium bifidus in de dikke darm van zuigelingen. Het verdient overweging om bij de mens de genen die verantwoordelijk zijn voor de synthese en de uitscheiding van deze oligosachariden op te sporen en te klonen. Via transgenese zou uitscheiding in koemelk gerealiseerd kunnen worden, hetgeen een belangrijke stap in de humanisering van koemelk zou zijn.

α -Lactalbumine: Het wei-eiwit α -lactalbumine speelt een belangrijke rol bij de lactose-synthese en is daarmee medebepalend voor de totale melkproductie. Een betere expressie zou gunstig zijn voor de totale melkproductie; de samenstelling van het wei-eiwit zou ook veranderen.

8. CONCLUSIES

In de afgelopen jaren is het vetgehalte van de melk gestegen door een betere voeding en erfelijke aanleg. Het melkvet is in de voedingsmiddelenindustrie een ideale smaakstof. De produktie van boter voor een koopkrachtige markt neemt echter geleidelijk af. Op de grondstoffenmarkt voor de voedingsmiddelenindustrie is melkvet duurder dan de meeste andere vetten die niet van melk afkomstig zijn. Mede als gevolg van het verdwijnen van restrictieve regelgeving neemt het marktaandeel toe van imitatie-zuivelprodukten, produkten waarin het melkvet vervangen is door niet van melk afkomstig vet. Bovendien loopt als gevolg van voorlichting het vetaandeel in de voeding terug. Deze feiten leiden tot de conclusie dat onder de huidige quotumregeling en de huidige standaardisatievoorwaarden voor melk(produkten) het vetgehalte van de melk mag dalen. Voor de melkveehouder is dit alleen aantrekkelijk wanneer dit niet gepaard gaat met een daling van het eiwitgehalte. Zowel in de voeding (aanpassing krachtvoersamenstelling) als in de fokkerij (selecteren op een hoge eiwit/vet verhouding) lijken mogelijkheden te zijn om op deze wens in te gaan.

Gezien de huidige produktievoorwaarden en het stijgende aandeel van de kaasproduktie bij de melkverwerking, lijkt het verhogen van de caseïne-fractie in de melk voor de zuivel een gerechtvaardigde wens. De ruw-eiwitfractie in de melk bestaat uit caseïne, wei-eiwitten en niet-eiwit-stik-

stofverbindingen. Een verhoging van deze laatste verbindingen is ongewenst. Een verschuiving van de genotypenfrequentie voor melkeiwitten door selectie op de BB-varianten van α -caseïne en β -lactoglobuline is voor de veehouder alleen aantrekkelijk, wanneer dit niet te veel ten koste gaat van de melkproduktie per koe en hem dit financieel voordeel oplevert. Mogelijkheden om de caseïneproduktie te verhogen met voedingsmaatregelen lijken niet direct voorhanden te liggen.

Een hoger lactosegehalte van de melk heeft grote voordelen in de melkpoederbereiding, omdat het direct leidt tot een hogere opbrengst. Selectie- en voedingsmaatregelen kunnen hier hoogstens kleine effecten hebben.

Met behulp van genetische modificatietechnieken zouden de eigenschappen van pensmicroben veranderd kunnen worden. Ook genetische modificatie van de koe hoort tot de mogelijkheden, waarbij gedacht kan worden aan een veranderde vetzuursamenstelling, een verhoogde melkeiwitproduktie, een verandering van de eiwitsamenstelling of de produktie van humane eiwitten. Vooralsnog lijken de mogelijkheden van deze technieken beperkt en dienen tegenkrachten van verschillende aard overwonnen te worden.

Onder de huidige quotum- en standaardisatieregels zijn twee fok- en productierichtingen denkbaar: één op melk met een (ten opzichte van vet en lactose) hoog eiwitgehalte voor de kaasproduktie en één die zich richt op een hoog lactosegehalte en een hoge lactoseproduktie per koe voor de consumptiemelk(produkten) en de melkpoederbereiding. Deze specialisatie is voor de zuivelindustrie alleen nuttig, wanneer het grote financiële voordelen oplevert bij de verwerking van de melk voor de verschillende produkten. Wanneer nationaal en internationaal ook de definiëring van melkprodukten naar eiwit en lactose geaccepteerd wordt, is voor de produktie van traditionele zuivelprodukten, iedere grond voor een differentiatie in fok- en productierichtingen verdwenen.

Met behulp van traditionele en "marker-assisted" selectie is het mogelijk om de eiwit-vet verhouding in de melk te wijzigen. Het is ook denkbaar dat de genetische aanleg voor deze gunstige verhouding slechts in beperkte mate tot expressie kan komen gezien de grote produktie van lipogene nutriënten door de pens, zeker wanneer er tegelijk gestreefd wordt naar een verhoging van het ruwvoeraandeel in het rantsoen voor melkkoeien.

De mogelijkheden om met behulp van voeding of genetische modificatie de vetzuursamenstelling te wijzigen, lijken beperkt.

9. AANBEVELINGEN VOOR ONDERZOEK

1. Een studie naar de economische en maatschappelijke voor- en nadelen van een nationale en internationale definiëring van melk(producten) naar samenstelling in het bijzonder naar eiwit. In internationaal verband (IDF) zijn de eerste stappen hier voor gezet.
2. Een studie naar het economisch belang voor de zuivelverwerkende industrie van een differentiatie van produktierichtingen naar melksamenstelling.
3. Een experimenteel onderzoek, inclusief economische evaluatie, naar de relatie tussen de genetische aanleg voor melksamenstelling en de mogelijkheden van de koe voor de verwerking en benutting van nutriënten door de uier. Door de nutriëntenstromen in de melkkoe in kaart te brengen, wordt tevens de aanzet gegeven voor een fysiologisch beter onderbouwd voederwaarderingssysteem.
4. Een experimentele studie op DNA-niveau naar de regulering van de produktie van vet, eiwit en lactose.
5. Het zoeken naar genetische en fysiologische voorspellers voor de melkproduktie, met name voor eiwit.
6. Het vaststellen van genetische en voedingsfactoren die bepalend zijn voor de penscapaciteit en de ruwvoeropname.
7. Een haalbaarheidsstudie naar de modificatie van pensmicroben die gericht is op een verhoging van de eiwitproduktie en verandering van de melkeiwitsamenstelling.