



WAGENINGEN UNIVERSITEIT  
DIERWETENSCHAPPEN

# De invloed van de samenstelling van het winterrantsoen op het voeropnamepatroon van melkkoeien in verschillende lactatiestadia en het effect hiervan op penskarakteristieken

P.A. Abrahamse, J. Dijkstra en S. Tamminga

Wageningen Institute of Animal Sciences (WIAS)  
Leerstoelgroep Diervoeding

Eindrapport  
Juni 2007

Departement Dierwetenschappen  
Leerstoelgroep Diervoeding  
Marijkeweg 40, Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
Tel: (+31) 0317-484082  
Fax: (+31) 0317-484260  
E-mail: [office.anu@wur.nl](mailto:office.anu@wur.nl)  
Internet: [www.anu.wur.nl](http://www.anu.wur.nl)

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Samenvatting</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Introductie</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Materiaal en methode</b> .....	<b>6</b>
3.1	Experiment .....	6
3.2	Dieren .....	6
3.3	Huisvesting .....	7
3.4	Behandelingen.....	7
3.5	Monsternamen en analyses.....	9
3.5.1	Chemische samenstelling van het voer .....	9
3.5.2	Voeropnamegedrag .....	9
3.5.3	Gewicht en BCS.....	10
3.5.4	Melkproductie en –gehalten .....	10
3.5.5	Pensvloei-stofmonsters .....	10
3.5.6	Pensevacuaties.....	10
3.6	Statistische analyses .....	11
<b>4</b>	<b>Resultaten en discussie</b> .....	<b>12</b>
4.1	Chemische samenstelling ransoenen .....	12
4.2	Drogestofopname en opnamegedrag .....	14
4.3	Concentraties vluchtige vetzuren en ammoniak .....	16
4.4	Fractionele verdwijning- en afbraaksnelheid van pensinhoud .....	21
4.5	Melkhoeveelheid en –gehalten .....	23
4.6	Lichaamsgewicht en BCS.....	26
<b>5</b>	<b>Conclusie</b> .....	<b>27</b>
	<b>Literatuur</b> .....	<b>28</b>
	<b>Bijlage 1: Chemische samenstelling ransoenen per experiment</b> .....	<b>30</b>

## 1 Samenvatting

Voeropname is een belangrijk kenmerk voor realisatie van hoge melkproducties. Ongeacht de wijze van aanbieden van het voer nemen koeien hun voer binnen een dag op in een aantal afzonderlijke maaltijden, afgewisseld met perioden van herkauwen en perioden van rust. De beschikbaarheid van nutriënten voor het dier is behalve van de voeropname echter ook afhankelijk van de snelheid waarmee substraat (celwand of celinhoud) beschikbaar komt door beschadiging/afbraak van celwanden. De hierbij gevormde vluchtige vetzuren (VFA) en de verhouding waarin deze gevormd worden zijn van belang in de sturing van nutriënten naar melk of lichaam, en deze informatie is een belangrijke factor in nieuwe voederwaarderingssystemen. Ketogene VFA zoals azijnzuur en boterzuur worden gebruikt voor energieleverantie en de vorming van melk en lichaamsvet, terwijl propionzuur glucogeen is en belangrijk is voor de gluconeogenese. Het type VFA dat gevormd wordt is grotendeels afhankelijk van substraat, voeropnameniveau en de ruwvoer-krachtvoer verhouding van het voer. Ook het lactatiestadium speelt hierin een rol, zo blijkt de niet-glucogene tot glucogene VFA verhouding (uitgedrukt als NGR) toe te nemen met het vorderen van de lactatie, evenals de variatie ervan binnen de dag. Dit is ongetwijfeld het gevolg van een verschil in voeropnamepatroon. Het patroon van voeropname heeft door de invloed op de pH van de pens ook invloed op het type VFA dat gevormd wordt.

In twee experimenten werd het effect van rantsoensamenstelling en lactatiestadium op voeropname en voeropnamepatronen onderzocht. Vijf rantsoenen werden *ad libitum* gevoerd als totaal gemengd rantsoen (TMR) met 55% ruwvoer en 45% krachtvoer: een basisrantsoen (B) met als ruwvoer een 50/50 verhouding van grassilage en maissilage en als krachtvoer een 50/50 verhouding van een zetmeelrijk en een celwandrijk krachtvoer, en als variaties daarop rantsoenen met maissilage (MS) of grassilage (GS) als enige ruwvoeder en rantsoenen met zetmeelrijk (KZ) of celwandrijk (KC) krachtvoer als enige krachtvoer. Deze rantsoenen werden in twee 5x5 latijnse vierkanten in perioden van 3 weken (2 adaptatieweken en 1 meetweek) gevoerd aan 5 groepen van 3 koeien (1 pensgefistuleerde koe per groep) in vroege en late lactatie. De voeropname en het moment van opname werden geregistreerd met behulp van voerbakken die dagelijks na de ochtendmelking gevuld werden. Tijdens de meetweken werden behalve de voeropname ook de melkproductie en -gehalten geregistreerd en werden de dieren gewogen. Op de laatste dag van de meetweek werden frequent monsters van pensvloeistof genomen bij de pensgefistuleerde koeien en werd de pens van deze dieren tweemaal geëvacueerd om de fractionele verdwijnsnelheid van verschillende nutriënten te bepalen.

De gevoerde TMR's verschilden sterk in zetmeel- en NDF gehalte (met een stijging van zetmeel en een daling van NDF over de verschillende rantsoenen (GS-KC-B-KZ-MS). Vanwege de verschillende hoeveelheden grassilage in de TMR's verschilde ook het eiwitgehalte van de TMR tussen GS en MS (dit was gelijk bij KC, B en KZ). De drogestofopname (DSO) was significant lager bij GS alhoewel de opeenvolging in DSO niet dezelfde volgorde had als de verzadigingswaarde (VW) van de rantsoenen. Lactatiestadium had geen significant effect op DSO. Het aantal maaltijden per dag was gelijk tussen de rantsoenen, maar het aantal bezoeken aan de voerbak per maaltijd en per dag was lager bij MS dan bij de andere rantsoenen. De vreetijd steeg als het aandeel zetmeel steeg terwijl de opnamesnelheid dan daalde. De maaltijdduur en opnamesnelheid verschilden tussen vroege- en late lactatie, maar dit kwam waarschijnlijk door een verschil in DS-gehalte van de ruwvoerders tussen het eerste en het tweede experiment.

Een verhoging van het zetmeelgehalte ten opzichte van NDF verhoogde bij wijziging in de ruwvoercomponent (maar niet bij wijziging in de krachtvoercomponent) het propionzuurgehalte en verlaagde dan het azijnzuurgehalte, resulterend in een dalende NGR. Het ammoniakgehalte verschilde sterk tussen rantsoenen en volgde de opname van eiwit via het voer. De pH van de pensvloeistof was lager bij MS dan bij de andere rantsoenen, evenals de tijd onder pH 6.3 (indicatie van verminderde microbiële fermentatie van structurele koolhydraten) en onder pH 5.8 (indicatie van (subklinische) pensacidose). De fractionele verdwijnsnelheden waren niet verschillend tussen de rantsoenen, maar waren in vroege lactatie hoger dan in late lactatie.

De melkproductie was hoger bij een hoger aandeel zetmeel via het ruwvoer, terwijl er geen verschillen waren tussen de verschillende krachtvoerders. Het vetgehalte daalde echter bij een hoger aandeel zetmeel waardoor de vet- en eiwit gecorrigeerde melkgift (FPCM) gelijk was tussen de behandelingen. Het eiwitgehalte was lager bij GS dan bij KZ en MS, dit effect is vooral vroege lactatie gevonden en wordt geweten aan het lagere aanbod niet-structurele koolhydraten die beschikbaar zijn als energiebron voor microbiële eiwitsynthese. Het effect van melkproductie was ook vooral zichtbaar in vroege lactatie. Dit komt waarschijnlijk doordat de energie die beschikbaar komt via pensbestendig zetmeel in vroege lactatie gebruikt is voor melkproductie, terwijl deze energie in late lactatie gebruikt is voor de aanmaak van vetreserves. Er zijn uiteraard grote verschillen gevonden in melkproductie en -gehalten tussen beide lactatiestadia.

Uit deze stalexperimenten blijkt dus dat een aangebracht effect van koolhydraatfractie in het rantsoen (veel structurele koolhydraten of veel zetmeel) effecten heeft op opname en opnamepatronen, pensfermentatie en productie van koeien in een vroeg en laat lactatiestadium. De opname van GS is langzamer en lager dan van MS en het opnamegedrag (vooral vreettijd) verandert ook vooral bij verandering van de ruwvoercomponent in het rantsoen (bij MS lager). De veranderde VFA-concentraties zijn ook vooral gevonden bij verandering van de ruwvoercomponent in het TMR, en de pH en het ammoniakgehalte van pensvloeistof lijken pensverzuring en verminderde pensfermentatie tot gevolg te hebben in het rantsoen met mais als ruwvoeder. Ondanks deze effecten is de melkproductie het hoogst in het MS rantsoen.

## 2 Introductie

Voor melkvee is voeropname een belangrijk kenmerk voor het realiseren van hoge producties. Gegeven het belang van voeropname is het essentieel dat de factoren die voeropname bepalen goed in kaart worden gebracht. Een beter begrip van deze factoren draagt bij aan een evaluatie van de factoren op het melkveebedrijf die voeropname bevorderen of juist remmen, en daarmee mogelijk melkproductie beïnvloeden. Voeropname wordt meestal uitgedrukt in kg droge stof (DS) per tijdseenheid van 24 uur en is afhankelijk van een groot aantal diergebonden en voergebonden factoren (Forbes, 1995). In Nederland wordt voeropname voorspeld aan de hand van het door het toenmalige Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR) ontwikkelde Koemodel (Hijink en Meijer, 1987, aangepast door Zom *et al.*, 2002). In dit model is de voeropname afhankelijk van de voeropnamecapaciteit (VOC) en de verzadigingswaarde (VW). VOC is diergebonden en wordt beïnvloed door lactatienummer, lactatiestadium en dagen in dracht. De VW is voergebonden en vooral afhankelijk van voersoort, terwijl binnen voersoort de chemische samenstelling van groot belang is.

Ongeacht de wijze van aanbieden van het voer, nemen koeien hun voer binnen een dag op in een aantal afzonderlijke maaltijden, die worden afgewisseld met perioden van herkauwen en perioden van "rust" (Forbes, 2005). Bij winterrantsoenen zowel als bij grazen wordt 's ochtends en 's avonds na het melken een lange periode van vreten dan wel grazen waargenomen, met na het avondmelken de langste periode. Voordat nutriënten uit het voer beschikbaar komen in de pens, moet het voer zijn afgebroken door microben. De beschikbaarheid van nutriënten is afhankelijk van het voeropnamepatroon en de snelheid waarmee substraten (celwand en celinhoud) vrijkomt door beschadiging/afbraak van celwanden (Chilibroste *et al.*, 2005).

Bij de fermentatie in de pens worden vluchtige vetzuren (VFA) gevormd. Het type VFA dat gevormd wordt is van groot belang voor melkvee en de juiste voorspelling ervan is een belangrijke factor in nieuwe voederwaarderingssystemen (Dijkstra *et al.*, 2007). Alle VFA leveren in het intermediaire metabolisme energie (ATP). Echter, bij dezelfde hoeveelheid netto-energie (NE) die het dier krijgt maakt de vorm van deze NE wel degelijk uit wat betreft sturing van nutriënten naar melk(samenstelling) of lichaam. Van Knegsel *et al.* (2007) rapporteerden bijvoorbeeld een grotere negatieve energiebalans en een hoger melkvetgehalte bij een ketogeen rantsoen in vergelijking met een glucogeen rantsoen, terwijl de DS- en NE-opname gelijk waren.

Azijnzuur en boterzuur zijn ketogeen en worden naast energieleverantie gebruikt voor de vorming van melk- of lichaamsvet, terwijl propionzuur glucogeen is en de belangrijkste bijdrage aan gluconeogenese in melkvee levert, wat essentieel is voor de vorming van lactose en glycerol en voor NADPH. Het type VFA dat gevormd wordt is grotendeels afhankelijk van het substraat, de krachtvoer-ruwvoer verhouding en DS opname niveau (Bannink *et al.*, 2006). Ook de microbiële biomassa die gevormd wordt is op te splitsen naar type nutriënt (glucogeen/aminogeen/ketogeen) dat gevormd wordt na absorptie van microbiële massa uit de dunne darm. Microbiële biomassa bestaat voor een groot deel uit eiwit, wat aminogeen is (dragen bij aan de aminozuurbehoefte van de koe). Een veel kleiner deel van microbiële materiaal is vet (ketogeen) of reserve koolhydraten (glucogeen).

Onafhankelijk van de voersamenstelling blijkt ook het lactatiestadium met daaraan gekoppeld het voeropnameniveau van grote invloed op de VFA verhoudingen. Robinson *et al.* (1986) hebben uitgebreid het effect van het voeropnameniveau op de VFA verhoudingen op vijf tijdstippen in de lactatie onderzocht. Tijdens elk van de vijf periodes van 7 weken kregen vijf pensgefistuleerde koeien één van vijf behandelingen, namelijk 8, 14, 20, 26 of 32% zetmeel in de DS van het krachtvoer (2/3 van het rantsoen). Tijdens de vijf periodes was het voeropnameniveau respectievelijk 24, 19.5, 15, 10.5 en 6 kg luchtdroge stof per dag. Uit de resultaten bleek dat de non-glucogenic to glucogenic VFA ratio (NGR) toenam met het vorderen van de lactatie, maar ook dat de variatie van NGR binnen de dag toenam. Dit laatste is ongetwijfeld mede het gevolg van een verschil in voeropnamepatroon. Bij hoge voeropnames en bij rantsoenen met veel makkelijke afbreekbare koolhydraten daalt de pH van de pensvloeistof en deze lage pH vertraagt de afbraaksnelheid van ruw vezel (Robinson *et al.*, 1986; Dijkstra, 1993). Dit doet het aandeel propionzuur in de totale VFA toenemen. Dat betekent dat naast rantsoensamenstelling ook het patroon van voeropname invloed heeft op pH en daarmee op type VFA wat gevormd wordt.

#### Hypotheses en doel

1. Naast rantsoensamenstelling is het voeropnameniveau sterk bepalend voor de soort nutriënten die aan de intermediaire stofwisseling van een koe worden aangeboden. Het voeropnameniveau wordt op haar beurt weer beïnvloed door het voeropnamepatroon.
2. Het voeropnamepatroon verandert in afhankelijkheid van rantsoensamenstelling en ook als gevolg van het lactatiestadium.

De doelstelling van dit onderzoek is testen van bovengenoemde hypothesen. Voeropname niveau, patroon van voeropname en processen in de pens zijn gemeten aan melkvee die 5 rantsoenen, verschillend in type koolhydraat, ontvingen, eerst in vroege en daarna in late lactatie.

### 3 Materiaal en methode

#### 3.1 Experiment

Twee experimenten werden uitgevoerd: experiment 1 tussen februari en juni 2004 (dieren in vroege lactatie) en experiment 2 tussen augustus en december 2004 (dezelfde dieren in late lactatie). Beide experimenten waren opgedeeld in vijf periodes van drie weken, waarbinnen tijdens de eerste twee weken de koeien aangepast werden aan het rantsoen en tijdens de derde week (de meetweek) data verzameld werd. Twee periodes duurden vier weken omdat de meetweek uitgesteld moest worden vanwege een technisch mankement aan de voerbakken.

#### 3.2 Dieren

De experimenten zijn uitgevoerd met 15 Holstein Friesian koeien, waarvan vijf voorzien waren van een pensfistel. Op basis van melkproductie, lactatienummer en kalfdatum werden drie clusters van vijf zo identiek mogelijke dieren gevormd, waarna de vijf dieren per cluster aselekt over de vijf proefgroepen verdeeld werden, zodat er uiteindelijk 5 groepen met elk 3 dieren ontstonden (zie tabel 1).

Tabel 1: Overzicht van de geselecteerde koeien

Algemene gegevens huidige lactatie						Voorafgaande lactatie			
Groep	Koe	Fistel	Lactatienr.	Lactatiedagen <sup>1</sup>		305d prod.	Vet %	Eiwit %	FPCM
				Exp 1	Exp 2				
1	13	Ja	2	60	249	6936	3.96	3.29	6893
1	469	Nee	3	87	276	8662	3.92	3.39	8620
1	491	Nee	3	18	207	5606	4.67	3.94	6251
1	139	Nee	1	64	253	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>
2	267	Ja	2	38	227	7168	4.53	3.48	7679
2	499	Nee	2	22	211	7664	3.67	3.17	7303
2	140	Nee	1	102	291	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>
3	275	Ja	2	56	245	7492	3.55	3.01	6963
3	243	Nee	3	31	220	8039	4.31	3.36	8349
3	154	Nee	1	83	272	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>
4	17	Ja	2	72	261	6482	4.06	2.94	6381
4	467	Nee	3	43	232	8657	4.68	3.71	9544
4	151	Nee	1	52	241	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>
5	266	Ja	2	71	260	7937	4.17	3.15	8014
5	262	Nee	2	48	237	6590	4.66	3.37	7116
5	149	Nee	1	86	275	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lactatiedagen op de eerste dag van de eerste meetweek

<sup>2</sup> Gegevens ontbreken

In experiment 2 is koe 469 vervangen door koe 491 na onverhoopte afvoer van de eerstgenoemde koe van het proefbedrijf. Aan het einde van periode 2 van experiment 2 is koe 467 uit het experiment verwijderd wegens (zoals gebleken in periode 2) herhaaldelijk stelen van voer uit niet aan het dier toegewezen voerbakken. Vervanging van dit dier door een andere koe had geen zin, omdat deze koe al 6 periodes goed had meegedraaid en er nog slechts drie periodes te gaan waren. De voeropnamedata van groep 4 in periode 5 van experiment 1 en periode 2 en 3 van experiment 2 ontbreken vanwege een technisch mankement aan de voerbakken. Dit mankement heeft geen invloed gehad op de voeropname van de koeien, alleen de registratie was in die periode niet mogelijk.

### 3.3 Huisvesting

De koeien werden in een ligboxenstal op proefbedrijf 'de Ossekampen' van Wageningen Universiteit gehuisvest. In het deel van de stal waar het experiment werd uitgevoerd waren tien voerbakken (Nedap B.V., Nederland; zie foto 1) beschikbaar voor de koeien. Elke groep dieren had toegang tot steeds dezelfde twee voerbakken tijdens beide experimenten. Tijdens het experiment is vrij koeverkeer toegepast.

Deze voerbakken werden 's morgens tijdens de ochtendmelking gevuld om *ad lib* voer beschikbaar te hebben voor de koeien. De bakken registreerden de voeropname per vreetbeurt, inclusief begin- en



eindtijd. De voerbakken werden aan het begin van elke periode geijkt en elke dag voor het voeren getarreed. Water was onbepaald beschikbaar via drie verschillende drinkbakken.

De koeien werden tweemaal daags gemolken met behulp van een automatisch melksysteem (AMS) (Westfalia-Surge, type Leonardo). Om 7.30u en 19.30u werden de dieren naar de wachtruimte geleid die ze alleen via het AMS konden verlaten. Twee uur na aanvang van het melken werd gecontroleerd of het melken zonder problemen verlopen was en werden eventuele nog niet gemolken koeien alsnog gemolken.

Foto 1: gebruikte voerbakken

### 3.4 Behandelingen

Tijdens de vijf periodes van beide experimenten werden de groepen koeien met vijf totaal gemengde rantsoenen (TMR) gevoerd volgens een 5x5 latijns vierkant in drievoud (telkens 3 koeien op hetzelfde rantsoen per periode). De rantsoenen waren als basisrantsoen *ad lib* een mengsel bestaande uit 55% DS ruwvoer (32.5% DS grassilage, 22.5% DS maissilage) en 45% krachtvoer. Het krachtvoer was een 50/50 verhouding van twee krachtvoersoorten, namelijk één zetmeelrijke krachtvoersoort en één krachtvoersoort rijk in celwandmateriaal. De variaties op het basisrantsoen (B) waren een rantsoen met maissilage als enig ruwvoer (MS), een rantsoen met grassilage als enig ruwvoer (GS), een rantsoen met zetmeelrijk krachtvoer als enig krachtvoer (KZ) en een rantsoen met celwandrijk krachtvoer (KC) als enig krachtvoer. In het AMS werd twee kilogram van een eiwitrijke lokbrok (KMR) per dag gevoerd. Zie voor een overzicht van de rantsoenen tabel 2 en voor de grondstofsamenstelling van de verschillende krachtvoerders tabel 3.

Tabel 2: Overzicht van de verschillende rantsoenen

Rantsoen	Grassilage	Maissilage	Krachtvoer zetmeelrijk % DS in TMR	Krachtvoer celwandrijk	Lokbrok kg/dag
B	27.5	27.5	22.5	22.5	2
GS	55.0	-	22.5	22.5	2
MS	-	55.0	22.5	22.5	2
KZ	27.5	27.5	45.0	-	2
KC	27.5	27.5	-	45.0	2



De in de rantsoenen gemengde krachtvoerders (zetmeelrijk en celwandrijk) zijn voor aanvang van elke periode geproduceerd door Rijnvallei te Wageningen. Tijdens de periode zijn deze krachtvoerders bewaard in een vriescel op -20°C.

Tabel 3: Grondstofsamenstelling krachtvoersoorten

Grondstof	Krachtvoer zetmeelrijk (g/kg product)	Krachtvoer celwandrijk (g/kg product)
Maïs	25.0	-
Gerst	11.8	-
Tarwe	10.0	-
Sojahullen	-	15.0
Lupinen < 33,5%RE	-	15.0
Palmpitschilfers < 22% RC	-	12.0
Raapzaadschoot 00	17.8	7.0
Citruspulp	10.6	12.9
Soja behandeld B	6.2	4.5
Sojaschroot HP	5.3	5.1
B. Pulp NL >10	2.5	17.0
Melasse	7.5	7.5
Palmolie	0.10	0.96
Krijt	1.03	0.27
Monocal OD	0.08	0.66
Magnesiumoxide	0.21	0.15
Natriumbicarbonaat	1.00	1.00
Mengzout	0.23	0.18
Premix	0.75	0.75

De rantsoenen werden minstens driemaal per week gemengd (afhankelijk van de weersomstandigheden en het daarmee samenhangende risico op broei vaker dan driemaal per week) en opgeslagen bij een temperatuur van 4°C in een koelunit. Dagelijks tijdens de ochtendmelking werd gevoerd, terwijl tijdens de avondmelking voer eventueel aangevuld werd om *ad lib* voeropname te garanderen.

De rantsoenen werden in de vijf periodes aan de groepen koeien gevoerd volgens het schema dat weergegeven is in tabel 4.

Tabel 4: Verdeling van de rantsoenen en groepen over de verschillende periodes

Periode	Groep 1 Bak 1&2	Groep 2 Bak 3&4	Groep 3 Bak 5&6	Groep 4 Bak 7&8	Groep 5 Bak 9&10
1	GS	KZ	B	KC	MS
2	KC	MS	GS	KZ	B
3	B	KC	MS	GS	KZ
4	KZ	B	KC	MS	GS
5	MS	GS	KZ	B	KC

### 3.5 **Monsternamen en analyses**

#### 3.5.1 Chemische samenstelling van het voer

De chemische samenstelling van de rantsoenen per periode en van de individuele ruw- en krachtvoercomponenten per experiment zijn bepaald via nat-chemische analyse. Tweemaal per meetweek is een representatief monster genomen van elk rantsoen en van elk individueel voeder. De monsters van individuele voeders zijn vervolgens gepoold per experiment.

Deze monsters zijn gedroogd gedurende 24u op 70°C waarna ze gemalen zijn over een zeef van 1 mm met behulp van een hamermolen. Drogestof (DS, g/kg) is bepaald volgens ISO 6496. Organische stof (OS) is berekend als DS-AS na AS-bepaling door verassing op 550°C (ISO 5984). Neutral Detergent Fibre (NDF) is bepaald volgens de methode van van Soest *et al.* (1991), aangepast door Goelema *et al.* (1998). Acid Detergent Fibre (ADF) en Acid Detergent Lignine (ADL) zijn bepaald volgens van Soest *et al.* (1973).

Ruw eiwit (RE) is bepaald door stikstof te bepalen volgens de Kjeldahlmethode met CuSO<sub>4</sub> als katalysator (ISO 5983) en te vermenigvuldigen met 6.25. De bepaling van vet (RVET) is uitgevoerd volgens de methode Berntrop (ISO/DIS methode 6492). Het gehalte water-oplosbare koolhydraten (WOK) is bepaald door extractie in 40% ethanol gevolgd door bepaling van reducerende suikers via de Luff-Schoorl methode (van Vuuren, 1993). Het zetmeelgehalte van het krachtvoer is bepaald in het laboratorium van Schothorst Feed Research te Lelystad volgens NEN/ISO 15914:2005.

Tweemaal per meetweek is een monster van het restvoer genomen zoals hierboven vermeld voor de monsters van de rantsoenen, voor de analyse van DS en AS. Verder is de verzadigingswaarde van de grassilage, maissilage en de verschillende krachtvoerders bepaald met behulp van bovenstaande analyses en de kuilanalyses door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (BLGG, Oosterbeek) evenals de krachtvoer-optimalisatiegegevens van de krachtvoerleverancier (Rijnvallei B.V., Wageningen). De verzadigingswaardes (VW) zijn uitgerekend volgens de Veevoedertabel 2005 en de Handleiding Voederwaardeberekening Ruwvoerders (beide uitgegeven door het Centraal Veevoederbureau (CVB), Lelystad).

#### 3.5.2 Voeropnamegedrag

De voeropnamegegevens die door de voerbakken geregistreerd waren zijn handmatig gescreend op fouten. Vervolgens is het maaltijd criterium (het langste interval tussen twee bezoeken die worden beschouwd als deel van één maaltijd) per rantsoen per experiment geschat op basis van de intervallen tussen bezoeken aan de voerbakken. De frequentieverdeling van de log-getransformeerde intervallen tussen bezoeken is gefit met behulp van een combinatiemodel van twee Gaussiaanse en één Weibull model, de zogenaamde GGW methode (Tolkamp *et al.*, 2002). De eerste Gaussiaanse verdeling wordt hierbij verondersteld de verdeling van intervallen tussen voeropnames binnen maaltijden weer te geven, de tweede Gaussiaanse verdeling geeft de intervallen tussen voeropnames binnen maaltijden weer waarin de koeien drinken en de Weibull verdeling geeft de intervallen van bezoeken tussen verschillende maaltijden weer.

Na het schatten van de maaltijdcriteria zijn de bezoeken aan de voerbakken gegroepeerd tot maaltijden met behulp van het maaltijd criterium per rantsoen per experiment. Vervolgens zijn verschillende parameters per maaltijd zoals de maaltijdgrootte, maaltijdduur, vreetijd en het aantal bezoeken, evenals parameters per dag zoals de DSO en het aantal maaltijden berekend.

### 3.5.3 Gewicht en BCS

De koeien werden aan het begin van elke meetweek gewogen en de Body Conditie Score (BCS) werd bepaald (schaal 1-5). De bepaling van de BCS werd telkens door dezelfde persoon (de onderzoeker) uitgevoerd, aangevuld met één andere persoon.

### 3.5.4 Melkproductie en –gehalten

De melkproductie werd automatisch gemeten per melking in de melkrobot. Eens per drie weken werden melkmonsters genomen van vier individuele melkingen per koe (2 ochtend- en twee avondmonsters). Deze monsters werden door het Melkcontrolestation Zutphen (MCS) geanalyseerd op vet-, eiwit-, lactosegehalte via Mid-infrarood (MIR) apparatuur en ureumgehalte via de pH-verschilmethode (ISO FDIS 14637/IDF 195). De gemiddelde gehalten per koe per periode zijn gebruikt in de statistische analyse.

### 3.5.5 Pensvloei­stof­monsters

Tijdens de voorlaatste dag in elke meetweek zijn van de pensfistelkoeien frequent monsters genomen van pensvloei­stof. Tijdens de eerste twee uur na beëindiging van de voerbeurten in de periode tussen 7.30u en 19.30u werden elke 15 minuten pensvloei­stof­monsters genomen, na twee uur werd de frequentie verlaagd naar elke 30 minuten. De monsters werden genomen door de koeien gedurende korte tijd (ongeveer 2 minuten) in een ligbox te fixeren. De pH van de pensvloei­stof werd meteen bepaald en monsters werden genomen voor de bepaling van ammoniak (NH<sub>3</sub>) en vluchtige vetzuren (VFA). ), waarbij de ammoniakmonsters werden gemengd met trichloorazijnzuur en VFA monsters met fosforzuur; vervolgens werden de monsters bewaard bij -20°C tot analyse. Ammoniakconcentratie is bepaald volgens de indofenol methode beschreven door Searle (1984), de concentraties VFA zijn bepaald via gaschromatografie (zie voor een beschrijving Chilibroste *et al.*, 1998).

### 3.5.6 Pensevacuaties

Aan het einde van de meetweek werden bij de vijf pensfistelkoeien pensevacuaties uitgevoerd na de avondmelking. Na vasten gedurende ongeveer 12 uur werden opnieuw pensevacuaties uitgevoerd. Een representatief monster van de pensinhoud werd verkregen door eerst 10% van het met de hand verwijderde materiaal apart te verzamelen gevolgd door verzamelen van de vloeistof uit de pens, en daar vervolgens (op gewichtsbasis) een monster van te reconstrueren. In dit monster van de pensinhoud werd na vriesdrogen en malen over een zeef van 1 mm via een hamermolen het gehalte DS, AS, RE, NDF en ADL bepaald zoals beschreven in § 2.5.1. Hieruit zijn de penspools aan DS, OS (DS-AS), RE, NDF en ADL bepaald. De fractionele verdwijningssnelheid van de bovenstaande parameters (%/u) zijn berekend uit log-transformatie van de exponentiële functie:

$$R_{(t)} = R_{(0)} * e^{-K_{cl} * t}$$

Waarbij  $R_{(t)}$  de in de pens aanwezige hoeveelheid is op tijd  $t$  (de tweede evacuatie),  $R_{(0)}$  de in de pens aanwezige hoeveelheid is op tijd nul (de eerste evacuatie),  $K_{cl}$  de fractionele verdwijningssnelheid in %/u is en  $t$  de tijd in uren tussen de eerste en tweede evacuatie is.

De fractionele afbraaksnelheid van NDF is geschat door de fractionele verdwijningssnelheid van NDF te verminderen met de fractionele verdwijningssnelheid van ADL, waarbij aangenomen wordt dat de fractionele verdwijningssnelheid van ADL gelijk staat aan de fractionele passage van ADL doordat ADL volledig onafbreekbaar geacht wordt in de pens.

### **3.6 Statistische analyses**

De gegevens zijn geanalyseerd volgens een latijns vierkant met behulp van een Mixed Model in SAS 9.1.3. De melk-, pensvloeistof en voeropnamegegevens zijn geanalyseerd volgens een model met herhaalde waarnemingen. Paarsgewijze vergelijking werd gedaan met de Tukey-test. Doordat tijdens de twee verschillende experimenten verschillende batches ruw- en krachtvoer gebruikt werden is het effect van lactatiestadium verstrengeld met het effect van verschillende gevoerde voeders.

De maaltijdgegevens en een gedeelte van de pensvloeistofgegevens zijn statistisch geanalyseerd na normalisatie van de data (wortel-transformatie).

## 4 Resultaten en discussie

### 4.1 Chemische samenstelling rantsoenen

In tabel 5 en 6 is de chemische samenstelling van de verschillende ruw- en krachtvoerders weergegeven die gebruikt zijn voor het maken van de gevoerde rantsoenen. Binnen beide experimenten werd gebruik gemaakt van één graskuil en één maiskuil. De weergegeven waarden in beide tabellen betreffen rekenkundige gemiddeldes. De VEM, DVE en OEB gegevens zijn afkomstig uit de analyses door het BLGG (de silages) en de krachtvoerleverancier (de krachtvoerders).

Tabel 5: Chemische samenstelling van gebruikte ruw-en krachtvoerders in experiment 1 (g/kg DS)

	Grassilage	Maissilage	Krachtvoer	Krachtvoer	Lokbrok
DS <sup>1</sup>	437.9	340.9	891.8	890.4	901.7
OS	900.0	968.7	918.1	924.1	896.2
RE	137.2	70.3	194.3	201.7	368.8
RVET	28.7	27.7	40.2	24.9	41.2
NDF	545.0	423.7	317.0	146.3	189.0
ADF	366.7	241.1	137.3	96.5	245.7
ADL	38.4	21.1	25.2	21.0	30.8
Suiker	47.0	7.5	114.4	112.4	113.5
Zetmeel	- <sup>2</sup>	302.5	17.1	304.6	28.0
VEM <sup>3</sup>	788.0	956.0	1058.7	1077.4	1079.0
DVE	59.0	50.0	125.5	126.3	210.4
OEB	0.0	-31.0	15.3	18.5	115.8
VW <sup>3</sup>	1.11	0.80	0.33	0.29	0.29

<sup>1</sup> in g/kg

<sup>2</sup> Niet bepaald

<sup>3</sup> per kg DS

Tabel 6: Chemische samenstelling van gebruikte ruw-en krachtvoerders in experiment 2 (g/kg DS)

	Grassilage	Maissilage	Krachtvoer celwandrijk	Krachtvoer zetmeelrijk	Lokbrok
DS <sup>1</sup>	326.0	337.9	908.1	892.6	900.1
OS	896.0	946.3	916.9	924.3	897.1
RE	195.0	79.4	194.4	191.1	359.3
RVET	41.5	29.9	41.4	22.2	41.3
NDF	472.4	375.4	322.1	145.1	183.3
ADF	275.8	215.6	251.3	104.9	122.1
ADL	21.5	17.6	30.0	20.3	23.4
Suiker	24.4	5.8	102.5	97.9	109.0
Zetmeel	- <sup>2</sup>	326.0	10.2	300.8	38.2
VEM <sup>3</sup>	866.0	923.0	1071.5	1052.8	1078.3
DVE	67.0	48.0	128.3	126.0	210.4
OEB	31.0	-27.0	14.0	12.1	115.8
VW <sup>3</sup>	1.09	0.80	0.34	0.29	0.29

<sup>1</sup> in g/kg

<sup>2</sup> Niet bepaald

<sup>3</sup> per kg DS

De nat-chemisch berekende samenstelling van de gevoerde rantsoenen is weergegeven in tabel 7. Ook is in dezelfde tabel het AS-gehalte van de voerrest opgenomen als indicatie van selectie binnen de gemengde rantsoenen door de koeien. De VEM, DVE en OEB gehalten zijn berekend met behulp van de gegevens uit tabel 2, 5 en 6, terwijl de RNSP berekend is uit de nat-chemische analyses.

Zoals blijkt uit tabel 7 is de chemische samenstelling voor elk van de gemeten parameters verschillend tussen rantsoenen. Zoals verwacht stijgt het NDF, ADF en ADL gehalte, en daalt het zetmeelgehalte in het rantsoen als door ofwel de ruwvoercomponent, ofwel door de krachtvoercomponent in het rantsoen het aandeel structurele koolhydraten verhoogd is.

Het OS-gehalte is hoger bij een lager aandeel structurele koolhydraten in het rantsoen, zowel wanneer een verschil hierin aangelegd is door de ruwvoercomponent in het rantsoen als wanneer dit door de krachtvoercomponent aangelegd is. De waarde voor VEM stijgt bij een lager aandeel structurele koolhydraten, vooral bij een verschil in ruwvoercomponent. Dit komt vooral door het verschil in VEM tussen grassilage en maissilage.

Tabel 7: Chemische samenstelling van rantsoenen en voerrest in experiment 1 en 2 (g/kg DS)

	GS	KC	Behandeling			Experiment	
			B	KZ	MS	1	2
Nat-chemisch bepaald							
DS <sup>1</sup>	514.9	475.6	482.2	480.8	446.0	487.6	472.2
OS	904.5	916.5	920.9	921.8	940.3	921.3	920.3
RE	175.4	151.1	150.7	153.1	128.4	143.2	160.3
RVET	34.1	34.7	31.9	30.1	29.6	29.9	34.3
NDF	402.9	399.1	368.3	335.9	327.1	390.3	343.0
ADF	259.3	263.5	235.9	212.0	206.9	253.3	217.7
ADL	26.6	26.3	24.7	23.3	21.4	28.0	20.9
Suiker	60.0	53.9	55.4	54.4	47.1	60.2	48.1
Zetmeel	62.0	97.1	150.9	194.5	251.7	138.5	163.9
AS rest	97.4	83.4	82.1	80.1	61.1	81.2	80.5
Berekend							
RNSP <sup>2</sup>	170.1	180.6	163.7	153.8	156.3	159.2	170.7
VEM <sup>3</sup>	934.1	960.9	965.1	969.3	996.0	960.2	969.9
DVE	91.6	87.4	87.7	88.1	83.9	86.6	88.8
OEB	15.3	2.5	3.0	3.6	-9.2	-0.9	7.0
VW <sup>3</sup>	0.74	0.67	0.66	0.65	0.58	0.66	0.66

<sup>1</sup> in g/kg

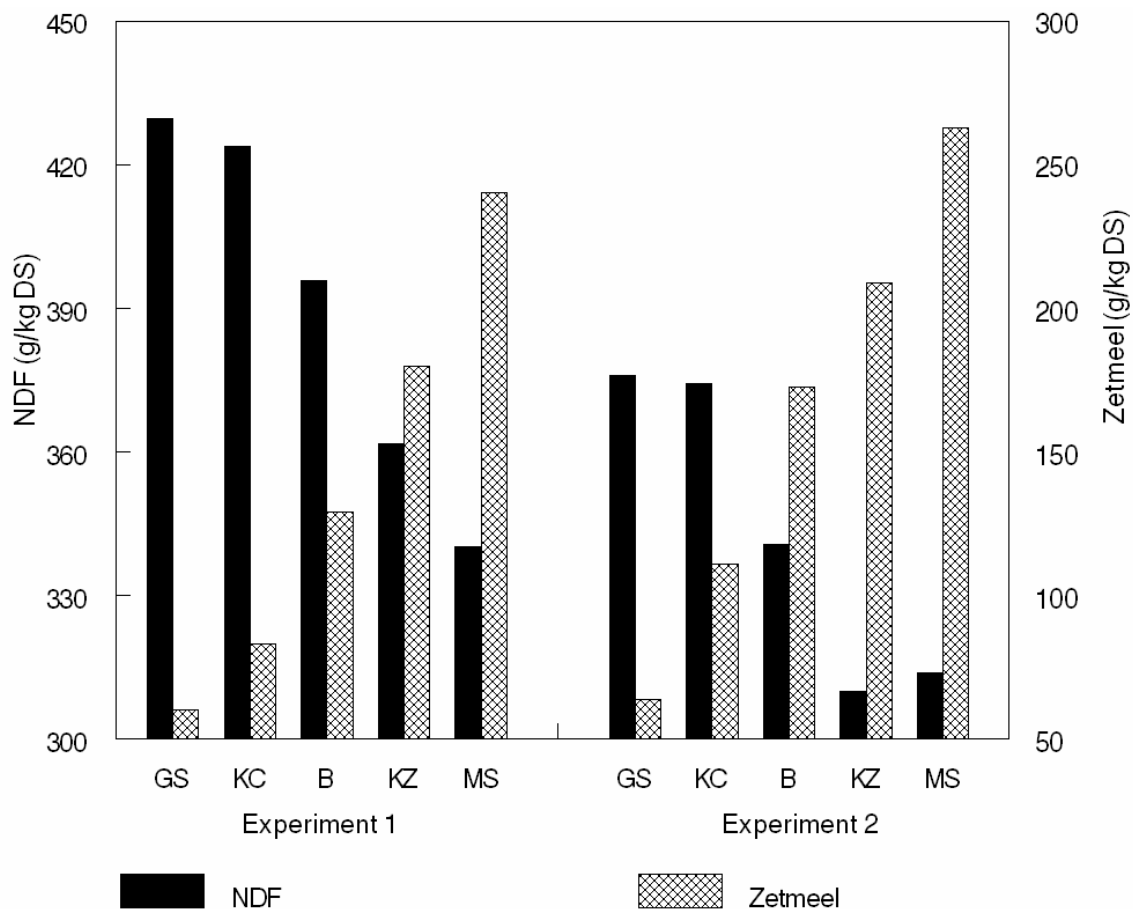
<sup>2</sup> berekend volgens  $RNSP = OS - RE - RVET - NDF - Suiker - Zetmeel$

<sup>3</sup> per kg DS

De verzadigingswaarde van de rantsoenen, weergegeven als rekenkundig gemiddelde en berekend uit de chemische samenstelling van de voeders, is verschillend tussen alle rantsoenen, alhoewel het effect van ruwvoercomponent veel groter is dan het effect van de verschillende krachtvoerders.

Het was niet mogelijk het eiwitgehalte in het rantsoen gelijk te houden over de verschillende behandelingen door het voeren van de verschillende silages. Het is dan ook logisch dat het RE-gehalte en de OEB van het rantsoen verschilden tussen GS, B en MS. Ook de DVE waardes verschilden tussen rantsoenen, vooral bij verschil in ruwvoercomponent. Er is verschil in AS van het restvoer tussen de verschillende ruwvoer-behandelingen GS, B en MS maar dit volgt het AS-gehalte van het voer. Dat blijkt uit de OS waardes van het voer ( $OS = DS - AS$ ).

In figuur 1 is het NDF- en zetmeelgehalte in de rantsoenen tijdens beide experimenten weergegeven. Uit de figuur blijkt dat in zowel experiment 1 als experiment 2 het aandeel NDF in het rantsoen sterk daalde tussen GS, B en MS en tussen KC, B en KZ, terwijl het aandeel zetmeel daar juist steeg. Vanwege het lagere NDF-gehalte in de gras- en maaskuil is het NDF-gehalte van de rantsoenen in experiment 2 lager dan in experiment 1.



Figuur 1: NDF- en zetmeelgehalte in rantsoenen in experiment 1 en 2

#### 4.2 Drogestofopname en opnamegedrag

De drogestofopname (DSO) en opnamegedrag parameters van de rantsoenen zijn weergegeven in tabel 8. Er zijn significante verschillen in DSO tussen verschillende rantsoenen: GS heeft een lagere DSO dan alle andere rantsoenen, terwijl KZ een iets lagere opname heeft dan KC. De ranking van opname (van hoge opname naar lage opname, KC - MS - B - KZ - GS) verschilt van de ranking van VW totaal rantsoen (van lage VW naar hoge VW, MS - KZ - B - KC - GS). Dit geeft aan dat, na het uitsluiten van dierfactoren, de VW niet volledig de opname van de koeien kan verklaren (in tegenstelling tot Zom *et al.*, 2002).

Er is geen significant verschil in DSO tussen beide experimenten, ook is er geen interactie tussen behandeling en experiment (in de tabel aangegeven als beh\*exp) in DSO. In figuur 2 is de DSO per behandeling per experiment weergegeven.

In tabel 8 staan ook een aantal gemeten kenmerken van het voeropnamegedrag bij de vijf rantsoenen weergegeven. Het betreft hier gegevens van de tot maaltijden gegroepede bezoeken aan de voerbakken.

Tabel 8: Drogestofopname (DSO) en voeropnamegedragskenmerken<sup>1</sup>

	Behandeling					Experiment		SEM	p-waarde		
	GS	KC	B	KZ	MS	1	2		beh	exp	beh*ex
Per dag											
DSO <sup>2</sup>	17.7a	20.0b	19.9b	19.3b	19.6b	19.4	19.2	0.37	<0.0001	0.5755	0.4665
Maaltijden <sup>3</sup>	7.5	7.5	7.3	7.5	7.6	7.2	7.7	0.30	0.1832	0.0003	0.0001
Bezoeken <sup>3</sup>	20.6b	20.4ab	20.9b	20.7b	19.1a	21.1	19.6	1.39	0.0108	0.0015	0.0300
Vreettijd <sup>4</sup>	231.0d	210.6c	214.8c	199.0	179.0a	234.5	179.3	6.42	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Per maaltijd											
DSO <sup>5</sup>	2.2a	2.5b	2.5b	2.4b	2.5b	2.5	2.4	0.04	<0.0001	0.0165	0.0036
Bezoeken <sup>6</sup>	2.5b	2.5b	2.6b	2.5b	2.3a	2.6	2.3	0.04	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Vreettijd <sup>7</sup>	28.7d	26.4c	27.5cd	24.3b	22.2a	29.9	21.9	0.94	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Maaltijdduur <sup>7</sup>	32.0d	29.3c	30.4cd	27.1b	25.1a	33.2	24.5	0.97	<0.0001	<0.0001	<0.0001
DS opname-snelheid <sup>8</sup>	70.6a	86.5b	84.7b	90.1c	100.2d	75.3	98.0	0.05	<0.0001	<0.0001	<0.0001

<sup>1</sup> getallen met dezelfde letters in een rij wijken niet significant van elkaar af (p<0.05)

<sup>2</sup> in kg DS/dag

<sup>3</sup> per dag

<sup>4</sup> in min/dag

<sup>5</sup> in kg DS/maaltijd

<sup>6</sup> per maaltijd

<sup>7</sup> in min/maaltijd

<sup>8</sup> in kg/min (maaltijdduur)

Zowel het aantal bezoeken per maaltijd als per dag is significant lager bij MS dan bij de overige rantsoenen. De vreettijd daalt als het aandeel celwandmateriaal in het rantsoen daalt, dit is vooral het geval bij een verandering in de ruwvoersamenstelling. Ondanks het lagere aantal bezoeken per maaltijd bij MS is het aantal maaltijden per dag gelijk bij de verschillende rantsoenen. Beide resultaten zijn in lijn met onderzoek door Dado en Allen (1995). De verschillen in DSO per dag en per maaltijd zijn niet zo duidelijk als de verschillen in vreettijd. Dit wordt veroorzaakt doordat de opnamesnelheid sterk significant verschilt tussen de verschillende behandelingen. Wederom is hierin het aandeel ruwvoer vooral bepalend – bij een afnemend aandeel celwandmateriaal stijgt de opnamesnelheid sterk.

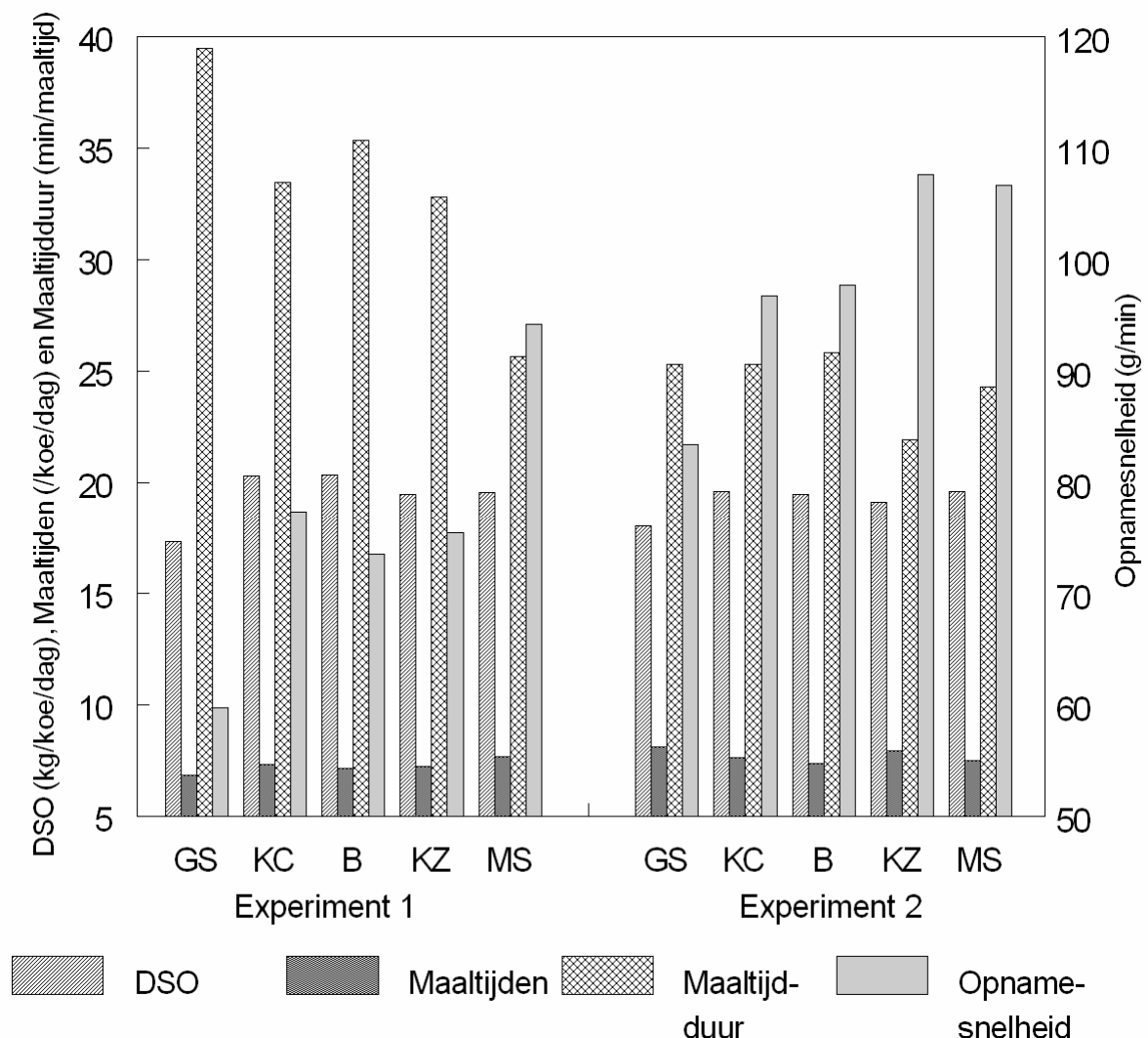
Uit tabel 8 blijkt dat er een sterk effect van experiment (exp) gevonden is in verschillende parameters. Het aantal maaltijden per dag is lager tijdens vroege lactatie, terwijl de DSO per maaltijd significant hoger is. Dit resulteert in een gelijke DSO per dag. Wel is de vreettijd per maaltijd en per dag significant hoger in experiment 1 dan in experiment 2. Het verschil in vreettijd per maaltijd tussen beide experimenten is groter dan het verschil in DSO per maaltijd, resulterend in een significant hogere opnamesnelheid van DS in experiment 2 dan in experiment 1.



Het is lastig deze resultaten te vergelijken met andere literatuur omdat er nauwelijks onderzoek te vinden is dat verschillen in voeropnamegedrag op éénzelfde rantsoen beschrijft tussen verschillende lactatiestadia (DeVries *et al.*, 2003). De totale maaltijdduur per dag is met 234 min/dag vergelijkbaar met de in DeVries *et al.* (2003) beschreven waarden.

Er zijn ook significante interacties tussen behandeling en experiment (beh\*exp) gevonden. In figuur 2 zijn daarom de verschillen in het behandelingseffect tussen de beide experimenten te vinden. Hieruit blijkt uit eerste oogopslag dat er een groot verschil is in vooral de maaltijdduur en opnamesnelheid tussen beide experimenten. De krachtvoerbehandelingen uit experiment 2 worden sneller opgenomen bij minder structurele koolhydraten, een effect dat in experiment 1 niet te zien is. Verder is het verschil in maaltijdduur veel duidelijker aanwezig in experiment 1 dan in experiment 2.

Figuur 2: Drogestofopname (DSO) en opnamekarakteristieken per behandeling per experiment



### 4.3 Concentraties vluchtige vetzuren en ammoniak

Uit tabel 9 met de pensvloeistof-karakteristieken bij de verschillende rantsoenen blijkt dat er sterk significante verschillen zijn tussen de verschillende rantsoenen bij de meeste parameters.

Tabel 9: Penskarakteristieken van koeien op de verschillende rantsoenen<sup>1</sup>

	GS	KC	B	KZ	MS	Experiment		SEM	p-waarde		
						1	2		Beh	Exp	beh*exp
pH	6.12bc	6.18c	6.06b	6.11bc	5.83a	6.11	6.01	0.06	<0.0001	0.0032	0.1970
Tijd onder pH 5.8 <sup>2</sup>	1.3a	0.9a	1.9a	2.5a	5.9b	1.87	3.13	0.94	0.0041	0.1412	0.9979
Gebied onder pH 5.8 <sup>3</sup>	0.2a	0.1a	0.2a	0.3ab	1.1b	0.12	0.33	0.12	0.0016	0.2252	0.9952
Tijd onder pH 6.3 <sup>2</sup>	9.6	8.5	9.7	8.8	12.3	8.37	11.20	0.97	0.0665	0.0024	0.7859
Gebied onder pH 6.3 <sup>3</sup>	2.7a	2.3a	3.2a	3.2a	6.5b	2.72	4.42	0.71	0.0015	0.0118	0.9594
VFA <sup>4</sup>	125.2b	118.7ab	119.1ab	118.5a	117.6a	110.77	128.85	1.62	0.0213	0.0002	0.5290
Azijnzuur <sup>5</sup>	61.5c	61.7c	60.1b	60.2b	55.9a	60.24	59.51	0.51	<0.0001	0.0196	0.0021
Propionzuur <sup>5</sup>	21.2a	21.1a	21.6ab	22.2b	26.0c	22.16	22.68	0.31	<0.0001	0.0268	<0.0001
Boterzuur <sup>5</sup>	13.3ab	13.4ab	14.1c	13.7bc	13.3a	13.37	13.72	0.20	0.0001	0.0146	<0.0001
Isoboterzuur <sup>5</sup>	0.73c	0.64b	0.65b	0.65b	0.55a	0.63	0.66	0.02	<0.0001	0.0518	0.0016
Valeriaanzuur <sup>5</sup>	1.6a	1.6ab	1.8b	1.7ab	2.5c	1.74	1.89	0.04	<0.0001	0.0202	0.1319
Isovaleriaanzuur <sup>5</sup>	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.30	1.42	0.04	0.0835	0.0057	0.0024
NGR <sup>6</sup>	3.87c	3.89c	3.85bc	3.71b	2.98a	3.72	3.60	0.08	<0.0001	0.0126	0.0012
NH <sub>3</sub> <sup>7</sup>	177.4d	121.2c	106.2b	100.1b	49.2a	93.08	128.54	7.87	<0.0001	0.0002	0.0289

<sup>1</sup> getallen met dezelfde letters in een rij wijken niet significant van elkaar af (p<0.05)

<sup>2</sup> in uren per dag

<sup>3</sup> in uren\*pH-eenheden per dag

<sup>4</sup> uitgedrukt in mmol/l

<sup>5</sup> uitgedrukt in % van VFA

<sup>6</sup> bepaald met de formule: NGR=(azijnzuur+2(boterzuur)+2(isoboterzuur)+valeriaanzuur+isovaleriaanzuur)/(propionzuur+valeriaanzuur+isovaleriaanzuur)

<sup>7</sup> uitgedrukt in mg/l

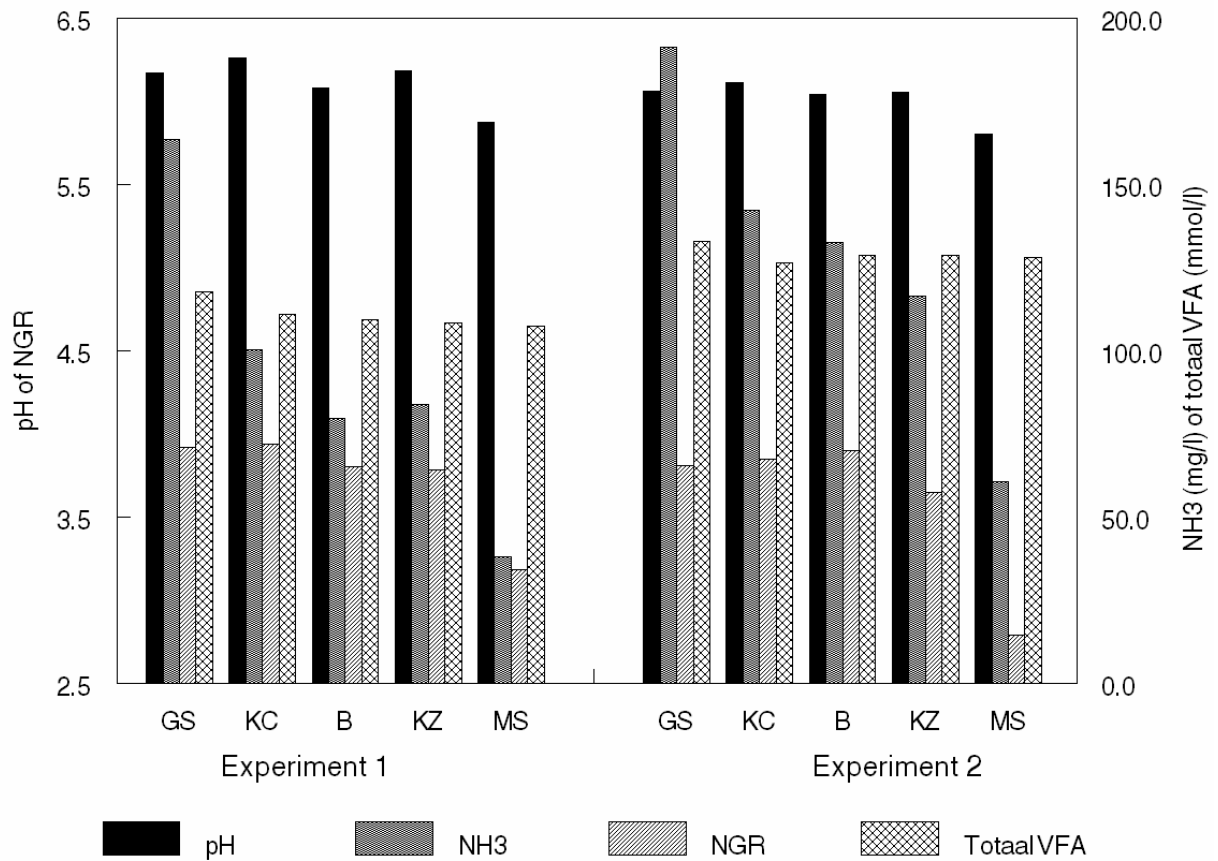
Rantsoen MS wijkt in veel gevallen significant af van de andere rantsoenen. Tussen de rantsoenen die verschillen in de ruwvoersamenstelling is er vooral in het geval van azijnzuur, propionzuur en de hier deels uit resulterende NGR een duidelijk effect te zien, terwijl dit effect bij de rantsoenen die verschillen in de krachtvoersamenstelling minder groot is. Globaal komen de verschillen in molaire proporties goed overeen met de resultaten die Bannink *et al.* (2006) rapporteerden. Het verhogen van het NDF gehalte geeft meer azijnzuur en minder propionzuur (GS en KC); het verhogen van zetmeelgehalte geeft het omgekeerde effect (KZ en MS). Voor boterzuur is geen duidelijk verband te vinden met de gevoerde rantsoenen. Bannink *et al.* (2006) vonden dat krachtvoerrantsoenen (> 60% krachtvoer) die het hoogst zijn in zetmeel het laagste boterzuur aandeel geven, maar voor ruwvoerrantsoenen (> 60% ruwvoer) was dat niet het geval. In overeenstemming met de waarden die Robinson *et al.* (1986) vonden op krachtvoerrijke rantsoenen, was deze relatie in het hier beschreven onderzoek ook niet aanwezig.

In tegenstelling tot wat verwacht mocht worden gebaseerd op de bevindingen van Bannink *et al.* (2006) bij krachtvoerrijke rantsoenen, heeft het verlagen van het eiwitgehalte in het rantsoen geen negatief effect op het totale aandeel van valeriaanzuur+vertakte VFA. Valeriaanzuur stijgt bij een hoger aandeel zetmeel in het rantsoen. Dit is wel in overeenstemming met de resultaten gevonden door Bannink *et al.* (2006).

Het ammoniakgehalte verschilt duidelijk tussen de verschillende behandelingen en volgt zowel bij de behandelingen waarbij de ruwvoercomponent verschilt (GS-B-MS) als waarbij de krachtvoercomponent verschilt (KC-B-KZ) de chemische samenstelling van het rantsoen sterk. Het gemiddelde ammoniakgehalte van rantsoen MS ligt op de grens van wat noodzakelijk is voor optimale pensfermentatie (grenswaarde algemeen 50 mg/l; Satter en Slyter, 1974). Er zijn diverse tijdstippen waarbij het ammoniakgehalte van MS ruim onder deze grens ligt, en daarom mag verwacht worden dat microbiele eiwitsynthese en de afbraak van organische stof hierdoor in zekere mate geremd zijn. De negatieve OEB van MS ondersteunt deze verwachting.

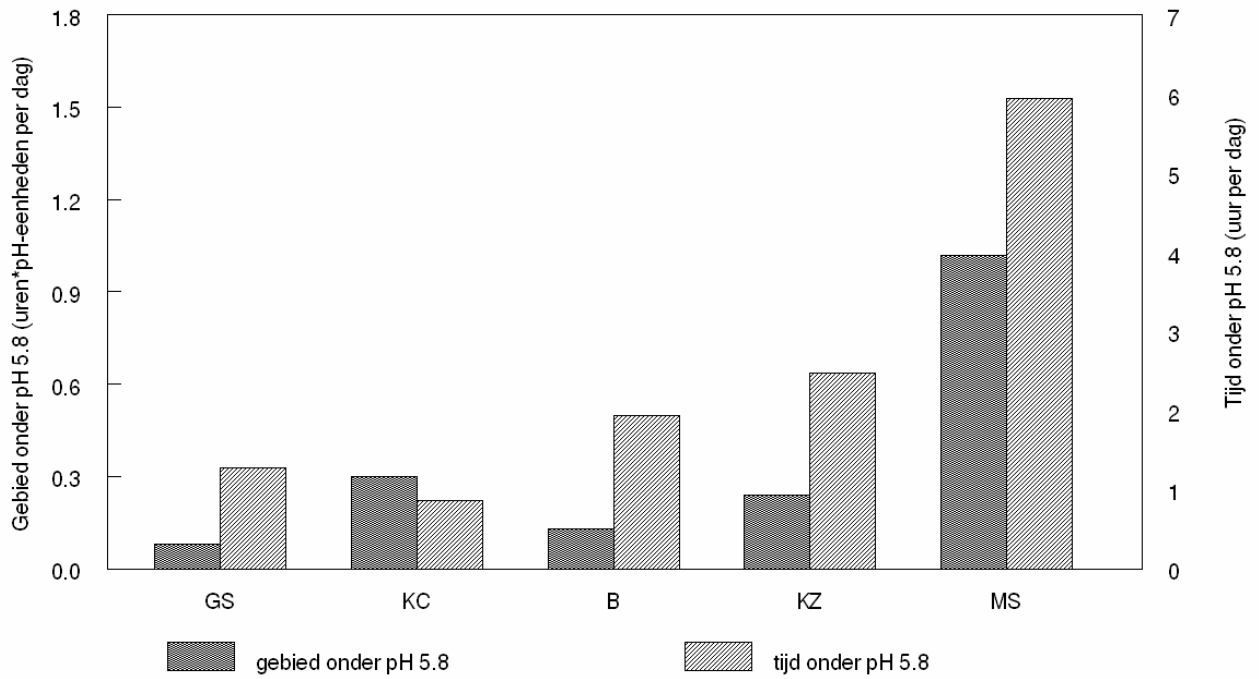
In figuur 3 zijn de pensvloeistofkenmerken weergegeven per experiment en behandeling. Uit deze figuur blijkt dat de effecten van de behandelingen op het ammoniak gehalte in de pens het meest duidelijk zijn. Het niveauverschil tussen experiment 1 en 2 is veroorzaakt door het hogere RE gehalte van de ruwvoerders in experiment 2. De overige effecten zijn iets minder duidelijk maar de lagere NGR bij de beide rantsoenen met lager gehalte structurele koolhydraten is goed te zien, evenals het effect van experiment op de pH van pensvloeistof. De iets lagere pH in experiment 2 gaat gepaard met een gemiddeld wat hogere concentratie totaal VFA. In experiment 2 was de opnamesnelheid hoger, dit kan gerelateerd zijn aan gemiddeld wat snellere stijging in VFA en scherpere daling in pH na een maaltijd. Door de snellere opname en het patroon waarin de pensvloeistofmonsters genomen werden (elke 15 minuten, na 2 uur elke 30 minuten) zijn in experiment 2 relatief meer monsters genomen vlak na de maaltijden dan in experiment 1.

Het verschil in lactatiestadium leidde tot een lagere in pH in late lactatie. Robinson *et al.* (1986) vonden hogere pH waarden in late lactatie ten opzichte van vroege lactatie bij koeien die gedurende de lactatie gelijke rantsoenen kregen. In het experiment van Robinson nam de voeropname echter duidelijk af met lactatiestadium en dat was in dit experiment niet het geval. Ook het hogere aandeel zetmeel van de rantsoenen in experiment 2 kan bijdragen aan een verlaging van de pH ten opzichte van experiment 1 (Robinson *et al.*, 1986). Verder kan de hogere opnamesnelheid in combinatie met de methodiek van pensvloeistofmonstername zoals hierboven beschreven dit effect deels veroorzaakt hebben. Het effect van zetmeelgehalte tussen de experimenten komt ook terug in de NGR die gemiddeld iets lager ligt in experiment 2.

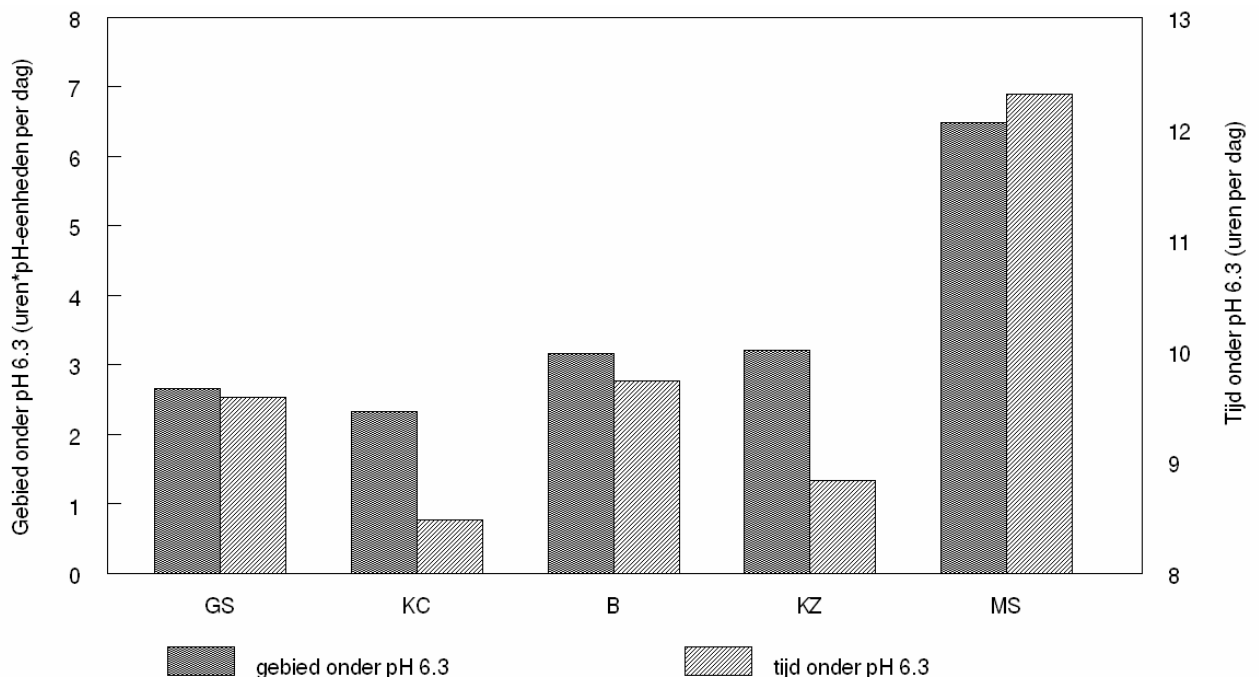


Figuur 3: Pensvloeistofkenmerken per rantsoen per experiment

Voor microbiële fermentatie van structurele koolhydraten is de pH in de pens van belang (Dijkstra, 1993). Het gebied en de tijd onder pH 5.8 is een indicatie voor (subklinische) pensacidose (Krause *et al.*, 2002) terwijl onder pH 6.3 de afbraak van structurele koolhydraten vermindert (Dijkstra *et al.*, 1992). Uit tabel 9 blijkt dat alle pH parameters significant hoger zijn voor MS (behalve tijd onder pH 6.3, hier is een trend gevonden met  $p=0.0665$ ), terwijl tussen de andere rantsoenen geen verschillen aanwezig zijn. Deze effecten zijn weergegeven in figuur 4 en 5.

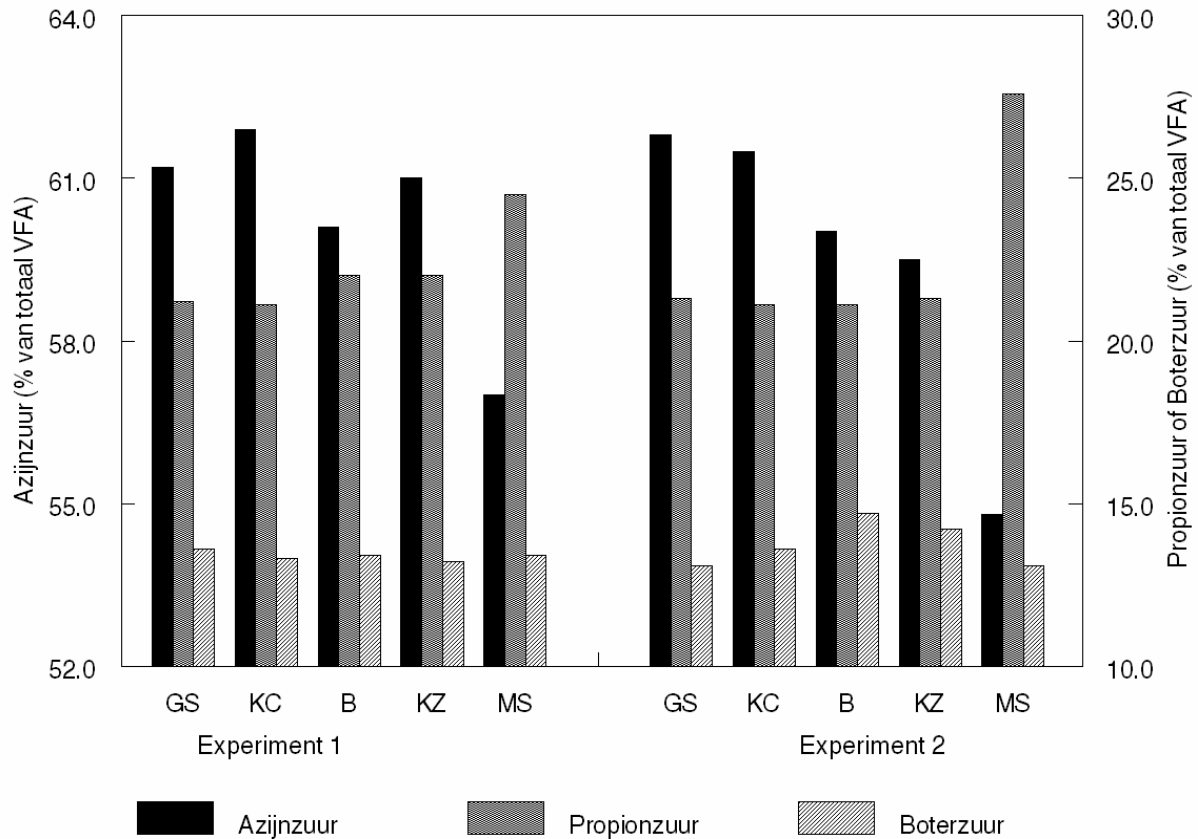


Figuur 4: Tijd en gebied waarbij de pH van pensvloestof lager is dan 5.8



Figuur 5: Tijd en gebied waarbij de pH van pensvloestof lager is dan 6.3

In figuur 6 zijn de molaire proporties van azijnzuur, propionzuur en boterzuur weergegeven. Daaruit blijkt dat het effect van de verschillende rantsoenen op azijnzuur erg duidelijk is (behalve KC in experiment 1) en dat vooral in het MS rantsoen een sterk effect te zien is op het propionzuur-gehalte.



Figuur 6: Molaire proporties van azijnzuur, propionzuur en boterzuur per experiment per behandeling

#### 4.4 Fractionele verdwij- en afbraaksnelheid van pensinhoud

De pensinhoud en fractionele verdwij- en afbraaksnelheden zijn samengevat in tabel 10. Er zijn weinig significante verschillen tussen behandelingen in de verschillende variabelen. De DS en OS-pool in de pens is groter is bij KC en kleiner is bij MS dan bij de andere rantsoenen. De significante verschillen in RE-pool komen overeen met de verschillen in RE gehalte van de rantsoenen. Er zijn geen verschillen in de fractionele verdwijnsnelheid van verschillende rantsoencomponenten tussen de verschillende rantsoenen. Er is bij vrijwel alle parameters een significant effect van experiment, maar in geen van de parameters is de interactie tussen experiment en behandeling significant. In experiment 1 zijn de penspools lager en de fractionele verdwij- en afbraaksnelheden hoger.

Het valt op dat de fractionele verdwij- en afbraaksnelheid van NDF erg laag is vergeleken met andere onderzoeken (bijv. van Vuuren, 1993). Deze is geschat als verschil tussen de fractionele verdwijnsnelheid van NDF en de fractionele verdwijnsnelheid van ADL. Hierbij is aangenomen dat ADL volledig onafbeekbaar is en de pens alleen verlaat via passage. Ook is aangenomen dat NDF met dezelfde snelheid passeert als ADL. Vooral deze laatste aanname is niet geheel juist (van Vuuren, 1993): doordat deeltjesgrootte van invloed is op passage, ADL relatief gezien meer in kleine deeltjes voorkomt dan NDF en doordat NDF eerst deels afgebroken moet worden voordat het kan passeren is de fractionele passagesnelheid van ADL over het algemeen groter dan NDF. De in tabel 10 gepresenteerde fractionele verdwijnsnelheid en in nog grotere mate de fractionele afbraaksnelheid van NDF is daarom onderschat.

Tabel 10: Pensinhoud en fractionele verdwij- en afbraaksnelheden<sup>1</sup>

	GS	KC	B	KZ	MS	Experiment		SEM	p-waarde		
						1	2		beh	exp	Beh*exp
Drogestof-pool <sup>2</sup>	16.5ab	18.3b	17.9ab	16.2ab	14.5a	18.5	14.8	0.88	0.0319	<0.0001	0.9471
Organische stofpool <sup>2</sup>	14.9ab	16.7b	16.3ab	14.8ab	13.4a	16.9	13.5	0.80	0.0422	<0.0001	0.9696
RE-pool <sup>2</sup>	3.6b	3.5b	3.4b	3.0b	2.3a	3.4	3.0	0.17	<0.0001	0.0107	0.9803
NDF-pool <sup>2</sup>	7.8	9.4	9.2	8.4	8.4	9.9	7.3	0.45	0.0842	<0.0001	0.9881
ADL-pool <sup>2</sup>	0.8ab	0.9b	0.9ab	0.8ab	0.7a	0.9	0.7	0.04	0.0153	<0.0001	0.8661
Verdwijnsnelheid ADL <sup>3</sup>	3.5	3.9	3.7	3.3	3.9	3.3	4.0	0.36	0.6571	0.0409	0.9823
Verdwijnsnelheid DS <sup>3</sup>	5.4	5.5	5.4	5.2	5.3	4.9	5.9	0.36	0.9890	0.0051	0.9692
Verdwijnsnelheid OM <sup>3</sup>	5.4	5.6	5.4	5.3	5.4	4.9	6.0	0.36	0.9895	0.0020	0.9626
Verdwijnsnelheid RE <sup>3</sup>	5.2	5.6	5.5	5.4	6.6	5.3	6.0	0.47	0.2878	0.1010	0.7598
Verdwijnsnelheid NDF <sup>3</sup>	4.9	4.9	4.4	4.4	4.3	4.0	5.2	0.31	0.4131	0.0002	0.6684
Afbraaksnelheid NDF <sup>3</sup>	1.4	1.0	0.7	1.1	0.8	0.8	1.2	0.18	0.0833	0.0110	0.4801

<sup>1</sup> getallen met dezelfde letters in een rij wijken niet significant van elkaar af (p<0.05)

<sup>2</sup> in kg

<sup>3</sup> in %/u

#### 4.5 Melkhoeveelheid en –gehalten

De melkgegevens staan weergegeven in tabel 11. Er blijkt een duidelijk effect van ruwvoercomponent in de TMR op de melkgift van de koeien. Meer structurele koolhydraten in het rantsoen (minder zetmeel) verlaagt de melkproductie significant indien deze koolhydraten via ruwvoer gevoerd worden. Echter, het verschil in VEM gehalte tussen grassilage en maissilage kan ook een deel van het effect veroorzaakt hebben. Bij de verschillende krachtvoersoorten is geen significant effect gevonden. Het vetgehalte wordt duidelijk beïnvloed door het NDF of zetmeelgehalte in het rantsoen. Meer zetmeel (daarmee minder NDF) geeft een significant lager vetpercentage, zij het in het geval van zetmeel via krachtvoer slechts numeriek. Het aandeel zetmeel in KZ was echter ook lager dan het aandeel zetmeel in MS, en voor NDF omgekeerd. De verlaging van het melkvetgehalte bij rantsoenen met veel zetmeel en weinig NDF is algemeen gevonden (onder andere door Cherney *et al.*, (2003) en deze melkvetdaling wordt tegenwoordig vooral gerelateerd aan de grotere vorming van *trans*-10 C18:1 bij dergelijke rantsoenen (Bauman *et al.*, 2006), alhoewel ook directe effecten van glucogene nutriënten op o.a. plasma insulinegehalte en daarmee melkvet niet uit te sluiten zijn (zie Van Knegsel *et al.*, 2007).

Het eiwitgehalte varieert ook tussen de behandelingen. Het lage voereiwitgehalte van MS leidde niet tot lage melkeiwitgehalten Dit is wordt verklaart door de hogere beschikbaarheid van glucogene nutriënten (propionzuur en zetmeel; Thomas en Martin, 1988). Ureum wordt algemeen gezien als indicator voor een overschot aan stikstof in de pens voor microbiële fermentatie en/of een overschot aan stikstof in het intermediaire metabolisme voor melk- of lichaamseiwit vorming (Lobley *et al.*, 2000) en is sterk gerelateerd aan het RE en OEB gehalte van het rantsoen en daarmee ammoniakgehalte in de pens (Tas, 2005). Ook in dit onderzoek volgt het ammoniakgehalte in de pens de opname van RE, DVE en OEB via het rantsoen, en het ureumgehalte in de melk volgt het RE, DVE en OEB gehalte in het rantsoen en het ammoniakgehalte in de pens weer. Door Tas (2005) zijn regressievergelijkingen opgesteld tussen de OEB van het rantsoen en het ureumgehalte in de melk. De in dit onderzoek gevonden ureumgehalten in de melk bij de vijf behandelingen met verschillende OEB komen sterk overeen met de voorspelde waardes van deze regressievergelijkingen. Het effect op het vetgehalte in de melk zorgt ervoor dat tussen de verschillende behandelingen geen significant effect gevonden is van FPCM.

Uit tabel 11 blijkt dat er sterk significante verschillen zijn tussen beide experimenten en (behalve voor melkproductie en eiwitgehalte) geen interactie tussen behandeling en experiment. In figuur 7 zijn deze effecten van experiment op de gemeten waardes duidelijk te zien. Het bovengenoemde effect van de rantsoenen op melkproductie en FPCM blijkt ook uit deze figuur, waarnaast duidelijk wordt dat het effect van rantsoen op melkproductie vooral duidelijk is in experiment 1.

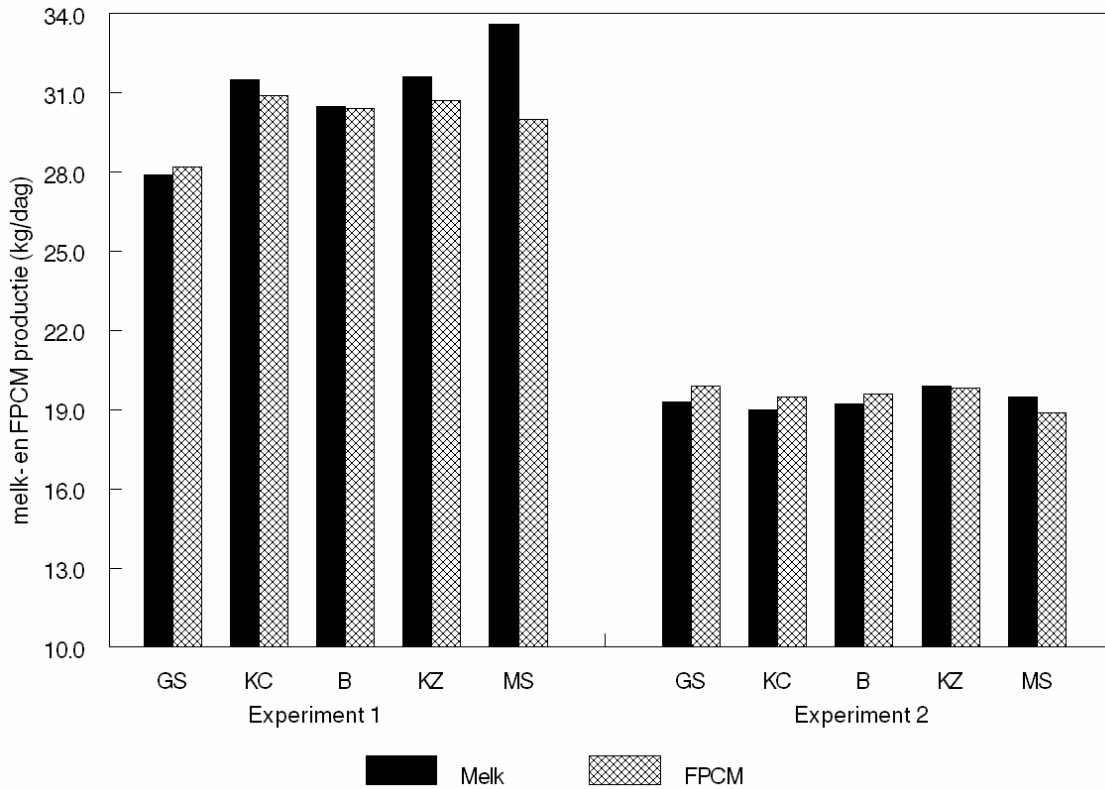
De reden voor de significante interactie tussen melkhoeveelheid en experiment waarbij in experiment 1 een positief effect van het voeren van zetmeelrijk rantsoen te zien is terwijl dat effect niet optreedt in experiment 2 is waarschijnlijk de sturing van pensbestendig zetmeel in de richting van melk in experiment 1, terwijl in experiment 2 deze energie gebruikt werd als energieopslag (zie paragraaf 4.6). In vroege lactatie is de aanvoer van glucose voor onder andere lactosesynthese van groot belang en wordt een groot deel tot zelfs alle beschikbare glucose gebruikt door de uier (Knowlton *et al.*, 1998). In een onderzoek door Reynolds *et al.* (2001) wordt het effect van lactatiestadium op het gebruik van gevoerd zetmeel beschreven. Ook in dit onderzoek wordt in vroege lactatie een deel van de energie omgezet naar melk, en een deel naar lichaamsreserves, terwijl in late lactatie vrijwel alle energie omgezet wordt in lichaamsreserves. Overigens was het VEM gehalte van grassilage in experiment 1 erg laag waardoor er vrij grote verschillen in VEM tussen de behandelingen ontstonden. Dit verschil was niet zo groot in experiment 2. Hierin kan dus ook een deel van de verklaring liggen in het verschil in melkproductie tussen experiment 1 en 2.



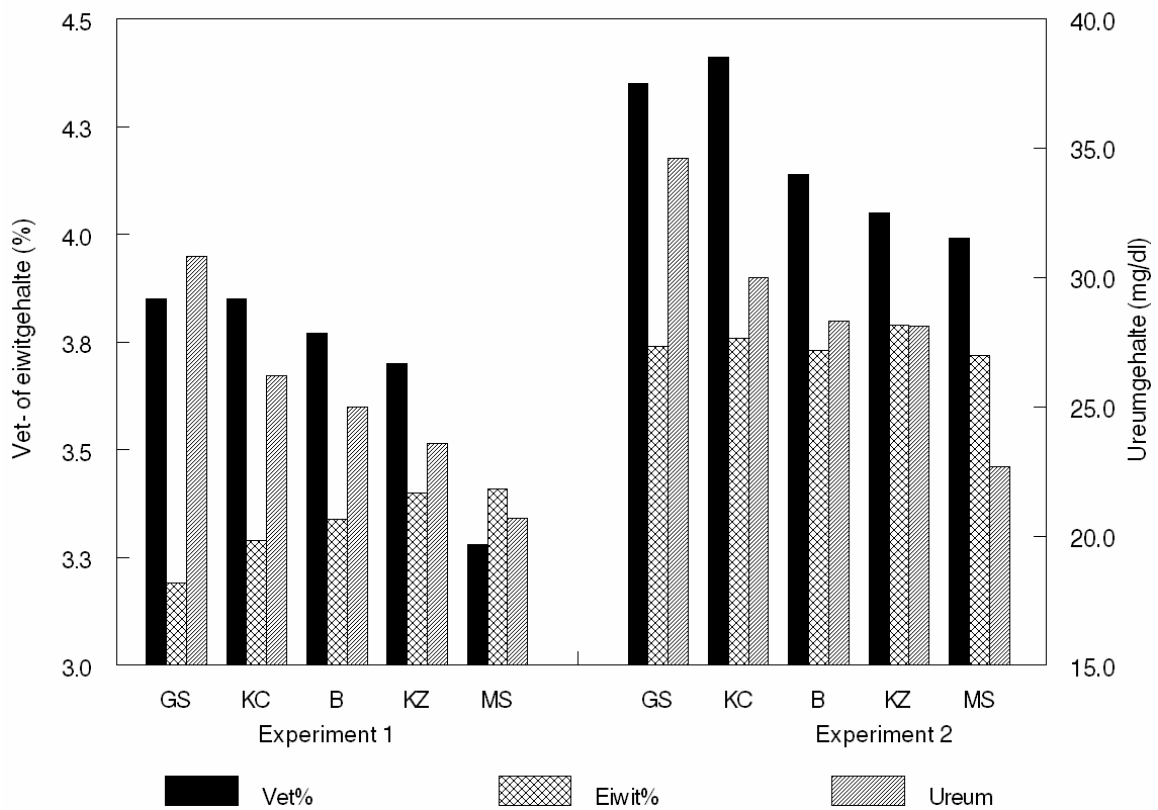
Tabel 11: Melkproductie en –gehaltenes<sup>1</sup>

	Behandeling					Experiment		SEM	p-waarde		
	GS	KC	B	KZ	MS	1	2		beh	exp	beh*exp
Melkproductie (kg/koe/dag)	23.6a	25.2bc	24.9ab	25.8bc	26.6c	31.0	19.4	0.73	<0.0001	<0.0001	0.0002
FPCM-productie (kg/koe/dag)	24.1	25.2	25.0	25.3	24.4	30.0	19.6	1.22	0.9457	<0.0001	0.9048
Vet (%)	4.09b	4.08b	3.90b	3.84ab	3.62a	3.69	4.19	0.16	0.0002	<0.0001	0.4791
Eiwit (%)	3.47a	3.52ab	3.53abc	3.59c	3.56bc	3.32	3.75	0.06	<0.0001	<0.0001	0.0001
Lactose (%)	4.51a	4.55abc	4.60c	4.58bc	4.57bc	4.65	4.47	0.03	<0.0001	<0.0001	0.0748
Ureum (mg/dl)	32.7d	28.1c	26.7bc	25.9b	21.7a	25.3	28.7	0.57	<0.0001	<0.0001	0.1641

<sup>1</sup> getallen met dezelfde letters in een rij wijken niet significant van elkaar af (p<0.05)



Figuur 7: Melk- en FPCM productie per behandeling per experiment



Figuur 8: Vet-, eiwit- en ureumgehaltenes per behandeling per experiment

In figuur 8 is het effect van de verschillende melkgehalten weergegeven voor de behandelingen in beide experimenten. Hieruit blijkt dat het dalende vetgehalte bij stijgend aandeel zetmeel (dalend aandeel NDF) in de rantsoenen in beide experimenten duidelijk naar voren komt. Verder is het effect van de behandelingen op ureum in de melk duidelijk te zien. In experiment 1 daarentegen is een positief effect gevonden op de melkeiwitgehaltenes bij het voeren van het zetmeelrijke rantsoen. Dit lijkt in tegenspraak met de lagere RE-gehaltenes in het voer, lagere NH<sub>3</sub>-gehaltenes in de pens en het lagere ureumgehalte in de melk. Daar staat tegenover dat de DSO een deel van het verschil in RE-gehalte van het rantsoen compenseerde, immers de DSO was lager bij GS dan de andere rantsoenen. Meer glucogene energie kan een eiwitparend effect hebben. Er is dan een groter aanbod van niet-structurele koolhydraten die beschikbaar zijn als energiebron voor microbiële eiwitsynthese (Hristov *et al.*, 2005). Dit effect is ook beschreven door Chikunya *et al.* (1996). Uit figuur 8 blijkt het eiwitgehalte in experiment 1 het hoogst te zijn voor MS, terwijl dit gelijk bleef in experiment 2. Het DVE gehalte van de krachtvoerders en van de maissilage is tamelijk constant tussen experiment 1 en 2, maar grassilage in experiment 1 heeft een duidelijk lagere DVE dan in experiment 2.

Uit de figuur blijkt verder een verschil in vooral vet- en eiwitgehalte tussen experiment 1 en 2. Dit is al veelvuldig beschreven (zie bijv. Walker *et al.*, 2004) en wordt geweten aan 1) verdunnen van melk door hoge melkproductie in vroege lactatie en 2) (in het geval van eiwitgehalte) negatieve energiebalans in vroege lactatie. Het hogere RE gehalte in de rantsoenen van experiment 2 draagt uiteraard ook mee in de effecten op eiwit- en ureumgehaltenes.

#### 4.6 Lichaamsgewicht en BCS

Het gewicht en de BCS van de koeien is bepaald aan het begin van iedere meetweek. Er blijken geen significante effecten van behandeling op het gewicht, de BCS of de veranderingen daarvan in vergelijking met de voorgaande periode. Dit komt deels door de methodiek: tussen de beide wegingen/bepalingen werden twee verschillende rantsoenen gevoerd: één week het ene rantsoen (tijdens de meetweek) en twee weken het andere rantsoen (aanpassing aan het volgende rantsoen). Hierdoor kunnen aan onderstaande tabel 12 geen conclusies worden verbonden. Overigens was er een sterk significant effect van experiment op de gegevens: gewicht en BCS waren hoger in experiment 2 dan in experiment 1.

Tabel 12: Gewicht en BCS, evenals de veranderingen daarin per behandeling

	Behandeling					Experiment		SEM	p-waarde		
	GS	KC	B	KZ	MS	1	2		beh	exp	beh*exp
Gewicht (kg)	587.4	592.5	590.0	590.5	594.0	559.1	662.6	3.88	0.7899	<0.0001	0.7624
BCS	2.94	3.01	3.02	2.90	3.04	2.84	3.12	0.07	0.5026	<0.0001	0.8678
Gewichts-	7.6	13.7	11.1	12.2	19.6	8.8	16.8	3.30	0.1516	0.0087	0.1625
BCS-verandering	-0.02	0.09	0.02	-0.03	0.19	-1.8*10 <sup>-3</sup>	0.10	0.09	0.4142	0.2211	0.7952

## 5 Conclusie

Uit deze stalexperimenten blijkt dat een aangebracht effect van koolhydraatfractie in het rantsoen (ofwel veel structurele koolhydraten, ofwel veel zetmeel in het rantsoen) aangebracht door een verschil in ruwvoercomponent of door een verschil in de krachtvoercomponent van het rantsoen verschillende effecten heeft op de opname, pensfermentatie en productie van koeien in vroeg en laat lactatiestadium. De voeropnamegegevens en het opnamepatroon van het voer verschillen tussen de verschillende rantsoenen. Het is duidelijk dat bij een verschil in zetmeel en NDF veroorzaakt door het voeren van verschillende ruwvoerders, rantsoenen met meer structurele koolhydraten langzamer opgenomen worden, de vreettijd per maaltijd en per dag langer is terwijl de maaltijden langer duren. Dit gaat samen met een lagere DS-opname van GS. Het opnamegedrag verschilde ook tussen koeien in vroege en late lactatie, zo was de opnamesnelheid hoger in late lactatie en de vreettijd korter, werden de voerbakken minder bezocht en was er een trend naar meer maaltijden per dag, terwijl de opname gelijk bleef.

Het opnamepatroon bij verschillende ruwvoerders (langere vreettijd en lagere opnamesnelheid bij het zetmeelarme, celwandrijke ruwvoeder GS vergeleken met MS) ging gepaard met een andere voeropname (lager bij GS in vergelijking met MS). Voor krachtvoerders lag dit echter precies andersom: de langere vreettijd en lagere opnamesnelheid bij het zetmeelarme, celwandrijke krachtvoeder KC vergeleken met KZ) ging juist gepaard met een hogere voeropname.

De hypothese dat de voeropname beïnvloed wordt door het voeropnamepatroon lijkt juist te zijn, vooral in het geval van GS waarbij de DSO lager is, waarschijnlijk veroorzaakt door een lage opnamesnelheid die niet volledig gecompenseerd wordt met de stijging in de vreettijd.

Tussen de concentraties vluchtige vetzuren in de pens zijn ook verschillen gevonden. Een verhoogd aandeel structurele koolhydraten (of verlaagd aandeel zetmeel) geeft meer azijnzuur en minder propionzuur. Deze effecten zijn ook vooral aanwezig wanneer de ruwvoercomponent in het rantsoen veranderd wordt. De pH van pensvloeistof lijkt in het geval van MS richting sub-acute pensverzuring te gaan, en het ammoniakgehalte van de pens bij dit rantsoen lijkt aan de lage kant om optimale pensfermentatie te garanderen.

Ondanks deze mogelijke effecten is de melkproductie het hoogst op het MS rantsoen en lijkt opnieuw de ruwvoersamenstelling de grootste invloed te hebben op melkproductie en –gehalten. Dit effect wordt deels verklaard door het hogere VEM gehalte van de maissilage ten opzichte van de grassilage, vooral in experiment 1. Het vet- en eiwitgehalte is lager resp. hoger wanneer minder structurele koolhydraten in het rantsoen aanwezig zijn en het ureumgehalte in de melk (dat de opname van RE, DVE en OEB en het NH<sub>3</sub>-gehalte in de pens volgt) is het laagst bij MS.

## Literatuur

- Bannink, A., J. Kogut, J. Dijkstra, J. France, E. Kebreab, A.M. van Vuuren & S. Tamminga. 2006. Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. *Journal of Theoretical Biology* 238, 36-51.
- Bauman, D.E., I.H. Mather, R.J. Wall & A.L. Lock. 2006. Major advances associated with the biosynthesis of milk. *Journal of Dairy Science* 89, 1235-1243.
- Cherney, D.J.R., J.H. Cherney & L.E. Chase. 2003. Influence of dietary nonfiber carbohydrate concentration and supplementation of sucrose on lactation performance of cows fed fescue silage. *Journal of Dairy Science* 86: 3983-3991.
- Chikunya, S., C.J. Newbold, L. Rode, X.B. Chen & R.J. Wallace. 1996. Influence of dietary rumen-degradable protein on bacterial growth in the rumen of sheep receiving different energy sources. *Animal Feed Science and Technology* 63: 333-340.
- Chilibroste, P., S. Tamminga, J. Van Bruchem & P.L. van der Togt. 1998. Effect of allowed grazing time, inert rumen bulk and length of starvation before grazing on the weight, composition and fermentative endproducts of the rumen contents of lactating dairy cows. *Grass and Forage Science* 53:146-156.
- Chilibroste, P., M. Gibb & S. Tamminga. 2005. Pasture characteristics and animal performance. In *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*, pp. 681-706 (J. Dijkstra, J.M. Forbes and J. France, editors). CAB International, Wallingford.
- Dado, R.G. & M.S. Allen. 1995. Intake limitations, feeding behaviour, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. *Journal of Dairy Science* 78: 118-133.
- DeVries, T.J., M.A.G. von Keyserlingk, D.M. Weary & K.A. Beauchemin. 2003. Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *Journal of Dairy Science* 86: 3354-3361.
- Dijkstra, J., H.D. Neal, D. E. Beaver & France, J. 1992. Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description. *Journal of Nutrition* 122: 2239 – 2256.
- Dijkstra, J. 1993. Mathematical modelling and integration of rumen fermentation processes. Ph. D. Thesis, Department of Animal Nutrition, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- Dijkstra, J., E. Kebreab, J.A.N. Mills, W.F. Pellikaan, S. López, A. Bannink, & J. France. 2007. From nutrient requirement to animal response: predicting the profile of nutrients available for absorption in dairy cattle. *Animal*, 1:99-111.
- Forbes, J.M. 1995. Voluntary feed intake and diet selection in farm animals. CAB International, Wallingford.
- Forbes, J.M. 2005. Voluntary feed intake and diet selection. In *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*, pp. 607-625 (J. Dijkstra, J.M. Forbes and J. France, editors). CAB International, Wallingford.
- Goelema, J. O. 1998. Processing of legume seeds: effects on digestive behaviour in dairy cows. Ph. D. Thesis, Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen, The Netherlands.
- Hijink, W. & A.B. Meijer. 1987. Het Koemodel. PR-publikatie nr. 50.
- Hristov, A.N., J.K. Ropp, K.L. Grandeem, S. Abedi, R.P. Etter, A. Melgar & A.E. Foley. 2005. Effect of carbohydrate source on ammonia utilization in lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* 83: 408-421.

- Knowlton, K.F., T.E. Dawson, B.P. Glenn, G.B. Huntington & R.A. Erdman. 1998. Glucose metabolism and milk yield of cows infused abomasally or ruminally with starch. *Journal of Dairy Science* 81: 3248-3258.
- Krause, K.M., D.K. Combs & K.A. Beauchemin. 2002. Effect of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminal pH and chewing activity. *Journal of Dairy Science* 85: 1947-1957.
- Lobley, G.E., D.M. Bremner & G. Zuur. 2000. Effects of diet quantity on urea fates in sheep as assessed by refined, non-invasive [<sup>15</sup>N<sup>15</sup>N]urea kinetics. *British Journal of Nutrition* 84: 459-468.
- Reynolds, C.K., S.B. Cammell, D.J. Humphries, D.E. Beever, J.D. Sutton & J.R. Newbold. 2001. Effects of postpartum starch infusion on milk production and energy metabolism in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 2250-2259.
- Robinson, P.H., S. Tamminga & A.M. Van Vuuren. 1986. Influence of declining level of feed intake and varying proportion of starch in the concentrate on rumen fermentation in dairy cows. *Livestock Production Science* 15: 173-189.
- Satter, L.D. & L.L. Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *British Journal of Nutrition* 32: 199-208.
- Searle, P.L., 1984. The berthelot or indolphenol reaction and its use in the analytic chemistry of nitrogen. A review. *Analysts* 109: 549-568.
- Tas, B.M. 2005. Perennial ryegrass for dairy cows: intake, milk production and nitrogen utilisation. Ph. D. Thesis, Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen, The Netherlands.
- Thomas, P.C. & 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. Butterworths, London.
- Tolkamp, B.J., N.C. Friggens, G.C. Emmans, I. Kyriazakis & J.D. Oldham. 2002. Meal patterns of dairy cows consuming mixed foods with a high or a low ratio of concentrate to grass silage. *Animal Science* 74: 369-382.
- Van Knegsel, A.T., H. van den Brand, J. Dijkstra, W.M. Van Straalen, M.J.W. Heetkamp, S. Tamminga & B. Kemp. 2007. Dietary energy source in dairy cows in early lactation: energy partitioning and milk composition. *Journal of Dairy Science* 90: 1467-1476.
- Van Soest, P. J. 1973. Collaborative study of acid-detergent fibre and lignin. *Journal of the Association of Analytical Chemistry* 56: 781-784.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson & B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Van Vuuren, A.M. 1993. Digestion and nitrogen metabolism of grass fed dairy cows. Promotieonderzoek, Landbouwwuniversiteit Wageningen, Nederland.
- Van Vuuren, A. M., C. J. van der Koelen, H. Valk & H. de Visser. 1993. Effects of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen function and nitrogen loss by dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 76: 2982-2993.
- Zom, R.L.G., J.W. van Riel, G. André en G. & Duinkerken. 2002. Voorspelling voeropname met koemodel 2002. *PraktijkRapport Rundvee* 11, *Praktijkonderzoek Veehouderij*, Lelystad, p. 1-50.

## Bijlage 1: Chemische samenstelling ransoenen per experiment

Tabel I: Chemische samenstelling van ransoenen en voerrest in experiment 1 (g/kg DS)

	Behandeling				
	GS	KC	B	KZ	MS
Nat-chemisch bepaald					
DS <sup>1</sup>	547.7	487.3	489.4	484.1	429.4
OS	902.8	916.2	920.2	922.7	944.8
RE	157.1	143.1	143.3	144.8	127.7
RVET	30.6	32.3	29.7	28	28.9
NDF	429.7	423.9	395.9	361.8	340.3
ADF	282.3	280.8	255.5	232.6	215.3
ADL	32.3	29.3	28.7	26.7	23.1
Suiker	68	61.4	61.4	60.7	49.6
Zetmeel	60.2	83.2	129.2	179.8	240.3
AS rest	96.6	84.6	81	78.8	65.1
Berekend					
RNSP <sup>3</sup>	157.2	172.3	160.7	147.6	158.0
VEM <sup>2</sup>	914.0	956.0	960.2	964.4	1006.4
DVE	89.1	86.4	86.6	86.8	84.1
OEB	7.6	-1.6	-0.9	-0.2	-9.4
VW <sup>2</sup>	0.75	0.67	0.66	0.65	0.58

<sup>1</sup> in g/kg      <sup>2</sup> per kg DS

<sup>3</sup> berekend volgens  $RNSP = OS - RE - RVET - NDF - Suiker - Zetmeel$

Tabel II: Chemische samenstelling van ransoenen en voerrest in experiment 2 (g/kg DS)

	Behandeling				
	GS	KC	B	KZ	MS
Nat-chemisch bepaald					
DS <sup>1</sup>	482.1	463.9	475.1	477.4	462.6
OS	906.3	916.8	921.7	921	935.7
RE	193.7	159.2	158.1	161.5	129
RVET	37.5	37.2	34.2	32.1	37.5
NDF	376	374.4	340.8	310	313.8
ADF	236.2	246.2	216.3	191.4	198.5
ADL	21	23.2	20.7	19.9	19.7
Suiker	52.1	46.4	49.4	48.1	44.7
Zetmeel	63.9	110.9	172.6	209.2	263
AS rest	98.2	82.3	83.3	81.5	57.1
Berekend					
RNSP <sup>3</sup>	183.1	188.7	166.6	160.1	147.7
VEM <sup>2</sup>	954.3	965.7	969.9	974.1	985.6
DVE	94.0	88.3	88.8	89.3	83.6
OEB	22.9	6.5	7.0	7.4	-9.0
VW <sup>2</sup>	0.74	0.67	0.66	0.65	0.58

<sup>1</sup> in g/kg      <sup>2</sup> per kg DS

<sup>3</sup> berekend volgens  $RNSP = OS - RE - RVET - NDF - Suiker - Zetmeel$