



Rundvee

PraktijkRapport Rundvee 11

Voorspelling voeropname met Koemodel 2002



September 2002





Colofon

Uitgever

Praktijkonderzoek Veehouderij
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
Telefoon 0320 - 293 211
Fax 0320 - 241 584
E-mail info@pv.agro.nl.
Internet <http://www.pv.wageningen-ur.nl>

Redactie en fotografie

Praktijkonderzoek Veehouderij

© Praktijkonderzoek Veehouderij

Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

Aansprakelijkheid

Het Praktijkonderzoek Veehouderij aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen

ISSN 0169-3689
Eerste druk 2002/oplage 200
Prijs € 17,50

Losse nummers zijn schriftelijk, telefonisch, per E-mail of via de website te bestellen bij de uitgever.

Referaat

ISSN 0169-3689

Zom, R.L.G. (Praktijkonderzoek Veehouderij)
Voorspelling voeropname het Koemodel-2002 (2002)

PV-PraktijkRapport Rundvee 11
20 pagina's, 12 figuren, 20 tabellen

Omschrijving

In het rapport is een beschrijving gegeven van een voeropnamemodel voor melkvee. Dit model is een integraal onderdeel is van het Koemodel-2002. Op basis van eenvoudige invoergegevens (lactatiestadium, lactatienummer, en gangbare voederanalyse) geeft het model een accurate schatting van de voeropname.

Zoeksleutels

Voeropname, Modelleren, Voorspellen, Melkkoeien



PraktijkRapport Rundvee 11

Voorspelling voeropname met Koemodel 2002

*Prediction of feed intake using the 2002
Dairy Cow-model*

R.L.G. Zom
J.W. van Riel
G. André
G. van Duinkerken

September 2002

Voorwoord

Sinds 1988 is op de Praktijkcentra van het Praktijkonderzoek Veehouderij een databanksysteem in gebruik dat is gekoppeld aan een bedrijfsmanagementprogramma. In deze databank worden naast algemeen management (graslandgebruik, arbeid, bedrijfsvoering, voederwinning) ook van elk individueel dier de gegevens opgeslagen die betrekking hebben op gewicht, gezondheid, conditie, fokkerij, vruchtbaarheid en productie. Aanvullend worden bij voederproeven alle details met betrekking tot de individuele voeropname, voer- en rantsoensamenstelling vastgelegd. Deze inspanningen hebben geleid tot het ontstaan van een zeer omvangrijke en gedetailleerde dataset met de gegevens van de productie en voeropname van individuele dieren bij zeer diverse rantsoenen en voersamenstellingen. Deze unieke schat aan gegevens vormde de basis voor de ontwikkeling van het Koemodel-2002. Dit nieuwe Koemodel-2002 zal het nu nog veel gebruikte PR-Koemodel uit 1987 gaan vervangen. Het Koemodel-2002 bestaat uit twee submodellen, namelijk één model dat de voeropname voorspelt en één model dat de verdeling van de opgenomen netto energie over onderhoud, groei, dracht, melkproductie, en aanzet/mobilisatie van reserves beschrijft. Dit rapport richt zich uitsluitend op het voeropnamemodel binnen het Koemodel-2002. Het voeropnamemodel is, zoals de naam al doet vermoeden, een rekenmodel dat voorspellingen geeft van de voeropname van melkkoeien. Een goed inzicht in de (ruw)voeropname is cruciaal voor het samenstellen van rantsoenen en het berekenen van de krachtvoergiften aan melkvee. Het voeropnamemodel zal daarom zijn toepassing vinden in rantsoenberekening- en voeradviesprogramma's die worden gebruikt door veehouders en veevoedingsadviseurs.

Het Centraal Veevoederbureau (CVB) heeft een onmisbare coördinerende rol gespeeld bij de aanbesteding van het project en een sectorbrede implementatie van het voeropnamemodel en publicatie in het kader van de Veevoedertabel. Hiertoe heeft het CVB de projectgroep "Voeropnamemodel Melkvee" in het leven geroepen. De auteurs zijn veel dank verschuldigd aan de leden van deze projectgroep "Voeropnamemodel Melkvee" voor hun waardevolle commentaar en suggesties en de belangrijke bijdrage die ze daarmee hebben gegeven aan de totstandkoming van dit rapport.

F. Mandersloot, afdelingshoofd Rundvee, Schapen, Paarden en Geiten

Samenvatting

In 1987 heeft het toenmalige Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR) het PR-Koemodel geïntroduceerd. Het PR-Koemodel is een belangrijke pijler onder het bedrijfsbegrotingsprogramma BBPR en onder vele rantsoenberekeningsprogramma's. Echter, het PR-Koemodel heeft een aantal technische en operationele beperkingen. In de praktijk voorspelde het PR-Koemodel soms een te lage voeropname. Waarschijnlijk als gevolg van het feit dat we tegenwoordig te maken hebben met een ander type koe (meer HF bloed), maar ook met een ander type ruwvoer (bijvoorbeeld meer snijmaïs) in het rantsoen. Bovendien missen de rekenregels van het PR-Koemodel soms een goede fysiologische en biologische onderbouwing. Sommige relaties binnen het model zijn niet verklaarbaar op basis van logische biologische processen. Om aan de bezwaren tegemoet te komen is door het Praktijkonderzoek Veehouderij begonnen met de ontwikkeling van een nieuw koemodel het Koemodel-2002.

Het voeropnamemodel binnen het Koemodel-2002 is ontwikkeld op basis van de gegevens van 34 voerproeven met onbeperkte ruwvoer verstrekking waarbij individueel de ruwvoeropname is gemeten van HF-koeien. Het voeropname model voorspelt de voeropname op basis van dierfactoren en voerfactoren die in de praktijk eenvoudig zijn te meten of beschikbaar zijn. Het voeropnamemodel is gebaseerd op het principe dat de drogestof opname wordt bepaald door enerzijds de voeropnamecapaciteit (VOC) van de koe en anderzijds door de mate waarin een voedermiddel beslag legt op de beschikbare voeropnamecapaciteit. De mate waarin een voedermiddel beslag legt op de voeropnamecapaciteit wordt uitgedrukt in de verzadigingswaarde (VW) van het voedermiddel:

$$DS \text{ opname} = \frac{VOC}{VW \text{ (kg ds)}}$$

De benodigde invoer voor het berekenen van de VOC zijn lactatienummer, het aantal dagen in lactatie en dagen drachtig. De invoer die nodig is voor het berekenen van de verzadigingswaarde (VW) bestaat uit de gegevens die afkomstig zijn van de gangbare voederwaardeanalyse te weten: het drogestof percentage (DS%), en de concentraties (g/kg ds) ruw eiwit (RE), ruwe celstof (RC) en verteerbare organische stof (VOS). Alle modelparameters voor de VOC en VW zijn simultaan geschat. De parameterschattingen resulteerde in het onderstaande model dat de VOC beschrijft als functie van lactatienummer, lactatiedag en drachtdag.

$$VOC = \left[\left(8.0838 + 3.2956(1 - e^{-1.258 \text{lactatienr}}) e^{0.3983(1 - e^{-0.05341 \text{lactatiedag}})} \right) \left(1 - 0.06907 \left(\frac{\text{drachtdag}}{220} \right) \right) \right]$$

De verzadigingswaarde van respectievelijk graskuil, snijmaïskuil, vers gras, MKS, droog krachtvoer (droge bijproducten en mengvoer), triticale-GPS, luzerne- en rodeklaverkuil, voederbieten en geplette tarwe worden berekend met de onderstaande formules:

$$VW_{\text{graskuil}} = e^{(-1.613 \times 10^{-3}(DS\% - 45) + 9.91 \times 10^{-5}(DS\% - 45)^2 - 3.321 \times 10^{-4}(RE - 170) + 1.551 \times 10^{-3}(RC - 240))}$$

$$VW_{\text{snijmaïskuil}} = e^{(-2.1658 \times 10^{-1} - 2.737 \times 10^{-3}(DS\% - 33) + 2.962 \times 10^{-3}(DS\% - 33)^2 - 5.59 \times 10^{-4}(VOS - 695))}$$

$$VW_{\text{versgras}} = e^{(-8.334 \times 10^{-2} - 2.06 \times 10^{-4}(RC - 230) + 1.419 \times 10^{-5}(RC - 230)^2 - 7.443 \times 10^{-4}(VOS - 705))}$$

$$VW_{\text{MKS}} = e^{(-3.094 \times 10^{-1} - 1.179 \times 10^{-2}(DS\% - 54))}$$

$$VW_{\text{krachtvoer}} = e^{(-1.1483 + 1.335 \times 10^{-3}(RC - 140))}$$

$$VW_{\text{triticaleGPS}} = e^{(-1.132 \times 10^{-1} + 5.216 \times 10^{-3}(RC - 283))}$$

$$VW_{\text{luzerne/rodeklaverkuil}} = e^{(-5.859 \times 10^{-2} - 5.54 \times 10^{-3}(DS\% - 32) + 8.07 \times 10^{-4}(DS\% - 32)^2 + 4.28 \times 10^{-4}(RC - 275))}$$

$$VW_{\text{voederbiet}} = e^{(-3.673 \times 10^{-1})}$$

$$VW_{\text{geplette tarwe}} = e^{(-2.81 \times 10^{-1})}$$

Het model voor de totale drogestofopname verklaart 61.6% van de variantie met een standaard fout van 1,83 kg ds. Validatie van het model met onafhankelijke data, met als statistische criteria de Mean Square Prediction Error (MSPE) en de Relatieve Prediction Error (RPE), laat zien dat het Koemodel-2002 in vergelijking tot het PR-Koemodel een betere voorspelling geeft van de ruwvoeropname. Dit komt tot uitdrukking in een lagere MSPE (5,7 vs. 15,5 kgds²) en een kleinere RPE (0,16 vs. 0,27). De kleinere MSPE was het vooral het gevolg van een kleinere gemiddelde afwijking tussen werkelijke en voorspelde opname (-0,3 vs. 2.6 kg ds).

Voorts is de toepassing het voeropnamemodel gedemonstreerd aan de hand van enkele praktijkvoorbeelden met verschillende rantsoenen en afwijkende productieomstandigheden. Het voeropnamemodel dat onderdeel is van het Koemodel-2002 is na bespreking in een voor dit doel geformeerde CVB-projectgroep sectorbreed overgenomen.

Summary

In 1987, the former Research Station for Cattle, Sheep and Horse Husbandry (PR) has introduced the PR-Dairy Cow-model. The PR-Dairy Cow-model is a cornerstone of the BBPR farm budgeting program and a major component of ration formulation programs. However, the PR Dairy Cow-model has some technical and operational shortcomings. Empirical models like the PR Dairy Cow-model, are only valid within the range of their underlying data. There are some indications that the PR Dairy Cow-model is underestimating DMI. Underestimation of DMI is probably the result of dramatic changes in breeding (use of high merit HF sires) and feeding management (larger proportion of maize silage in dairy cow rations) during the last decade. As a result, current breeding and feeding practices have shift out of the range within the PR Dairy Cow-model is valid. In addition, some of the relationships in the PR Dairy Cow-model lack a reasonable biological foundation. Therefore, a study was conducted to develop a dairy cow-model, the 2002 Dairy Cow-model which give in to the objections of the PR Dairy Cow model.

The feed intake model is developed on the basis of the data from 34 feeding trials with individually fed Holstein-Friesian dairy cows. The diets of these cows consisted of ad libitum roughage supplemented with fixed amounts of concentrates. The required input for the model is easy to measure and / or available on the farm. The input for the model is parity, days in milk (dim) days pregnant (dp), and standard feed analyses (i.e. dry matter content (DM%) and the concentrations (g/kg DM) of crude protein (CP), crude fibre (CF) and digestible organic matter (DOM)). The model is based on the principle that DMI depends on the feed intake capacity (FIC) of the cow and the extent to which the FIC is occupied by the feed. The extent to which FIC is occupied by the feed is defined as the satiety value (SV).

$$\text{DM intake} = \frac{\text{FIC}}{\text{SV (kg ds)}}$$

All model parameters for the FIC and SV were estimated simultaneously. The feed intake capacity is described by the following equation.

$$\text{FIC} = \left[\left[0.0838 + 3.2956(1 - e^{-1.258\text{parity}}) \right] e^{0.3983(1 - e^{-0.05341\text{dim}})} \right] \left(1 - 0.06907 \left(\frac{\text{dp}}{220} \right) \right)$$

The SV of grass silage, maize silage, fresh cut herbage, ear maize silage, concentrate (dry by-products and compound feed), triticale whole crop silage, lucerne/red clover silage, fodder beet and crushed wheat are calculated with the following equations:

$$\text{VW}_{\text{grass silage}} = e^{(-1.613 \times 10^{-3}(\text{DM}\% - 45) + 9.91 \times 10^{-5}(\text{DM}\% - 45)^2 - 3.321 \times 10^{-4}(\text{CP} - 170) + 1.551 \times 10^{-3}(\text{CF} - 240))}$$

$$\text{VW}_{\text{maize silage}} = e^{(-2.1658 \times 10^{-1} - 2.737 \times 10^{-3}(\text{DM}\% - 33) + 2.962 \times 10^{-3}(\text{DM}\% - 33)^2 - 5.59 \times 10^{-4}(\text{DOM} - 695))}$$

$$\text{VW}_{\text{fresh herbage}} = e^{(-8.334 \times 10^{-2} - 2.06 \times 10^{-4}(\text{CF} - 230) + 1.419 \times 10^{-5}(\text{CF} - 230)^2 - 7.443 \times 10^{-4}(\text{DOM} - 705))}$$

$$\text{VW}_{\text{ear maize silage}} = e^{(-3.094 \times 10^{-1} - 1.179 \times 10^{-2}(\text{DM}\% - 54))}$$

$$\text{VW}_{\text{concentrate}} = e^{(-1.1483 + 1.335 \times 10^{-3}(\text{CF} - 140))}$$

$$\text{VW}_{\text{triticale WCS}} = e^{(-1.132 \times 10^{-1} + 5.216 \times 10^{-3}(\text{CF} - 283))}$$

$$\text{VW}_{\text{lucerne/red clover silage}} = e^{(-5.859 \times 10^{-2} - 5.54 \times 10^{-3}(\text{DM}\% - 32) + 8.07 \times 10^{-4}(\text{DM}\% - 32)^2 + 4.28 \times 10^{-4}(\text{CF} - 275))}$$

$$\text{VW}_{\text{fodder beet}} = e^{(-3.673 \times 10^{-1})}$$

$$\text{VW}_{\text{crushed wheat}} = e^{(-2.81 \times 10^{-1})}$$

The model for prediction of the total DMI accounted for 61.6% of the variance with a standard error of 1,83 kg DM. The feed intake model was validated with independent data, using Mean Square Prediction Error (MSPE) and Relative Prediction Error (RPE) as statistical criteria. The validation study showed that the feed intake model of the 2002 Dairy Cow-model compared to the PR Dairy Cow-model provided improved estimates of the DMI. Compared to the PR Dairy Cow-model, the 2002 Dairy Cow-model had both a lower MSPE (5,7 vs. 15,5 kgDM²) and RPE (0,16 vs. 0,27). The reduced MSPE was mainly due to a smaller mean bias (-0,3 vs. 2.6 kg DM). Operation of the 2002 Dairy Cow-model is demonstrated with some examples of different practical situations and farm management conditions. The feed intake model of the 2002 Dairy Cow-model has been discussed and accepted by an occasional committee of the Central Bureau for Livestock Feeds.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding voor herziening van het PR-Koemodel	1
1.2	Koemodel-1999	1
1.3	Voorspellen van de voeropname met het Koemodel-1999	2
1.4	Ontwikkeling Koemodel-2002	5
2	Materiaal en Methoden	6
2.1	Calibratiedataset	6
2.1.1	Voermethoden	6
2.1.2	Voedermiddelen	6
2.1.3	Huisvesting en diermanagement	7
2.1.4	Productie- en voeropnameniveau	7
2.2	Modellen	8
2.2.1	Inleiding	8
2.2.2	Effect van dracht, gewicht en leeftijd op de voeropnamecapaciteit	8
2.2.3	Verzadigingswaarden	9
2.3	Schattingmethoden	11
2.3.1	Verzadigingswaarde overige ruwvoerders en bijproducten	11
2.4	Validatie	12
2.4.1	Voorspelnauwkeurigheid	12
2.4.2	Validatiedatasets	12
3	Resultaten	13
3.1	Voeropnamecapaciteit	13
3.2	Verzadigingswaarden	15
3.2.1	Verdringing van ruwvoer door krachtvoer	15
3.2.2	Modelparameters modellen voor verzadigingswaarden	15
3.2.3	Verzadigingswaarde perspulp en gedroogd gras	16
3.2.4	Verzadigingwaarden berekend op basis van literatuurdata	18
3.3	Voorspelnauwkeurigheid	22
4	Discussie	23
4.1	Dierparameters	23
4.1.1	Pariteit en lactatiestadium	23
4.1.2	Drachtigheidsstadium	23
4.1.3	Leeftijd en gewicht bij afkalven	23
4.1.4	Melkproductieniveau	24
4.1.5	Conditie-score	26
4.1.6	Raseffecten	26
4.2	Voerparameters	27
4.2.1	Krachtvoerders	27
4.2.2	Verzadigingswaarden ruwvoerders	28

4.2.3	Graslandproducten.....	28
4.2.4	Snijmaïskuil en MKS	29
4.2.5	Triticale-GPS.....	29
4.2.6	Luzerne- en rode klaverkuil	29
4.2.7	Natte bijproducten, voederbieten, geplette tarwe.....	29
4.3	Voorspelnauwkeurigheid	30
5	Toepassing voeropnamemodel in de praktijk	31
5.1	Implementatie door CVB	31
5.2	Berekenen voeropname met Koemodel-2002	31
5.2.1	Benodigde invoer	31
5.2.2	Voeropnamecapaciteit.....	31
5.2.3	Correctie voeropnamecapaciteit voor afwijkende omstandigheden	31
5.2.4	Verzadigingswaarde	32
5.2.5	Begrenzing verzadigingswaarde	33
5.2.6	Berekenen voeropname.....	33
5.2.7	Beweiding	35
	Literatuur.....	37
	Bijlagen	38
	Bijlage 1 Parameterschattingen Koemodel-1999.....	38
	Bijlage 2 Samenvatting van experimenten in de calibratiedataset.....	39
	Bijlage 3 Proefdetails	40
	Bijlage 4 Chemisch samenstelling en voederwaarde voedermiddelen.....	42
	Bijlage 5 Volledige uitgeschreven vergelijkingen.....	46
	Bijlage 6 Correlatiecoëfficiënten modelparameters	47

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor herziening van het PR-Koemodel

In 1987 is door de onderzoekers Hijink en Meijer van het Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR) het PR-Koemodel geïntroduceerd. Het PR-Koemodel is een belangrijke pijler onder het bedrijfsbegrotingsprogramma BBPR. Dit programma wordt gebruikt voor het opstellen van bedrijfsbegrotingen en het doorrekenen van verschillende managementstrategieën voor rundveehouderijbedrijven. Daarnaast is het PR-Koemodel een fundament onder vele rantsoenberekeningsprogramma's.

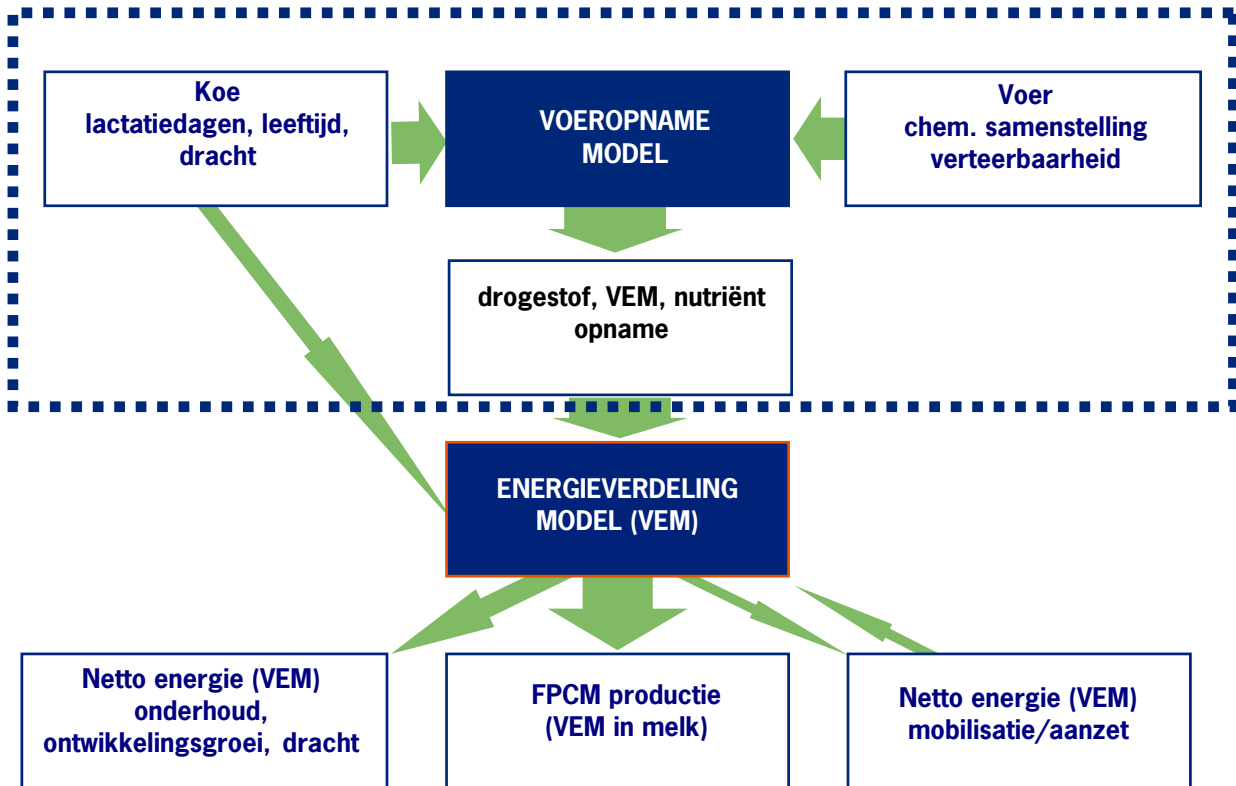
Echter, het PR-Koemodel heeft een aantal technische en operationele beperkingen. Door de opbouw en structuur leent het model zich slecht voor aanpassingen en verbeteringen. Het toevoegen van nieuwe onderdelen aan het model vereist een volledige reconstructie van het model. Een andere beperking van dit model is dat het alleen geschikt is voor het berekenen van de voeropname van koeien met een vaste tussenkalftijd van 365 dagen. Echter, in werkelijkheid varieert de tussenkalftijd tussen individuele dieren en bovendien bedraagt in Nederland de gemiddelde tussenkalftijd inmiddels 400 dagen (NRS, 2002). Een ander aspect is dat er sinds de introductie van het Koemodel door intensivering van het veevoedingsonderzoek veel meer gegevens over voeropname van verschillende voedermiddelen en rantsoenen beschikbaar zijn gekomen. Bovendien hebben de koeien tegenwoordig een andere genetische achtergrond door de toename van het gebruik van HF-stieren. Empirische modellen zoals het PR-Koemodel zijn in de praktijk eigenlijk alleen goed bruikbaar als ze voor vergelijkbare omstandigheden (koeien en rantsoenen) worden toegepast als in de proeven waarop het model is gebaseerd. De klacht uit de praktijk dat het PR-Koemodel soms een te lage voorspelde voeropname geeft, is waarschijnlijk te verklaren uit het feit dat we heden ten dage te maken hebben met een ander type koe, maar ook met een ander type ruwvoer (bijvoorbeeld meer snijmaïs) in het rantsoen. Tenslotte missen de rekenregels van het Koemodel soms een goede fysiologische en biologische onderbouwing. Met andere woorden: sommige relaties binnen het model zijn niet verklaarbaar op basis van logische biologische processen. Zo wordt door het PR-Koemodel uit 1987 geen onderscheid gemaakt tussen voersoorten. De drogestofopname is uitsluitend afhankelijk van de hoeveelheid VEM/kg drogestof, ongeacht de aard en samenstelling van het voedermiddel. De opnamecapaciteit van een koe is volgens dit model mede afhankelijk van de melkproductie. Een hogere melkproductie leidt volgens dit model tot een hogere opnamecapaciteit. Echter, een hogere opnamecapaciteit leidt op zijn beurt weer een hogere melkproductie. Hierdoor is sprake van een cirkelredenering.

In 1993 is een studie in gang gezet om een nieuw Koemodel te ontwikkelen dat tegemoet komt aan de bezwaren van het PR-Koemodel uit 1987 (Zom et al., 2002a). Deze studie heeft geresulteerd in het Koemodel-1999 beschreven door Zom et al. (Zom et al., 2002a; Zom et al., 2002b). Dit Koemodel-1999 zal als uitgangspunt dienen voor de ontwikkeling van het Koemodel-2002.

1.2 Koemodel-1999

Het Koemodel-2002 zal zijn gebaseerd op het Koemodel-1999 zoals beschreven door Zom et al., 2002a. Het Koemodel-1999 bestaat uit twee afzonderlijke submodellen. Eén submodel voorspelt de voeropname op basis van voerfactoren en dierfactoren. Met de voorspelde voeropname en de voersamenstelling kan ook de opname van energie (VEM) en eiwit (DVE) worden berekend. Een tweede submodel voorspelt hoe de opgenomen energie wordt verdeeld over onderhoud, dracht, ontwikkelingsgroei, melkproductie en de aanzet of mobilisatie van lichaamsreserves. Dit rapport zal uitsluitend betrekking hebben op de voeropnamemodule van het Koemodel-2002 aangegeven in figuur 1 met het door een stippellijn omkaderde deel.

Figuur 1 Schematische weergave van het Koemodel-2002. Het met een stippellijn omkaderde deel geeft de voeropname module weer



Het Energieverdelingsmodel zal in 2002 worden ingebouwd in het bedrijfsbegrotingsprogramma rundveehouderij (BBPR) van het Praktijkonderzoek Veehouderij.

Bij de ontwikkeling van het Koemodel-1999 is uitgegaan van een aantal randvoorwaarden. Een belangrijke randvoorwaarde is dat de toepassing van het model praktisch, eenvoudig en goedkoop moet zijn. Alle benodigde informatie om met het model te kunnen werken, moet op elk melkveebedrijf met een "normaal" management beschikbaar zijn. Dat kan informatie zijn die afkomstig is van een geautomatiseerd managementsysteem, maar het model moet evengoed kunnen werken op een bedrijf zonder geautomatiseerd management. Dat zijn onder andere gegevens van de koekalender zoals leeftijd, afkalfdatum, lactatienummer, drachtigheid, leeftijd bij afkalving en gegevens die op het voederwaardeanalyseformulier staan afgedrukt. De toepassingen van het model liggen op het vlak van strategische studies (bijvoorbeeld economische scenariostudies) en ondersteuning van het voermanagement op melkveebedrijven (bijvoorbeeld rantsoenberekening).

1.3 Voorspellen van de voeropname met het Koemodel-1999

Het Koemodel-1999 is een empirisch model dat uitdrukkelijk niet is bedoeld om alle fysieke, metabole en fysiologische mechanismen en processen te beschrijven die de voeropname reguleren. Er wordt wel beoogd om accurate voorspellingen te geven van de voeropname, maar tevens op een wijze die zich biologisch laat verklaren.

De voorspelling van de voeropname met het Koemodel-1999 is gebaseerd op het principe van het fill-unit systeem. Dit principe wordt ook toegepast bij bijvoorbeeld de Franse en Deense voeropnamemodellen (Jarrige et al., 1986; Kristensen and Ingvarlsen, 1986). Het fill-unit principe gaat uit van de veronderstelling dat de voeropname enerzijds is beperkt door de eigenschappen van het voedermiddel, en anderzijds door de capaciteit van het dier om het voer te verwerken. Uitgedrukt in een formule:

$$DS\ opname = \frac{IC}{FU} \quad (\text{vergelijking 1})$$

In deze formule is IC de opnamecapaciteit uitgedrukt in fill-units per dag en FU de hoeveelheid fill-units per kg droge stof in het voer. Hierbij is aangenomen dat koeien altijd net zoveel fill-units opnemen uit het voer tot dat de som van de fill-units uit voer gelijk is aan de opnamecapaciteit. De term fill-units (vulwaarden) impliceert dat de voeropname alleen door fysieke factoren wordt beperkt. Echter, de regulatie van voeropname is oneindig veel complexer, en omvat ook metabole en fysiologische processen. Daarom is voor het Koemodel-1999 gekozen voor de term 'verzadigingswaarde' in plaats van fill-units.

Binnen het Koemodel-1999 is een model opgesteld dat het verloop van de voeropnamecapaciteit beschrijft als functie van lactatienummer en lactatiestadium. Tevens zijn voor de verschillende voedermiddelen, te weten graskuil, snijmaïskuil, vers gras, kunstmatig gedroogd gras en droog krachtvoer modellen opgesteld die de verzadigingswaarde beschrijven als functie van hun chemische samenstelling en het gehalte verteerbare organische stof. Deze modellen zijn uitvoerig beschreven door Zom et al. (2002b).

De modelparameters van deze modellen zijn simultaan geschat op basis van een dataset met gegevens afkomstig van 22 voederproeven met daarin 12765 weekgemiddelden van de voeropname van 979 afzonderlijke koeien. Tevens waren van deze voederproeven individuele diergegevens omtrent pariteit, lactatiestadium, melkproductie, melksamenstelling en lichaamsgewicht bekend, alsmede de rantsoen- en voersamenstelling. De opnamecapaciteit wordt beschreven met het volgende model:

$$VOC(a, d) = [\alpha_0 + \alpha_1(1 - e^{-\rho_\alpha a})]e^{\beta(1 - e^{-\rho_\beta d})} \quad (\text{vergelijking 2})$$

waarin:

$VOC(a, d)$ = Voeropnamecapaciteit op lactatieleeftijd a en lactatiestadium d

a = Leeftijd = pariteit – 1 + dagen in lactatie/365

d = Dagen in lactatie

α_0 = Initiële voeropnamecapaciteit 1^e pariteit

α_1 = Asymptotisch niveau (maximale toename)

ρ_α = Snelheidsparameter toename basisverloop

β = Maximale niveau aanpassing basiscurve

ρ_β = Snelheidsparameter toename voeropnamecapaciteit begin lactatie

De verzadigingswaarden van respectievelijk graskuil, snijmaïskuil, vers gras, kunstmatig gedroogd gras en droog krachtvoer worden geschat met de onderstaande modellen:

$$VW_{\text{graskuil}} = e^{(\lambda_{11}(x_{11} - \bar{x}_{11}) + \lambda_{12}(x_{11} - \bar{x}_{11})^2 + \lambda_{121}(x_{12} - \bar{x}_{12}) + \lambda_{122}(x_{12} - \bar{x}_{12})^2 + \lambda_{131}(x_{13} - \bar{x}_{13}) + \lambda_{132}(x_{13} - \bar{x}_{13})^2)}$$

(vergelijking 3)

$$VW_{\text{snijmaïskuil}} = e^{(\lambda_{20} + \lambda_{211}(x_{21} - \bar{x}_{21}) + \lambda_{12}(x_{21} - \bar{x}_{21})^2 + \lambda_{251}(x_{25} - \bar{x}_{25}))} \quad (\text{vergelijking 4})$$

$$VW_{\text{versgras}} = e^{(\lambda_{30} + \lambda_{311}(x_{31} - \bar{x}_{31}) + \lambda_{331}(x_{33} - \bar{x}_{33}) + \lambda_{341}(x_{34} - \bar{x}_{34}) + \lambda_{342}(x_{34} - \bar{x}_{34})^2 + \lambda_{351}(x_{35} - \bar{x}_{35}) + \lambda_{352}(x_{35} - \bar{x}_{35})^2)}$$

(vergelijking 5)

$$VW_{\text{km gedr. gras}} = e^{(\lambda_{40})} \quad (\text{vergelijking 6})$$

$$VW_{\text{krachtvoer}} = e^{(\lambda_{50})} \quad (\text{vergelijking 7})$$

Waarin:

VW_p = Verzadigingswaarde per kg drogestof product p

λ_{p0} = Constante (graskuil per definitie $\lambda_{p0} = 0$)

λ_{pn1} = Parameter lineair effect van voercomponent n in voer p ($n = 1, \dots, 5; p = 1, \dots, 5$)

λ_{pn2} = Parameter kwadratisch effect van voercomponent n in voer p ($n = 1, \dots, 5; p = 1, \dots, 5$)

x_{pn} = Concentratie van voercomponent (g/kg ds) n in voer p in voer p ($n = 1, \dots, 5; p = 1, \dots, 5$)

$\bar{x}_{pn}$ = Gemiddelde concentratie voercomponent (g/kg ds) n in voer p ($n = 1, \dots, 5; p = 1, \dots, 5$)

$p = 1, \dots, 5$ = graskuil, snijmaïskuil, vers gras, kunstmatig gedroogd gras, droog krachtvoer

$n = 1, \dots, 5$ = drogestof, ruw eiwit, ruwe celstof, ruw as, verteerbare organische stof

De geschatte parameters van vergelijking 2 tot en met 7 zijn gegeven in bijlage 1.

Het Koemodel-1999 is gevalideerd met behulp van onafhankelijke gegevens van voederproeven uitgevoerd in de periode 1994-1999. De Mean Square Prediction Error (MSPE) werd gebruikt als criterium voor de voorspelnauwkeurigheid. De MSPE was vooral een gevolg van de random error (toevallige schattingsfout) en de bias (verschil tussen werkelijke opname en voorspelde opname). Het verschil tussen werkelijke opname en voorspelde opname, aangeduid met de term bias, bedroeg voor rantsoenen gebaseerd op vers gras en grassilage respectievelijk gemiddeld 0,8 en 1,4 kg drogestof per dag. De onderschatting van de drogestof opname was consistent over alle lactatiestadia en lactatienummers. De bijdrage van de line bias aan de MSPE was erg klein hetgeen aangeeft dat de structuur van het model adequaat is. De validatiestudie toonde eveneens aan dat de Relative Prediction Error (RPE) voor nagenoeg alle afzonderlijke proeven in de validatieset kleiner dan 0,2 was, hetgeen duidt op een acceptabele robuustheid (Fuentes-Pila et al., 1996). In tabel 1 is een samenvatting gegeven van de validatiestudie.

Tabel 1 Samenvatting validatie Koemodel-1999

Basisrantsoen	Silage	Vers gras
Aantal waarnemingen	7250	2424
$\bar{A}$ Gemiddelde werkelijke ruwvoeropname (kg ds)	13,0	11,8
$\bar{P}$ Gemiddelde voorspelde ruwvoeropname (kg ds)	11,6	11,0
$(\bar{A} - \bar{P})$ Verschil werkelijke – voorspelde opname (kg ds)	1,4	0,8
MSPE (kg ds) ²	5,8	4,1
MPE (kg ds)	2,4	2,0
Bias als fractie van MSPE	0,337	0,164
Line bias als fractie van MSPE	0,029	0,026
Random error als fractie van MSPE	0,634	0,809
RPE	0,18	0,17

MSPE = $\sum(A-P)^2/n$ waarin: A, P resp. werkelijke en voorspelde ruwvoeropname; n=aantal waarnemingen

MPE = Mean Prediction Error = $\sqrt{\text{MSPE}}$

RPE = Relative Prediction Error = $\text{MPE} / \bar{A}$

De oorzaak van de consistente onderschatting van de drogestofopname kan mogelijk voor een deel verklaard worden door het verschil in de chemische samenstelling van graskuil én snijmaïskuil in de dataset waarop het model was gecalibreerd en de dataset waarmee het model is gevalideerd. Bijvoorbeeld, het ruweiwitgehalte van graskuil was gemiddeld 30 g/kg ds lager in de validatiedataset dan in de calibratiedataset. Tevens bleek dat bij snijmaïskuil in de validatiedataset het zetmeelgehalte en de *in-vitro* verteerbaarheid van de organische stof respectievelijk 54 g/kg ds en 2,5% hoger waren dan in de calibratiedataset. Voorts bedroeg in de validatiedataset het aandeel krachtvoer in het totale rantsoen 31% van de drogestof, tegen 49% in de calibratiedataset. Het verschil in voer- en rantsoensamenstelling hangt samen met recente ontwikkelingen in de veehouderij. De calibratiedataset was samengesteld uit proeven in de periode 1987-1993, terwijl de validatiedataset was samengesteld uit proeven uit de periode 1994-1999. In deze perioden zijn grote veranderingen opgetreden in het management en veevoeding op melkveehouderijbedrijven. Het meest kenmerkend zijn de verlaging van de stikstofbemesting en een verminderde aankoop van krachtvoer onder invloed van de MINAS en een sterke verbetering van de voederwaarde van snijmaïs door voortgaande veredeling. Dit beeld werd bevestigd door een verschil tussen de calibratiedataset en validatiedataset onder meer in de chemische samenstelling van graskuil en snijmaïskuil.

Het management op melkveehouderijbedrijven is voortdurend aan veranderingen en vernieuwingen onderhevig. Dit heeft tot gevolg dat er voortdurend veranderingen kunnen optreden in de rantsoensamenstelling en de chemische samenstelling en voederwaarde van voedergewassen. Een empirisch model zoals het Koemodel-1999, is in principe alleen valide binnen de range van data waarop het model gecalibreerd is. Praktisch gezien betekent dit dat het noodzakelijk is regelmatig te controleren of de voorspellingen van het Koemodel nog accuraat zijn en of de schattingen van de modelparameters aanpassing behoeven aan de veranderde omstandigheden.

1.4 Ontwikkeling Koemodel-2002

Hoewel het Koemodel-1999 een adequate modelstructuur heeft en er tevens sprake is van een acceptabele robuustheid is het wenselijk de voorspelnauwkeurigheid te verbeteren door het verkleinen van de bias. Dit is mogelijk door herschatten van de modelparameters op basis van actuelere proefgegevens. Het Koemodel-1999 geeft schattingen voor de verzadigingswaarde van graskuil, vers gras, kunstmatig gedroogd gras, snijmaïskuil en droog krachtvoer. Voor een brede toepassing in de praktijk is het echter noodzakelijk dat het model wordt uitgebreid met andere voedermiddelen. In het Koemodel-1999 zijn pariteit en lactatiestadium de enige dierfactoren die een significante invloed hebben op de voeropnamecapaciteit. In een overzichtartikel geeft (Ingvarsen, 1994) aan dat ook andere dierfactoren zoals voedingshistorie, conditiescore, drachtigheid medebepalend kunnen zijn voor de voeropnamecapaciteit. Daarom is uitgaande van de principes die ten grondslag liggen aan het Koemodel-1999 een studie uitgevoerd met als doel te komen tot uitbreiding van het model en verbetering van de voorspelnauwkeurigheid die moet resulteren in een nieuw Koemodel-2002. Dit Koemodel-2002 moet in de eerste plaats ook geschikt zijn voor andere voeders dan graskuil, snijmaïs, vers gras, gedroogd gras en mengvoer. Daarnaast zullen de mogelijkheden worden onderzocht om het model uit te breiden met andere relevante dierfactoren die van invloed kunnen zijn op de voeropnamecapaciteit. Hoofdvoorwaarde voor uitbreiding van het model is dat alle benodigde invoer voor het model op een eenvoudige wijze is te meten onder Nederlandse praktijkomstandigheden.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Calibratiedataset

Voor de calibratie van het voeropnamemodel in het Koemodel-2002 is gebruik gemaakt van de gegevens van 34 voederproeven met individueel gevoerde melkkoeien uitgevoerd door het Praktijkonderzoek Veehouderij (31 voerproeven), ID-DLO (voorheen IVO; 2 voerproeven) en Wageningen Universiteit Leerstoelgroep Diervoeding (1 voerproef, beschikbaar gesteld door Elanco). De experimenten waren niet specifiek opgezet voor de ontwikkeling van een voeropnamemodel. In bijlage 2 is een overzicht gegeven van het specifieke doel van de experimenten. De gegevens van deze voederproeven zijn samengevoegd tot één calibratiedataset met van elk dier gegevens over pariteit, leeftijd bij (eerste) afkalving en gewicht na afkalven. Verder zijn op weekbasis het lactatiestadium, drachtigheidsstadium, melkproductie en -samenstelling, lichaamsgewicht en voeropname in de dataset opgenomen als gemiddelden per week. De chemische samenstelling, de in vitro verteerbaarheid van de organische stof en de voederwaarde van de voedermiddelen zijn gegeven per voerpartij. De chemische samenstelling van de voedermiddelen is bepaald volgens de standaardprocedures van het Productschap Diervoeder (PDV, 1999). De in-vitro verteerbaarheid van de organische stof (VC-OS) is vastgesteld volgens de methode van Tilley en Terry (Tilley and Terry, 1963). Van voederproef 8 en 24 (ID-DLO) waren geen gegevens bekend met betrekking tot het drachtigheidsstadium en de chemische samenstelling van het mengvoer. In totaliteit bestond de dataset uit 39277 records met diergegevens en voeropname afkomstig van 1507 individuele koeien (levensnummers).

2.1.1 Voermethoden

Bij alle proeven is ad libitum ruwvoer verstrekt. Dit werd bereikt door er voor te zorgen dat er voor elk dier altijd tenminste een hoeveelheid ruwvoer aanwezig was ter grootte van 10% van de verstrekte voergift. Rantsoenen bestaande uit meerdere soorten geconserveerd ruwvoer werden gemengd gevoerd. Alle ingekuilde ruwvoerders waren bij de oogst gehakseld of kort gesneden (graskuil). De ruwvoerders werden individueel gevoerd, afhankelijk van de proeflocatie met behulp van transpondergestuurde automatische weegbakken (Hokofarm) of voerdeursystemen (Calan). Mengvoer en gepelleteerde enkelvoudige droge krachtvoerders werden overwegend via transpondergestuurde gestuurde krachtvoerautomaten verstrekt. Aanvullend zijn in sommige experimenten kleine hoeveelheden enkelvoudige droge bijproducten (onder andere sojaschroot, sojaschroot mervobest, raapzaadschroot) met het ruwvoermengsel gemengd. Met uitzondering van Proef 22 (Hoogproductie bedrijf 1994-1997) is er steeds een vaste krachtvoergift per dier per dag gegeven (flat-feeding) gedurende de duur van het experiment. De gemiddelde krachtvoergift bedroeg respectievelijk 3,8 en 8,2 kg drogestof/dier/dag in proeven met vers gras(klaver) en in proeven met uitsluitend geconserveerd ruwvoer. De gemiddelde drogestof en krachtvoeropnamen per proef staan vermeld in bijlage 3.

In proeven met vers gras en verse gras/klavermengsels werd zomerstalvoeding toegepast. Vers gras werd dagelijks vers gemaaid bij een drogestofopbrengst tussen 1400 en 2000 kg drogestof/ha, en een gewashoogte van 15-20 cm. Het gemaaid gras werd in alle gevallen geoogst met een opraapwagen zonder snij-inrichting. Snijmaïsbijsijvoeding naast vers gras en verse gras/klavermengsels werd apart verstrekt.

2.1.2 Voedermiddelen

In tabel 2 is een overzicht gegeven van het aantal records per voedermiddel. Ten opzichte van het Koemodel-1999 wordt het voeropnamemodel van het Koemodel-2002 uitgebreid met MKS, tritcale-GPS, luzernesilage, rode klaver silage, voederbieten, stro, sojaschroot-mervobest, raapzaadschroot en geplette tarwe. De gemiddelde chemische samenstelling, VC-OS en voederwaarde van de voedermiddelen is gegeven in bijlage 4.

Tabel 2 Voedermiddelen in de dataset

Omschrijving	Aantal records
Ruwvoeders	
Snijmaïs	30820
Maïskolvensilage (MKS)	6054
Graskuil	19293
Gras-klaverkuil (witte klaver)	300
Gras-klaverkuil (rode klaver)	90
Totaal ingekuilde graslandproducten	19683
Gedroogd gras	14111
Vers gras	3215
Verse grasklaver mengsel	1208
Totaal verse graslandproducten	4423
Bietenperspulp	1307
Triticalekuil (GPS)	1193
Luzernekuil	1010
Stro (tarwe)	350
Voederbieten	295
Rode klaverkuil	100
Droge krachtvoeders	
Mengvoer	38346
Sojaschroot	7103
Sojaschroot-mervobest	3598
Bietenpulp	2790
Geplette tarwe	887
Raapzaadschroot	555

2.1.3 Huisvesting en diermanagement

Alle dieren werden gehouden volgens een voor de Nederlandse omstandigheden gangbare praktijk. De koeien waren in alle gevallen gehuisvest in ligboxenstallen en werden tweemaal daags gemolken. Verder zijn alle voerproeven uitgevoerd met zwartbonte of roodbonte Holstein-Friesian (HF) melkkoeien. Voor de experimenten uitgevoerd op de Praktijkcentra van het Praktijkonderzoek Veehouderij geldt dat bij de stierkeuze geen specifiek fokdoel wordt nagestreefd. Er wordt per jaar gebruik gemaakt van de 5 á 10 hoogste INET (sinds 2000 DPS) stieren in combinatie met een stierkeuze adviesprogramma waarbij essentiële factoren als productie, beenwerk en uier worden meegewogen. De rasvariatie binnen de praktijkcentra van het Praktijkonderzoek Veehouderij is derhalve klein. Op de grootste veevoedingsonderzoeklocatie “Waiboerhoeve” worden zwartbonte HF koeien gehouden, evenals op de locaties “Nij Bosma Zathe” en “Zegveld”. Op de locaties “Aver Heino” en “Cranendonck” worden overwegend roodbonte HF koeien gehouden afkomstig van roodbonte HF stieren, roodbonte HF kruisingen of zwartbonte HF stieren met roodbontfactor. Van de experimenten van Wageningen Universiteit (experiment 9) en ID-DLO (experiment 8 en 24) zijn geen details bekend omtrent fokdoel en rassenkeuze. De data van experiment 8 en 24 uitgevoerd door ID-DLO zijn afkomstig van overwegend eerste kalfskoeien en een klein aantal tweede kalfskoeien.

2.1.4 Productie- en voeropnameniveau

In tabel 3 is een overzicht gegeven van het productie- en voeropnameniveau van de melkgevende koeien in de dataset.

Tabel 3 Gemiddelde dagelijkse melkproductie en drogestof opname van de melkgevende melkkoeien in de Dataset (n=38515)

	Gemiddeld	Minimum	Maximum	Standaard deviatie
Melkgift (kg)	29,9	0,2	71,4	7,3
Vetgehalte (%)	4,33	1,00	10,56	0,69
Vetproductie (g)	1275	9	3194	307,8
Eiwitgehalte (%)	3,46	1,00	6,92	0,368
Eiwitproductie (g)	1019	7	2278	218,9
Dagen in lactatie	115	1	584	82,4
Lactatienummer	2,04	1	11	1,6
Dagen drachtig	26	0	235	48
Totale drogestofopname (kg ds)	20,7	0,9	37,8	3,1
Krachtvoeropname (kg ds)	7,8	0,0	15,0	2,5
Krachtvoeraandeel (%)	37,7	0,0	76,6	11,0
Gewicht (kg)	593	400	963	73,9

2.2 Modellen

2.2.1 Inleiding

Uitgaande van het Koemodel-1999 is onderzocht of uitbreiding van het model voor de voeropnamecapaciteit (vergelijking 2) met extra dierparameters zinvol zou kunnen zijn. Volgens het Koemoedel-1999 wordt de VOC bepaald door het aantal dagen in lactatie (d) en de leeftijd (a), berekend als $\text{lactatienummer}-1 + \text{dagen in lactatie}/365$. Omdat de VOC medeafhankelijk kan zijn van andere factoren zoals drachtigheid, de grootte van de koe, en de werkelijke leeftijd is onderzocht of uitbreiding van het model met dierparameters gerelateerd aan drachtigheid, de grootte van de koe, en de werkelijke leeftijd kan bijdragen tot een betere voorspelling van de voeropname.

2.2.2 Effect van dracht, gewicht en leeftijd op de voeropnamecapaciteit

Om de effecten van drachtigheid en gewicht na afkalven te modelleren is het model voor de voeropnamecapaciteit (vergelijking 2) uitgebreid met multiplicatieve termen die het relatieve effect van de dracht en het gewicht bij afkalven op de VOC beschrijven. Voor het effect van drachtigheid, betekent dit dat de VOC, afhankelijk van het drachtigheidsstadium, in een bepaalde mate (of percentage) afwijkt van een vergelijkbaar niet-drachtig dier. Van drachtigheid wordt verondersteld dat het een negatief effect op de VOC heeft via mechanismen van fysieke beperking (de ruimte die de groeiende foetus inneemt) en hormonale regulatie. Voor het modelleren van het effect van drachtigheid zijn twee verschillende opties getest. Eén waarbij is uitgegaan van een exponentieel model, en één lineair model weergegeven door de volgende exponentiële en lineaire functies:

$$G(\text{drg}) = 1 + \delta_{220} * \left(-\frac{g}{220}\right)^{\rho_{\delta}} \quad (\text{vergelijking 8})$$

$$G(\text{drg}) = 1 + \delta_{220} * \left(\frac{g}{220}\right) \quad (\text{vergelijking 9})$$

Waarin:

$G(\text{drg})$ = Relatieve afwijking in voeropnamecapaciteit ten opzichte van een niet drachtig dier

g = Dagen drachtig

δ_{220} = Parameter drachtigheid

ρ_{δ} = Exponentiële term drachtigheids invloed, toename snelheid

Voor onderzoek naar het effect van drachtigheid op de VOC zijn alle data behalve de gegevens van proef 8 en 24 gebruikt. De veronderstelling dat de grootte van de koe (*framesize*) kan van invloed zijn op de VOC is gebaseerd op de aanname dat een grote koe een maagdarkanaal met een groter volume heeft waardoor de fysieke beperking van de VOC kleiner is. Bij gebrek aan gegevens van de hoogte- en breedtemaat van de koe kan het gewicht bij afkalven kan een indicatie zijn van de grootte van de koe. Op een vergelijkbare wijze als voor effect van drachtigheid, is een multiplicatieve term aan het model voor de voeropnamecapaciteit (vergelijking 2) toegevoegd, waarmee werd gecorrigeerd voor de afwijking in het gewicht na afkalven ten opzichte van het populatiegemiddelde bij hetzelfde lactatienummer en lactatiestadium. De gegevens van 423 individuele koeien

(l&R levensnummers) met een bekend gewicht gemeten tussen 0 en 2 dagen na afkalven werden in de analyse betrokken.

De leeftijd van de koe op het moment van afkalven kan ook indicatief zijn voor de grootte van de koe. Verwacht kan worden dat de opname van een vaars die afkalft op een leeftijd van 24 maanden wellicht anders kan zijn dan van een dier dat op een leeftijd van 36 maanden afkalft. Het Koemodel-1999 houdt geen rekening met dergelijke verschillen in werkelijke leeftijd bij eerste afkalving. Daarom is onderzocht of toepassing van een correctiefactor op de berekende leeftijd (term a in vergelijking 2) zou kunnen bijdragen aan een voorspelling van de VOC.

2.2.3 Verzadigingswaarden

In de initiële modellen voor het berekenen van de verzadigingswaarde zijn als verklarende variabelen voercomponenten opgenomen die bij gangbare voederwaardeanalyse worden bepaald te weten drogestof, ruw eiwit, ruwe celstof, ruw as, suiker, zetmeel, verteerbare organische stof, NH_3 -fractie. De modellen zijn opgesteld voor snijmaïskuil, graskuil, MKS, vers gras, MKS, droog krachtvoer, triticale-GPS, luzerne/rode klaver, droog krachtvoer, voederbieten, geplette tarwe, gedroogd gras, en perspulp.

$$VW_p = \left\{ e^{(\lambda_{p0} + \lambda_{pn1}(x_{p1} - \bar{x}_{p1}) + \lambda_{pn2}(x_{p1} - \bar{x}_{p1})^2 + \dots + \lambda_{1pn}(x_{pn} - \bar{x}_{pn}) + \lambda_{1pn}(x_{pn} - \bar{x}_{pn})^2)} \right\} \quad (\text{vergelijking 10})$$

- VW_p = Verzadigingswaarde (/kg ds) voer p
 λ_{p0} = Constante (graskuil per definitie $\lambda_{p0} = 0$)
 λ_{pn1} = Parameter lineair effect van voercomponent n in voer p ($n = 1, \dots, 8; p = 1, \dots, 11$)
 λ_{pn2} = Parameter kwadratisch effect van voercomponent n in voer p ($n = 1, \dots, 8; p = 1, \dots, 11$)
 x_{pn} = Concentratie van voercomponent (g/kg ds) n in voer p ($n = 1, \dots, 8; p = 1, \dots, 11$)
 $\bar{x}_{pn}$ = Gemiddelde concentratie voercomponent (g/kg ds) n in voer p ($n = 1, \dots, 8; p = 1, \dots, 11$)
 p = 1, ..., 12 = Graskuil, snijmaïs, vers gras, MKS, droog krachtvoer, triticale-GPS, luzerne/rode klaver, voederbieten, geplette tarwe, gedroogd gras, perspulp
 n = 1, ..., 8 = drogestof, ruw eiwit, ruwe celstof, ruw as, verteerbare organische stof, suiker, zetmeel, NH_3 -fractie

In tabel 4 zijn voor elk voedermiddel deze voercomponenten aangegeven. Het proces van parameterschatting werd gestart met de meest complete modellen.

Tabel 4 Verklarende variabelen voor de verzadigingswaarden zoals opgenomen in de initiële modellen van het Koemodel-2002 voor het berekenen van de verzadigingswaarde

Verklarende variabele	Voedermiddel
Drogestof	Vers gras, graskuil, snijmaïs, MKS, triticale-GPS, luzernekuil, rode klaverkuil, voederbieten, perspulp
Ruw eiwit	Vers gras, graskuil, gedroogd gras, snijmaïs, MKS, triticale-GPS, luzernekuil, rode klaverkuil, droog krachtvoer ¹ , geplette tarwe, voederbieten, perspulp
Ruwe Celstof	Vers gras, graskuil, gedroogd gras, snijmaïs, MKS, triticale-GPS, luzernekuil, rode klaverkuil, droog krachtvoer ¹ , geplette tarwe, voederbieten, perspulp
Ruw as	Vers gras, graskuil, gedroogd gras, snijmaïs, MKS, triticale-GPS, luzernekuil, rode klaverkuil, droog krachtvoer ¹ , geplette tarwe, voederbieten, perspulp
Verteerbare organische stof	Vers gras, graskuil, gedroogd gras, snijmaïs, MKS, triticale-GPS, luzernekuil, rode klaverkuil, voederbieten, perspulp
Suiker	Vers gras, graskuil, luzernekuil, rode klaverkuil, droog krachtvoer ¹ , voederbieten, perspulp
Zetmeel	Snijmaïs, MKS, triticale-GPS, droog krachtvoer ¹ , geplette tarwe
NH_3 -fractie	Graskuil, triticale-GPS, luzernekuil, rode klaverkuil.

¹Droog krachtvoer omvat mengvoer, enkelvoudige bijproducten sojaschroot, sojaschroot-mervobest, raapzaadschroot, droge bietenpulp

2.2.3.1 Verdringing van ruwvoer door krachtvoer

Volgens de systematiek van het Koemodel-1999, waarbij een vaste verzadigingswaarde voor het krachtvoer wordt gehanteerd onafhankelijk van de hoogte van de krachtvoergift, is er sprake van een lineaire verdringing van ruwvoer door krachtvoer (zie vergelijking 11). De mate van verdringing wordt bepaald door zowel de verzadigingswaarde van het krachtvoer als de verzadigingwaarde van het te verdringen ruwvoer. De verdringing wordt groter naarmate de ratio tussen de verzadigingswaarde van het krachtvoer en het ruwvoer groter is.

$$SR_c = \frac{\sum_i C_i \cdot VW_{C_i}}{\sum_j R_j \cdot VW_{R_j}} \quad (\text{vergelijking 11})$$

Waarin:

SR_c	= Verdringsgraad van ruwvoer door krachtvoer
VW_{C_i}	= Verzadigingswaarde krachtvoer i
VW_{R_j}	= Verzadigingswaarde ruwvoer j
C_i	= Aandeel krachtvoer i van totale krachtvoergift
R_j	= Aandeel ruwvoer j in het basisrantsoen

Echter, in het koemodel van Hijik en Meijer (1987) bestaat een exponentieel verband tussen het krachtvoerniveau en de verdringing. Bij hogere krachtvoerniveaus resulteert dit in een grotere verdringing. Om te onderzoeken of de verzadigingswaarde van het krachtvoer verandert onder invloed van de hoogte van de

krachtvoergift is het model voor de verzadigingswaarde van krachtvoer uitgebreid met de extra term $e^{\rho_k X_{kv}}$:

$$VW_{\text{krachtvoer}} = \{e^{(\lambda_{50} + \lambda_{51}(x_{51} - \bar{x}_{51}) + \lambda_{52}(x_{51} - \bar{x}_{51})^2 + \dots + \lambda_{15n}(x_{5n} - \bar{x}_{5n}) + \lambda_{15n}(x_{5n} - \bar{x}_{5n})^2)}\} e^{\rho_k X_{kv}} \quad (\text{vergelijking 12})$$

Waarin:

λ_{50}	= Constante
λ_{5n1}	= Parameter lineair effect van voercomponent n ($n = 1, \dots, 5$)
λ_{5n2}	= Parameter kwadratisch effect van voercomponent n ($n = 1, \dots, 5$)
x_{5n}	= Concentratie van voercomponent (g/kg ds) n ($n = 1, \dots, 5$)
$\bar{x}_{5n}$	= Gemiddelde concentratie voercomponent (g/kg ds) n ($n = 1, \dots, 5$)
X_{kv}	= De krachtvoergift (kg drogestof)
ρ_k	= snelheidsparameter toename verzadigingswaarde
n	= $1, \dots, 5$ = ruw eiwit, ruwe celstof, ruw as, verteerbare organische stof, suiker, zetmeel

De extra term $e^{\rho_k X_{kv}}$ met snelheidsparameter ρ_k zorgt ervoor dat de totale opname van verzadigingswaarden niet door een rechte lijn gemodelleerd hoeft te worden. Bij waarden van ρ_k groter dan 0 neemt de verzadigingswaarde toe bij een toename van de krachtvoergift (X_{kv}), bij een waarde kleiner dan 0 neemt deze af.

2.2.3.2 Lactatiestadium en verdringing van ruwvoer door krachtvoer

Het kan niet worden uitgesloten dat de verdringing van ruwvoer door krachtvoer c.q. de verzadigingswaarde van krachtvoer interacties heeft met het lactatiestadium. Mogelijk zijn koeien direct na het afkalven gevoeliger voor hoge krachtvoergiften dan in een later stadium van de lactatie, omdat de ruwvoeropname dan relatief laag is. Hierdoor zou mogelijk eerder pensverzuring kunnen optreden, waardoor eerder verzadiging optreedt. Aan het einde van de lactatie, bij koeien die in een positieve energiebalans verkeren, zou de verdringing mogelijk groter kunnen zijn omdat de opname dan gereguleerd zou kunnen worden door het energie aanbod (Conrad et al., 1964) waardoor bij een hoog energieaanbod (veel krachtvoer) de voeropname (energieopname) wordt gedrukt. Om het effect van het lactatiestadium op de verdringing te modelleren is het model voor de verzadigingswaarde van

krachtvoer uitgebreid met de extra term $e^{\rho_\mu (d-\mu)}$

$$VW_{\text{krachtvoer}} = \{e^{(\lambda_{50} + \lambda_{51}(x_{51} - \bar{x}_{51}) + \lambda_{52}(x_{51} - \bar{x}_{51})^2 + \dots + \lambda_{15n}(x_{5n} - \bar{x}_{5n}) + \lambda_{15n}(x_{5n} - \bar{x}_{5n})^2)}\} e^{\rho_\mu (d-\mu)} \quad (\text{vergelijking 13})$$

Waarin:

ρ_μ = snelheidsparameter

d = dagen in lactatie

μ = aantal dagen na afkalven waarop de verandering van de verzadigingswaarde van teken verandert

Zie voor de overige parameters (vergelijking 12)

De term $e^{\rho_\mu(d-\mu)}$ maakt het mogelijk dat de verzadigingswaarde van krachtvoer gedurende de lactatie eventueel een hyperboolvormige curve kan volgen.

2.3 Schattingsmethoden

De parameterschattingen van de modellen en evaluatie van de modelaanpassingen voor voeropnamecapaciteit en verzadigingswaarde zijn uitgevoerd door middel van niet-lineaire regressie analyse, gebaseerd op de maximum likelihood methode. Hiervoor is gebruik gemaakt van Gauss-Newton iteratie van de procedure FITNONLINEAR in het statistische pakket van Genstat 5, Release 4.21 5th edition (Genstat, 1998).

De verschillende modelparameters zijn simultaan geschat om ongewenste verstrengelingen te voorkomen. Bij het modelleren is uitgegaan van de meest volledige modellen voor voeropnamecapaciteit en de verzadigingswaarden. Stapsgewijs is het aantal modelparameters gereduceerd door niet significante en/of sterk gecorreleerde parameters en parameters die leiden tot slecht interpreteerbare (biologisch niet verklaarbare) relaties uit te sluiten. Hierdoor zijn in de uiteindelijke modellen alleen significante en relevante parameters opgenomen. De controle van de aanpassing van het model (goodness of fit) is gedaan door voor verschillende modelparameters de gemiddelde afwijking (bias) te berekenen.

2.3.1 Verzadigingswaarde overige ruwvoerders en bijproducten

De verzadigingswaarden van voedermiddelen waarvan geen of onvoldoende gegevens in de dataset aanwezig zijn, zijn afgeleid van literatuurgegevens. De literatuurgegevens waren afkomstig van proeven met individuele en groepsvoeding uitgevoerd tussen 1976 en 1988 door het Praktijkonderzoek Veehouderij (voorheen het Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij). In deze proeven kreeg een deel van de koeien (een of meer behandelingsgroepen) een rantsoen waarvan de verzadigingswaarde volledig kan worden berekend. Omdat van deze literatuurdata geen individuele diergegevens bekend zijn is verondersteld dat de gemiddelde voeropnamecapaciteit van de afzonderlijke behandelingsgroepen binnen een proef gelijk is. Deze veronderstelling is aannemelijk omdat bij vergelijkende proeven de behandelingsgroepen normalerwijs gebalanceerd zijn voor leeftijd en lactatiestadium. Onder deze aanname kan een verzadigingswaarde voor een onbekend voedermiddel worden berekend. De gemiddelde voeropnamecapaciteit van de controlegroep met het rantsoen waarvan de verzadigingswaarde bekend is wordt als volgt berekend:

$$VOC_c = \sum P_i VW_i \text{ (vergelijking 14)}$$

Waarin:

VOC_c = Voeropnamecapaciteit controlegroep

P_i = Drogestofopname voer i (kg/ds) met bekende verzadigingswaarde

VW_i = Verzadigingswaarde voer i met bekende verzadigingswaarde

Vervolgens kan de onbekende verzadigingswaarde van een voedermiddel op de volgende wijze worden berekend:

$$VW_Q = \frac{(VOC_c - \sum P_j VW_j)}{Q} \text{ (vergelijking 15)}$$

Waarin:

VW_Q = Verzadigingswaarde product q (/kg ds)

Q = Drogestofopname product q met onbekende verzadigingswaarde (kg ds)

VOC_c = Voeropnamecapaciteit controlegroep

P_j = Drogestofopname voer j (kg/ds) met bekende verzadigingswaarde

VW_j = Verzadigingswaarde voer j met bekende verzadigingswaarde

2.4 Validatie

2.4.1 Voorspelnauwkeurigheid

Als criterium voor de voorspelnauwkeurigheid is de Mean Square Prediction Error (MSPE) gebruikt. Dit criterium is onder andere gebruikt in diverse studies voor de evaluatie van voeropnamemodellen (bijv. (Fuentes-Pila et al., 1996; Rook et al., 1991; Roseler et al., 1997)). De MSPE wordt gedefinieerd als:

$$MSPE = \frac{\sum (A - P)^2}{n} \text{ (vergelijking 16)}$$

waarin:

A = Actuele voeropname (kg ds)
 P = Voorspelde voeropname (kg ds)
 n = Aantal waarnemingen

Volgens (Bibby and Toutenberg, 1977) kan de MSPE kan worden beschouwd als de optelling van drie componenten namelijk:

$$MSPE = (\bar{A} - \bar{P})^2 + S_P^2(1 - b) + S_A^2(1 - r^2) \text{ (vergelijking 17)}$$

waarin:

$\bar{A}$ = Gemiddelde actuele voeropname (kg ds)
 $\bar{P}$ = Gemiddelde voorspelde voeropname (kg ds)
 S_P^2 = Variantie van de voorspelde voeropname
 S_A^2 = Variantie van de actuele voeropname
 b = De helling van de regressie A op P
 r = Correlatiecoëfficiënt van A en P

Deze drie componenten van de MSPE zijn het gevolg van de gemiddelde bias, gegeven door $(\bar{A} - \bar{P})$; deviatie van b , de afwijking op de regressielijn van A op P en de random variatie. Een positieve gemiddelde afwijking geeft aan dat het model een onderschatting geeft. Als b kleiner is dan 1 dan tendeert het model tot te lage voorspellingen bij lage waarde van A en tot te hoge voorspellingen bij hoge waarde van A. Bij een waarde van b groter dan 1 is het omgekeerde het geval. De hoogte van de gemiddelde afwijking geeft een indicatie voor het verschil tussen de voorspelde en de actuele voeropname. Een grote deviatie van b ten opzichte van 1 is een indicatie voor een minder adequate structuur van het model.

2.4.2 Validatiedatasets

Voor de evaluatie van de voorspelnauwkeurigheid van het Koemodel-2002 op basis van de MSPE is een onafhankelijke dataset samengesteld met de individuele voeropnames van ad libitum ruwvoer gevoerde melkkoeien afkomstig van 6 voederproeven uitgevoerd door het Praktijkonderzoek Veehouderij tussen 1997 en 2001. Drie proeven zijn uitgevoerd op het Praktijkcentrum Aver Heino (biologische veehouderij). Twee van deze proeven betroffen experimenten met verschillende krachtvoerstrategieën gedurende de eerste 25 weken van de lactatie met 45 dieren per proef, de derde proef betrof een controlegroep van 10 dieren van een proef gedurende 10 weken. Drie proeven zijn uitgevoerd op de Waiboerhoeve. Eén experiment waarin de volledige lactaties van circa 50 koeien van een proef uitgevoerd gedurende een periode van 2 jaar, waarin rantsoenen met 0-100% graskuil of 0-100% snijmaïs in het basisrantsoen bij 0, 500 en 1000 g OEB per koe per dag. Twee overige proeven betroffen vergelijkende voederproeven met 72 dieren gedurende de eerste 15 weken van de lactatie. In totaal waren er 8129 wekelijkse gegevens van de voeropname. Het basisrantsoen in deze proeven bestond uit een mengsel van graskuil en snijmaïskuil in een verhouding van 1:1 op basis van drogestof. De gegevens met betrekking tot voeropname, voer- en rantsoensamenstelling en dierkarakteristieken waren op identieke wijze verzameld als de gegevens voor de calibratiedataset. Tevens waren de voermethoden en het management binnen de voederproeven in de validatiedataset overeenkomstig aan die van de voederproeven in de calibratiedataset.

3 Resultaten

3.1 Voeropnamecapaciteit

De parameters voor het gewicht na afkalven en werkelijke leeftijd bij afkalven waren niet schatbaar, wegens een geringe variatie in het gewicht en werkelijke leeftijd bij afkalven. Een gering aantal waarnemingen met een hoog of laag gewicht bij afkalven kreeg daardoor een sterke hefboomwerking (leverage) op de parameterschattingen. Daarom zijn gewicht na afkalven en werkelijke leeftijd bij afkalven niet opgenomen in het model. In tabel 5 zijn de parameterschattingen gegeven voor het model voor de voeropnamecapaciteit (VOC). Het volledige model voor de voeropnamecapaciteit is weergegeven met vergelijking 18.

Tabel 5 Parameters model voeropnamecapaciteit, zie voor verklaring van de symbolen vergelijking 18

Parameter	Schatting	Standard error
α_0	8,0838	0,0997
α_1	3,2956	0,0478
ρ_α	1,258	0,0282
β	0,3983	0,00105
ρ_β	0,05341	0,00169
δ_{220}	0,06907	0,00932

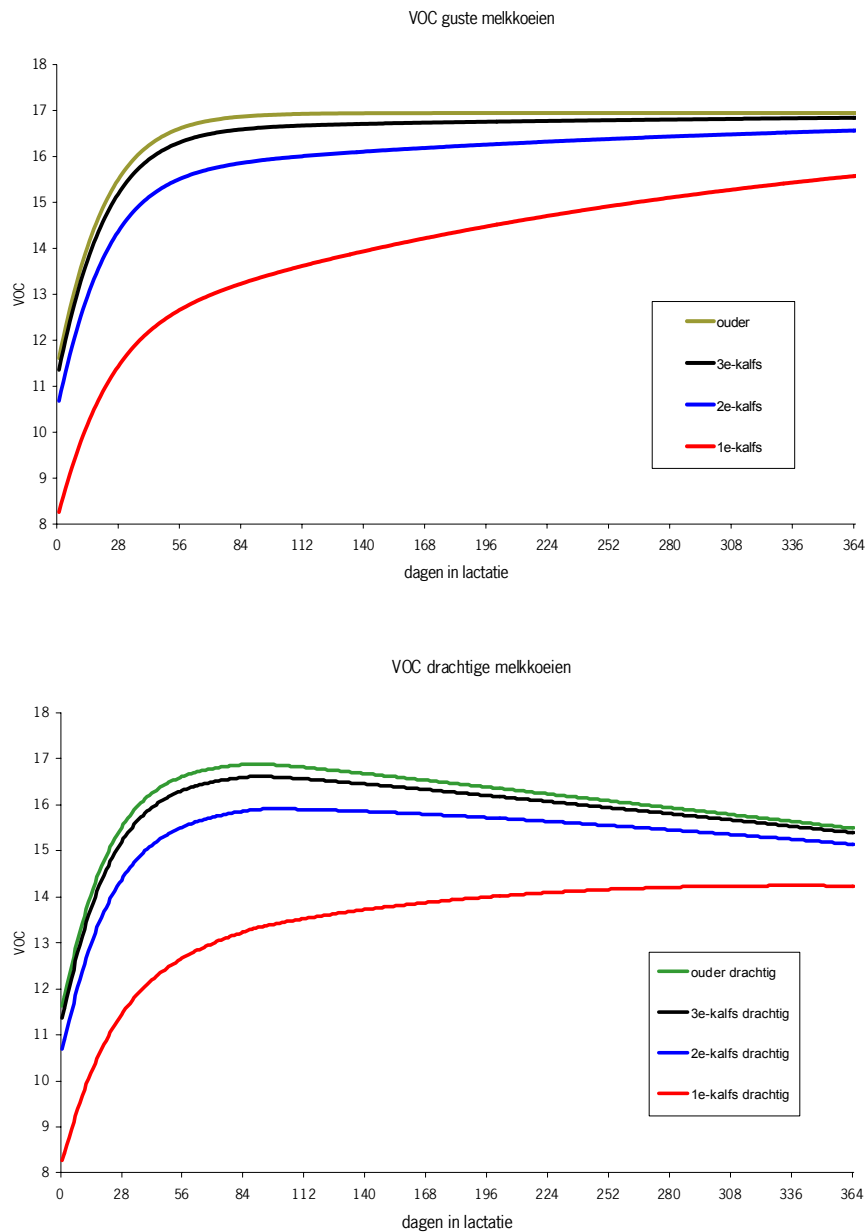
$$\text{VOC}(a,d,g) = \{[\alpha_0 + \alpha_1(1 - e^{-\rho_\alpha a})]e^{\beta(1 - e^{-\rho_\beta d})}\}(1 - \delta_{220}(\frac{g}{220})) \text{ (vergelijking 18)}$$

Waarin:

$\text{VOC}(a,d,g)$	= Voeropnamecapaciteit op leeftijd a en lactatiestadium d en drachtigheidsstadium g
a	= Leeftijd = pariteit – 1 + dagen in lactatie/365
d	= Dagen in lactatie
g	= Dagen drachtig
α_0	= Initiële voeropnamecapaciteit 1 ^e pariteit
α_1	= Asymptotisch niveau (maximale toename)
ρ_α	= Snelheidsparameter toename basisverloop
β	= Maximale niveau aanpassing basiscurve
ρ_β	= Snelheidsparameter toename voeropnamecapaciteit begin lactatie
δ_{220}	= Parameter drachtigheid

De volledig uitgeschreven vergelijking is gegeven in bijlage 5 en weergegeven met figuur 2.

Figuur 2 Voeropnamecapaciteit gedurende verloop van de lactatie van guste melkkoeien (boven) en drachtige Melkkoeien (onder)



3.2 Verzadigingswaarden

3.2.1 Verdringing van ruwvoer door krachtvoer

De verdringing bleek niet afhankelijk van de hoogte van de krachtvoergift. De schatting van parameter ρ_{κ} bedroeg -0,0245 met een standaard fout van 0,0221. Parameter ρ_{κ} is derhalve niet significant. De resultaten geven aan dat uitbreiding van de oorspronkelijke rekenregel geen wezenlijke verbetering geeft van de schatting van de voeropname.

Ook het lactatiestadium had geen significante invloed op de verzadigingswaarde van het krachtvoer. De parameterschattingen leverde een schatting op van -0,000046 (standaard error 0,000132) voor parameter ρ_{μ} en 144 (standaard error 132) voor parameter μ . De parameters ρ_{μ} en μ zijn niet significant. Ook de combinatie van lactatiestadium en krachtvoerniveau leverde geen wezenlijk andere bruikbare en significante parameterschattingen op. De parameters ρ_{κ} , ρ_{μ} en μ voor het effect van krachtvoerniveau en lactatiestadium zijn daarom niet opgenomen in het model voor de verzadigingswaarde van krachtvoer.

3.2.2 Modelparameters modellen voor verzadigingswaarden

Simultane schatting van de modelparameters van het voeropname model resulteerde in de volgende modellen voor de verzadigingswaarden van respectievelijk graskuil, snijmaïskuil, vers gras, MKS, droog krachtvoer, triticale-GPS, luzernekuil/rode klaverkuil en voederbiet.

$$VW_{\text{graskuil}} = e^{(\lambda_{111}(x_{11} - \bar{x}_{11}) + \lambda_{112}(x_{11} - \bar{x}_{11})^2 + \lambda_{121}(x_{12} - \bar{x}_{12}) + \lambda_{131}(x_{13} - \bar{x}_{13}))} \quad (\text{vergelijking 19})$$

$$VW_{\text{snijmaïskuil}} = e^{(\lambda_{20} + \lambda_{211}(x_{21} - \bar{x}_{21}) + \lambda_{212}(x_{21} - \bar{x}_{21})^2 + \lambda_{251}(x_{25} - \bar{x}_{25}))} \quad (\text{vergelijking 20})$$

$$VW_{\text{versgras}} = e^{(\lambda_{30} + \lambda_{331}(x_{33} - \bar{x}_{33}) + \lambda_{332}(x_{33} - \bar{x}_{33})^2 + \lambda_{351}(x_{35} - \bar{x}_{35}))} \quad (\text{vergelijking 21})$$

$$VW_{\text{MKS}} = e^{(\lambda_{40} + \lambda_{411}(x_{41} - \bar{x}_{41}))} \quad (\text{vergelijking 22})$$

$$VW_{\text{krachtvoer}} = e^{(\lambda_{50} + \lambda_{531}(x_{53} - \bar{x}_{53}))} \quad (\text{vergelijking 23})$$

$$VW_{\text{tritcaleGPS}} = e^{(\lambda_{60} + \lambda_{631}(x_{63} - \bar{x}_{63}))} \quad (\text{vergelijking 24})$$

$$VW_{\text{luzernekuil/rodeklaverkuil}} = e^{(\lambda_{70} + \lambda_{711}(x_{71} - \bar{x}_{71}) + \lambda_{712}(x_{71} - \bar{x}_{71})^2 + \lambda_{731}(x_{73} - \bar{x}_{73}))} \quad (\text{vergelijking 25})$$

$$VW_{\text{voederbiet}} = e^{(\lambda_{80})} \quad (\text{vergelijking 26})$$

$$VW_{\text{geplette tarwe}} = e^{(\lambda_{90})} \quad (\text{vergelijking 27})$$

Waarin:

- VW_p = Verzadigingswaarde (/kg ds) voedermiddel p
- λ_{p0} = Constante (graskuil per definitie $\lambda_{p0} = 0$)
- λ_{pn1} = Parameter lineair effect van voercomponent n in voer p ($n = 1, \dots, 9; p = 1, \dots, 8$)
- λ_{pn2} = Parameter kwadratisch effect van voercomponent n in voer p ($n = 1, \dots, 9; p = 1, \dots, 8$)
- x_{pn} = Concentratie van voercomponent (g/kg ds) n in voer p in voer p ($n = 1, \dots, 9; p = 1, \dots, 8$)
- $\bar{x}_{pn}$ = Gemiddelde concentratie voercomponent (g/kg ds) n in voer p ($n = 1, \dots, 9; p = 1, \dots, 8$)
- p = 1, ..., 9 = Graskuil, snijmaïs, vers gras, MKS, droog krachtvoer, triticale-GPS, luzerne/rode klaver, voederbieten, geplette tarwe
- n = 1, ..., 8 = drogestof, ruw eiwit, ruwe celstof, ruw as, verteerbare organische stof, suiker, zetmeel, NH_3 -fractie

De gemiddelde gehalten van de afzonderlijke voercomponenten ($\bar{x}_{pn}$) zijn gegeven in tabel 6. In tabel 7 zijn de parameterschattingen van de verzadigingswaarden vermeld. De volledig uitgeschreven vergelijkingen zijn gegeven in bijlage 5.

Tabel 6 De gewogen gemiddelde gehalten ($\bar{x}_{np}$) per voercomponent in voedermiddelen (g/kg ds). Graskuil (inclusief Gras/klaverkuil) en vers gras inclusief verse grasklaver. Krachtvoer betreft alle mengcoeders en enkelvoudige bijproducten. Voederbiet analyse betreft gereinigd en gewassen product.

	n	p	graskuil 1	snijmaiskuil 2	vers gras 3	MKS 4	krachtvoer 5	Triticale- GPS 6	Luzerne- /rode klaverkuil 7	Voede-biet 8	Tarwe geplet 9
Droge stof (%)	1		45	33		54			32		
Ruw eiwit	2		170								
Ruwe celstof	3		240		230		140	283	275		
VOS	5			695	705						

3.2.3 Verzadigingswaarde perspulp en gedroogd gras

De verzadigingswaarden van perspulp en gedroogd gras bleken niet schatbaar. Opnemen van gedroogd gras in het model resulteerde in een grote verandering van de dierparameters en leidde tot onrealistische schattingen van de verzadigingswaarde van gedroogd gras. Dit was een gevolg van het feit dat gedroogd gras is gevoerd in een proef met vrijwel uitsluitend vaarzen, dus waar sprake was van een verstrengeling tussen pariteit en rantsoen. Bovendien werd de schatting van de verzadigingswaarde van gedroogd gras bemoeilijkt vanwege het ontbreken van de chemische samenstelling van het mengvoer. Perspulp is op slechts één locatie gevoerd, hierdoor was sprake van een verstrengeling tussen rantsoen en proeflocatie (inclusief proef en bedrijfseffect). Het bleek niet mogelijk om apart het locatie-effect (bedrijfseffect, proefeffect) op de opname te schatten omdat in de proeven met perspulp geen behandelingsgroepen waren zonder perspulp. Bovendien bestond de graskuil in deze proeven uit botanisch afwijkend materiaal (<25% goede grassen).

Tabel 7 Parameterschattingen van modellen voor de verzadigingswaarde

	p	graskuil		Snijmais		Vers gras	
		1		2		3	
		Schatting	s.e.	Schatting	s.e.	schatting	s.e.
Constante	λ_{p0}			$-2,1658 \times 10^{-1}$	$7,46 \times 10^{-3}$	$-8,334 \times 10^{-2}$	$4,18 \times 10^{-3}$
Drogestof lineair	λ_{p11}	$-1,613 \times 10^{-3}$	$2,16 \times 10^{-4}$	$-2,737 \times 10^{-3}$	$9,86 \times 10^{-4}$		
Drogestof kwadratisch	λ_{p12}	$9,91 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$2,962 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-4}$		
Ruw eiwit lineair	λ_{p21}	$-3,321 \times 10^{-4}$	$8,37 \times 10^{-4}$				
Ruw eiwit kwadratisch	λ_{p22}						
Ruwe celstof lineair	λ_{p31}	$1,551 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-4}$			$-2,06 \times 10^{-4}$	$1,47 \times 10^{-5}$
Ruwe celstof kwadratisch	λ_{p32}					$1,419 \times 10^{-5}$	$2,98 \times 10^{-6}$
VOS lineair	λ_{p51}			$-5,59 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$-7,443 \times 10^{-4}$	$7,71 \times 10^{-5}$
VOS kwadratisch	λ_{p52}						

	p	MKS		Krachtvoer		triticale-GPS	
		4		5		6	
		Schatting	s.e.	Schatting	s.e.	schatting	s.e.
Constante	λ_{p0}	$-3,094 \times 10^{-1}$	$1,24 \times 10^{-2}$	-1,1483	$2,02 \times 10^{-2}$	$-1,132 \times 10^{-1}$	$1,38 \times 10^{-2}$
Drogestof lineair	λ_{p11}	$-1,179 \times 10^{-2}$	$1,85 \times 10^{-3}$				
Drogestof kwadratisch	λ_{p12}						
Ruw eiwit lineair	λ_{p21}						
Ruw eiwit kwadratisch	λ_{p22}						
Ruwe celstof lineair	λ_{p31}			$1,335 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-4}$	$5,216 \times 10^{-3}$	$3,1 \times 10^{-4}$
Ruwe celstof kwadratisch	λ_{p32}						
VOS lineair	λ_{p51}						
VOS kwadratisch	λ_{p52}						

	p	luzernekuil		Voederbiet		tarwe (geplet)	
		7		8		9	
		schatting	s.e.	Schatting	s.e.	schatting	s.e.
Constante	λ_{p0}	$-5,859 \times 10^{-2}$	$7,16 \times 10^{-3}$	$-3,673 \times 10^{-1}$	$4,21 \times 10^{-2}$	$-2,81 \times 10^{-1}$	$3,57 \times 10^{-2}$
Drogestof lineair	λ_{p11}	$-5,54 \times 10^{-3}$	$1,06 \times 10^{-3}$				
Drogestof kwadratisch	λ_{p12}	$8,07 \times 10^{-4}$	$1,42 \times 10^{-4}$				
Ruw eiwit lineair	λ_{p21}						
Ruw eiwit kwadratisch	λ_{p22}						
Ruwe celstof lineair	λ_{p31}	$4,28 \times 10^{-4}$	$1,29 \times 10^{-4}$				
Ruwe celstof kwadratisch	λ_{p32}						
VOS lineair	λ_{p51}						
VOS kwadratisch	λ_{p52}						

In bijlage 6 is een tabel met de correlatiecoëfficiënten van alle modelparameters gegeven. Het model voor het voorspellen van de totale drogestofopname (TDSO) is opgebouwd uit de modellen voor de VOC (vergelijking 18) en de modellen voor de verzadigingswaarden (vergelijking 19 tot en met 27).

$$\text{TDSO}(a, d, g) = \frac{\text{VOC}(a, d, g)}{\sum_i F_i \text{VW}_i} \quad (\text{vergelijking 28})$$

Waarin:

$\text{TDSO}(a, d, g)$ = Totale drogestofopname (kg drogestof) op leeftijd a en lactatiestadium d en drachtigheidsstadium g

F_i = Fractie voedermiddel i in het totale rantsoen

VW_i = Verzuigingswaarde voedermiddel i

Dit model verklaart 61.6% van de variantie met een standaard deviatie van 1,83 kg drogestof.

In de praktijk is doorgaans de krachtvoergift ingesteld en is in de regel de opname van ruwvoer vrij. In dat geval kan de ruwvoeropname worden berekend volgens:

$$\text{RDSO}(a, d, g) = \frac{(\text{VOC}(a, d, g) - \sum_i F_{K_i} \text{VW}_{K_i})}{\sum_j F_{R_j} \text{VW}_{R_j}} \quad (\text{vergelijking 29})$$

$\text{RDSO}(a, g, d)$ = Ruwvoeropname (kg drogestof) op leeftijd a en lactatiestadium d en drachtigheidsstadium g

F_{K_i} = Fractie krachtvoer i in het krachtvoermengsel

F_{R_j} = Fractie voedermiddel j in het ruwvoermengsel

VW_{K_i} = Verzuigingswaarde voedermiddel i in het krachtvoermengsel

VW_{R_j} = Verzuigingswaarde voedermiddel j in het ruwvoermengsel

3.2.4 Verdringing van ruwvoer door krachtvoer

De verdringing bleek niet afhankelijk van de hoogte van de krachtvoergift. De schatting van parameter ρ_K -0,0245 met een standaard fout van 0,0221. Parameter ρ_K is derhalve niet significant. De resultaten geven aan dat uitbreiding van de oorspronkelijke rekenregels geen wezenlijke verbetering geeft. Ook het lactatiestadium had geen significante invloed op de verzuigingswaarde van het krachtvoer. De parameterschattingen leverde een schatting op van -0,000046 (standaard error 0,0000132) voor parameter ρ_μ en 144 (standaard error 132) voor parameter μ . De parameters ρ_μ en μ zijn niet significant. Ook de combinatie van lactatiestadium en krachtvoerniveau leverde geen wezenlijk andere bruikbare en significante parameterschattingen op. De parameters ρ_K , ρ_μ en μ . Voor het effect van krachtvoerniveau en lactatiestadium zijn daarom niet opgenomen in het model voor de verzuigingswaarde van krachtvoer.

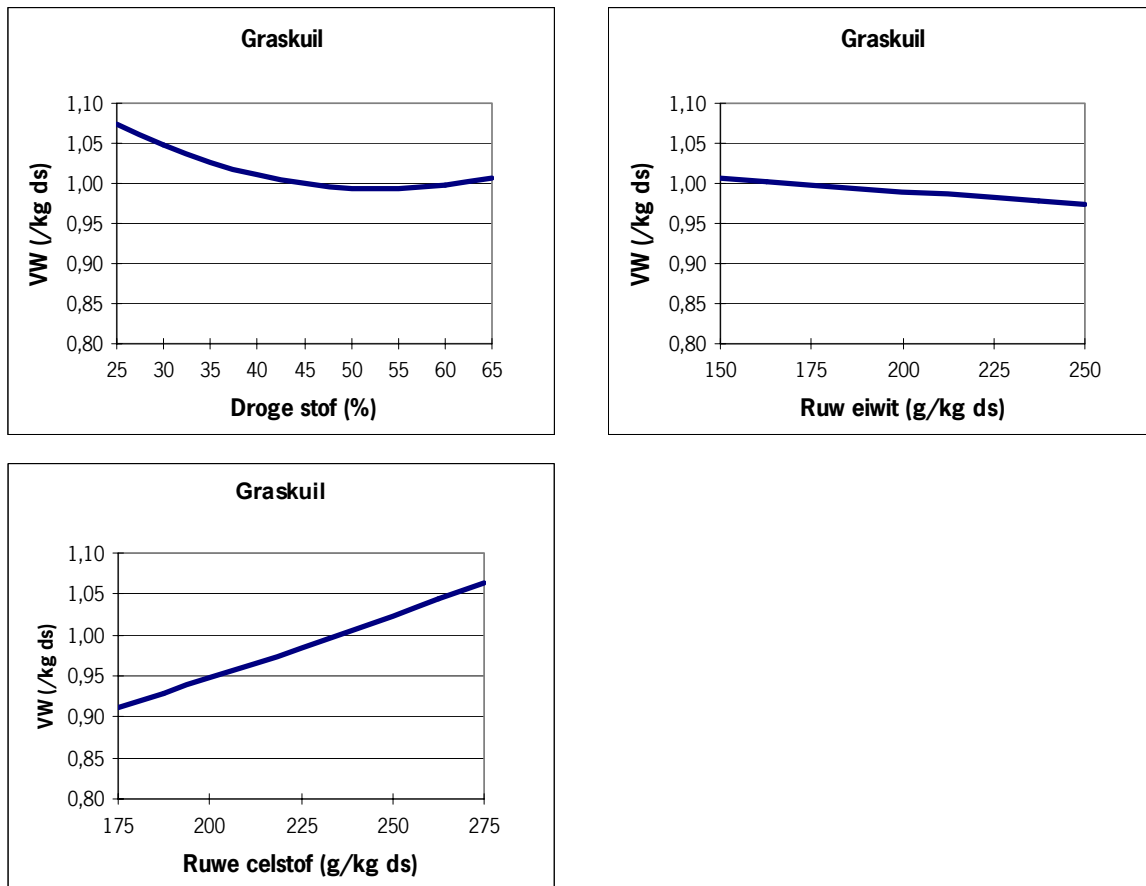
3.2.5 Verzuigingswaarden berekend op basis van literatuurdata

In tabel 8 is een overzicht gegeven van de verzuigingswaarden van enkele bijproducten berekend op basis van literatuurdata.

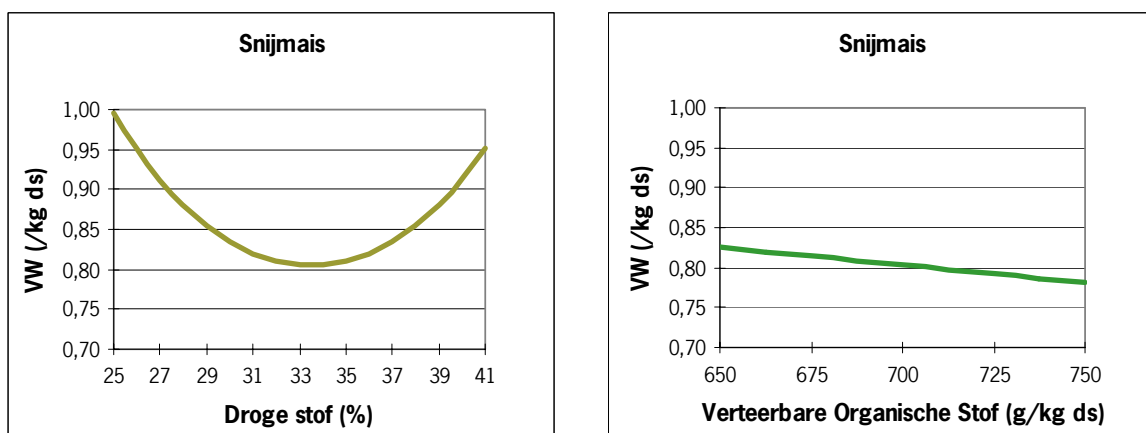
Tabel 8 Verzuigingswaarden natte bijproducten

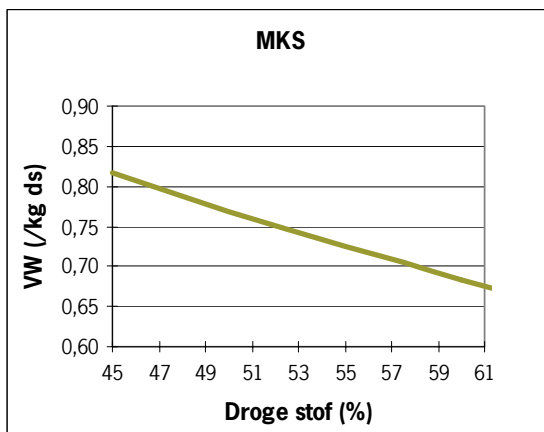
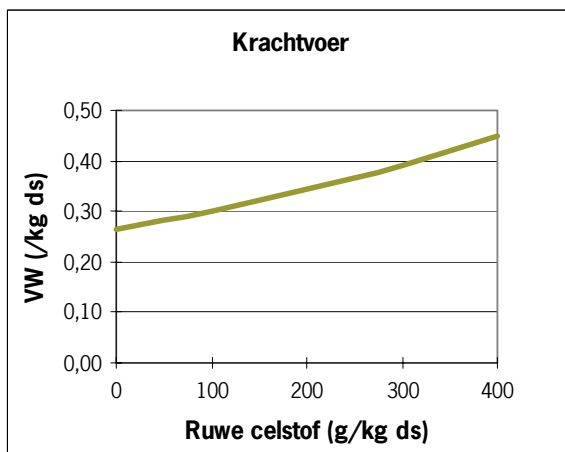
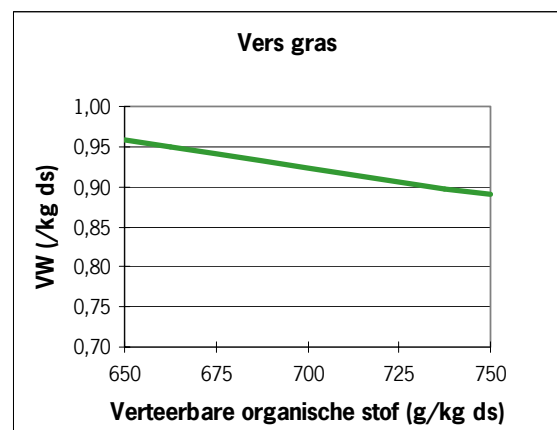
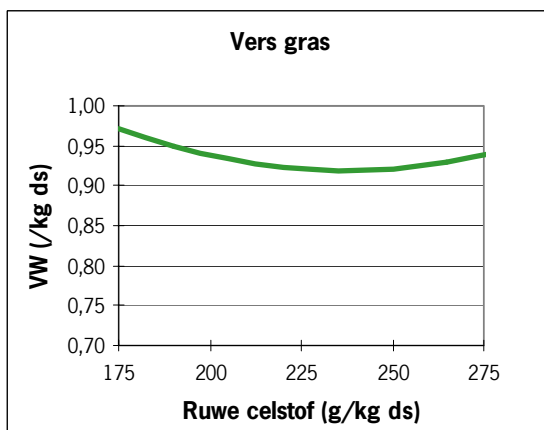
Product	Schatting	
Bietenperspulp	0,70	Gemiddelde van 9 proeven
Maisglutenvoer	0,54	Gemiddelde van 2 proeven
Aardappelpersvezels	0,53	Gemiddelde van 2 proeven
Bierbostel	0,55	Eén proef
Tarwestro (gesneden)	1,66	Eén proef

Figuur 3 a,b,c. Verloop van de verzadigingswaarde van graskuil bij variatie van respectievelijk drogestofgehalte ruweiwitgehalte en ruwecelstofgehalte

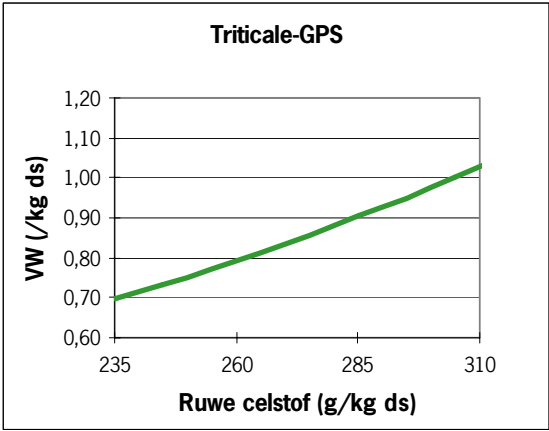


Figuur 4 a,b. Verloop van de verzadigingswaarde van snijmaiskuil bij variatie van respectievelijk drogestofgehalte en VOS-gehalte

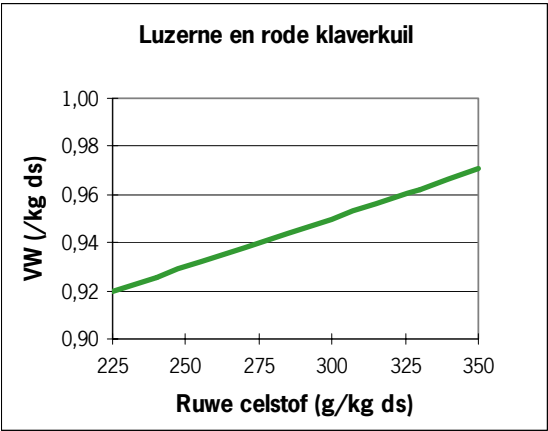
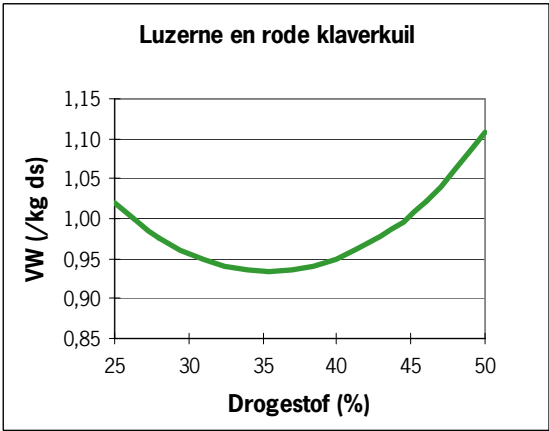


Figuur 5 Verloop van de verzadigingswaarde van MKS bij variatie van het drogestofgehalte**Figuur 6** Verloop van de verzadigingswaarde van droog krachtvoer bij variatie van het ruwe-celstofgehalte**Figuur 7 a,b** Verloop van de verzadigingswaarde van vers gras bij variatie van respectievelijk het ruwe-celstofgehalte en het VOS-gehalte

Figuur 8 Verloop van de verzadigingswaarde van tritcale-GPS bij variatie van het ruwecelstofgehalte



Figuur 9 a,b. Verloop van de verzadigingswaarde van luzernekuil en rode klaverkuil bij variatie van respectievelijk het drogestofgehalte en het ruwecelstofgehalte



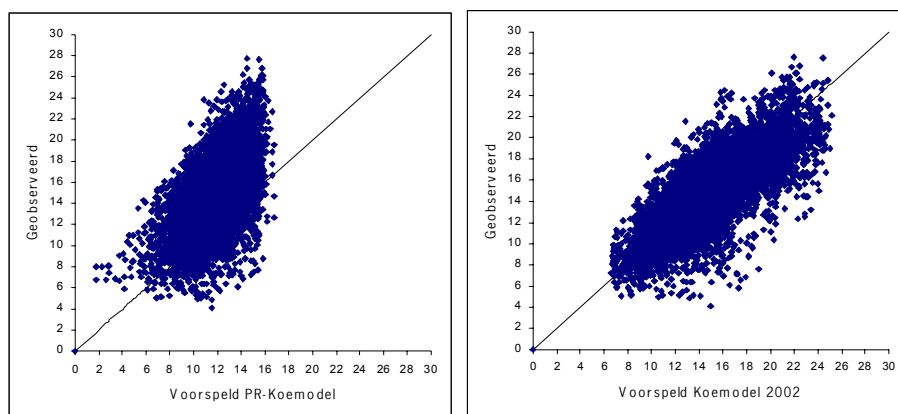
3.3 Voorspelnauwkeurigheid

De resultaten van de analyse van de voorspelnauwkeurigheid voor de gehele testdataset staan vermeld in tabel 9. In vergelijking is de MSPE van het Koemodel-2002 lager dan van het PR-Koemodel uit 1987. Dit komt met name door een veel kleiner verschil tussen de voorspelde en werkelijk opname (kleinere bias). Gemiddeld geeft het PR-Koemodel een onderschatting van de ruwvoeropname van 2,6 kg drogestof. Het Koemodel-2002 geeft gemiddeld een geringe overschatting met 0,3 kg drogestof. Het PR-Koemodel heeft een sterke neiging tot onderschatting van de drogestof opname bij hogere actuele drogestofopname. In figuur 10 zijn de voorspelde ten opzichte van geobserveerde ruwvoeropname van PR-Koemodel en Koemodel-2002 weergegeven.

Tabel 9 Vergelijking voorspelnauwkeurigheid van de ruwvoer PR-Koemodel en Koemodel-2002

	PR-Koemodel	Koemodel-2002
Aantal waarnemingen	8129	8129
$\bar{A}$ Gemiddelde actuele ruwvoeropname (kg ds)	14,6	14,6
$\bar{P}$ Gemiddelde voorspelde ruwvoeropname (kg ds)	11,9	14,9
S_A^2 Variantie actuele opname	11,9	11,9
S_P^2 Variantie voorspelde opname	3,8	11,1
$(\bar{A} - \bar{P})$ gemiddelde bias (kg ds)	2,6	-0,3
b helling regressie van actuele (A) en voorspelde (P) opname	1,22	0,97
R correlatie coëfficiënt actuele (A) en voorspelde (P) opname	0,58	0,76
MSPE (kg ds) ²	15,5	5,7
MPE (=wortel van MSPE)	3,9	2,4
Bias als fractie van MSPE	0,45	0,02
Line bias als fractie van MSPE	0,04	0,11
Random variatie als fractie van MSPE	0,51	0,87
RPE (=MPE als fractie van $\bar{A}$)	0,27	0,16

Figuur 10 Voorspelde ten opzichte van geobserveerde ruwvoeropname van het PR-Koemodel en Koemodel-2002



4 Discussie

4.1 Dierparameters

4.1.1 Pariteit en lactatiestadium

De voeropnamecapaciteit wordt volgens het model bepaald door het lactatienummer en het lactatiestadium. Volgens het Koemodel-2002 neemt de VOC continu toe met de leeftijd volgens een curve met een asymptotisch verloop. Deze curve wordt gecorrigeerd voor het lactatiestadium. De leeftijd kan worden beschouwd als een indirecte maat voor de omvang van de koe en daarmee voor de fysieke capaciteit om voer op te nemen en te verwerken. Een continue leeftijdsgerelateerde aanpassing van de VOC is meer in overeenstemming met de fysiologie van het dier dan stapsgewijze aanpassing van de VOC afhankelijk van pariteit. Het lactatieverloop beschrijft de veranderingen in de voeropnamecapaciteit gedurende de lactatie, bijvoorbeeld de snelle stijging van de voeropnamecapaciteit in het begin van de lactatie. Deze veranderingen in de voeropnamecapaciteit tijdens het verloop van de lactatie kunnen worden beschouwd als resultaat van het hele complex van metabole, fysieke regulatiemechanismen. Deze veranderingen worden indirect beschreven met (of zijn opgenomen in) het lactatiestadium.

4.1.2 Drachtigheidsstadium

Analyse leverde op dat een niet lineaire beschrijving van het effect van drachtigheid op de VOC niet verschillend was met het lineaire model. Omdat het niet-lineaire model erg gevoelig is voor extrapolatie naar het einde van de dracht is gekozen voor het eenvoudiger lineaire model. Op dag 220 van de dracht ligt de VOC ongeveer 6,9% lager dan van een vergelijkbaar niet-drachtig dier. Dit komt redelijk overeen met Ingvarlsen (1992) die rekening houdt met een afname van de voeropnamecapaciteit van 1,5% per week vanaf de 26^{ste} week van de dracht. Volgens het model van Ingvarlsen (1992) is op 220 dagen van de dracht (31^{ste} week van de dracht) de opnamecapaciteit van een drachtig dier 7,5% lager zijn dan van een niet drachtig dier. Volgens het voorgestelde model neemt de VOC ten opzicht van een niet drachtig dier reeds vanaf de eerste dag na conceptie af met 0,0314% per dag. De invloed van dracht op de VOC wordt vaak toegeschreven aan fysieke beperking van opname door de ruimte die het kalf inneemt. Gegeven het exponentiële groeiverloop van de baarmoederinhoud zou inderdaad verwacht kunnen worden dat dit effect het grootst is aan het einde van de dracht. Echter, Ingvarlsen and Andersen (2000) hebben op basis van literatuuronderzoek aangetoond dat de hormonale effecten minstens zo'n grote rol spelen bij het reguleren van de voeropname in relatie tot de dracht. Dit zou kunnen verklaren waarom dat het effect van dracht reeds vanaf het begin van de conceptie invloed kan hebben op de voeropnamecapaciteit.

4.1.3 Leeftijd en gewicht bij afkalven

Modelparameters voor zowel het effect gewicht na afkalven als werkelijke leeftijd bij afkalven op de VOC bleken niet schatbaar. Een mogelijke oorzaak zou kunnen zijn dat op de onderzoekslocaties van het Praktijkonderzoek Veehouderij het management en fokdoel uniform is. Ten aanzien van de opfok van vaarzen wordt, geheel volgens de eigen adviezen van het Praktijkonderzoek Veehouderij, er naar gestreefd vaarzen op een leeftijd van 24 maanden te laten afkalven bij een gewicht van rond de 550 kg. Bovendien wordt bij de uitvoering van proeven gestreefd naar het samenstellen van zo uniform mogelijke koppels koeien om de diervariatie tussen behandelingsgroepen zo gering mogelijk te maken. Het gevolg is dat er slechts geringe variatie bestaat in lichaamsgewicht (zie figuur 11).

Behalve een gering verschil in lichaamsgewicht bestaat er ook een geringe variatie in de werkelijke leeftijd bij eerste afkalving. Met name op de locaties waar voedingsonderzoek wordt uitgevoerd is vanuit overwegingen van doelmatigheid gekozen voor twee afkalfpieken per jaar (oktober-november en maart-april). Door dit afkalfpatroon zijn de groepen kalfvaarzen ook uniform wat betreft leeftijdsopbouw (zie figuur 12). Om te onderzoeken of het gewicht en/of de werkelijke leeftijd bij afkalven effect hebben op de voeropnamecapaciteit zouden voor dit doel specifieke datasets moeten worden aangelegd.

4.1.4 Melkproductieniveau

Een belangrijk verschil ten opzichte van het PR-Koemodel uit 1987 is dat met het Koemodel-2002 de voeropnamecapaciteit niet meer wordt gecorrigeerd voor het melkproductieniveau. Het melkproductieniveau wordt soms gezien als verklarende factor voor de voeropnamecapaciteit. Een hoge melkproductie wordt vaak geassocieerd met een hoge voeropnamecapaciteit. Melkproductie als verklarende variabele voor de voeropnamecapaciteit wordt meestal uitgedrukt als de actuele melkproductie/dag of F(P)CM/dag, of als de potentiële productie per jaar. Aan het gebruik van de actuele dagelijkse F(P)CM of melkgift als verklarende variabele voor de voeropnamecapaciteit kleven een aantal bezwaren. In het begin van de lactatie verloopt de toename van de voeropname langzamer dan van de toename van de melkgift. Dus in deze periode is de dagelijkse melkgift niet erg geschikt als voorspeller van de voeropname. De melkproductiepiek wordt doorgaans enkele weken eerder bereikt dan de opnamepiek. Friggens et al. (1998) vond in proeven waarin koeien werden overgeschakeld van TMR-rantsoen met een hoog krachtvoerniveau naar een TMR-rantsoen met een laag krachtvoerniveau en omgekeerd dat de voeropnamecapaciteit onafhankelijk is van de melkproductie. Dit geeft aan dat actuele melkproductie niet bruikbaar is voor voorspelling van de voeropname. Een ander nadeel van het gebruik van de actuele melkproductie is dat deze niet bekend is voor het tijdstip waarop de voorspelling van de voeropname van toepassing is. Er van uitgaande dat het model wordt gebruikt om de voeropname in een toekomstige situatie te voorspellen, of om de lange termijn effecten van verschillende alternatieve voerstrategieën te vergelijken. Bovendien wordt de melkproductie ook voor een belangrijk deel bepaald door het rantsoen en de voeropname, als de melkproductie weer als verklarende factor voor de voeropname wordt gebruikt ontstaat een cirkelredenering.

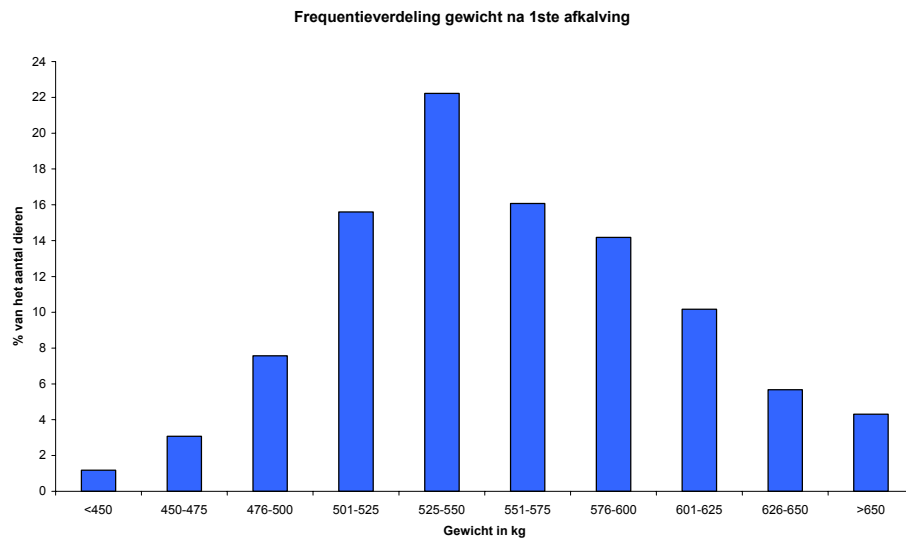
In het PR-Koemodel uit 1987 wordt de voeropnamecapaciteit gecorrigeerd voor de potentiële jaarproductie. Deze correctie, die diervariabele wordt genoemd, bedraagt $1 + (\text{jaarproductie} - 6000)/15000$. Bijvoorbeeld: een koe met een jaarproductie van 7500 kg melk heeft voeropnamecapaciteit die een factor 1,1 hoger is dan van een koe met een jaarproductie van 6000 kg melk. In het PR-Koemodel is lactatienummer (leeftijd) niet opgenomen als verklarende variabele voor de voeropnamecapaciteit. Omdat de melkproductie stijgt naar mate een dier ouder wordt neemt ook de voeropnamecapaciteit toe. Dus in het PR-Koemodel uit 1987 is de correctie voor verschil in ruwopnamecapaciteit tussen dieren van een verschillende leeftijd indirect geregeld via het productieniveau. In tegenstelling tot het PR-Koemodel is in het Koemodel-2002 wel de leeftijd (berekend op basis van lactatienummer en lactatiedagen) als verklarende variabele voor de voeropnamecapaciteit opgenomen. Volgens het Koemodel-2002 is zowel het niveau als het verloop van de VOC verschillend voor dieren van verschillende lactatienummers (zie figuur 2).

Bij het PR-Koemodel uit 1987 wordt de correctie voor verschil in melkproductieniveau ook toegepast te corrigeren voor het "bedrijfsniveau". Het verschil in bedrijfsniveau is het gevolg van een complex van factoren dat bestaat uit milieufactoren zoals bijvoorbeeld de voeding, managementcapaciteiten van de veehouder, huisvesting, enzovoort.

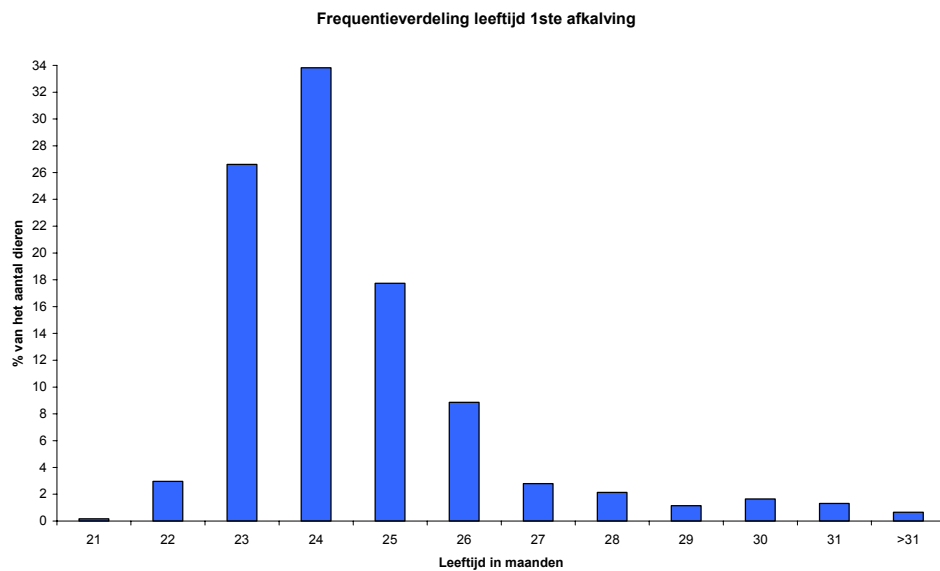
Een deel van deze factoren zoals huisvesting en andere bedrijfsspecifieke productieomstandigheden zijn niet in het model opgenomen.

In het Koemodel-2002 komen bedrijfsspecifieke factoren die gerelateerd zijn aan de voederwaarde en samenstelling van het (ruw)voer (bijvoorbeeld systemen met beheersgras of lage bemesting) tot uitdrukking in de verzadigingswaarde van het (ruw)voer. Voor overige bedrijfsspecifieke omstandigheden kan het nodig zijn om de VOC te corrigeren met een correctiefactor. Dit zal nader worden toegelicht in paragraaf 5.2.3. Een belangrijke bedrijfsspecifieke factor is de genetische aanleg van de veestapel. In de eerste plaats zijn dat rasverschillen, maar daarnaast kunnen er ook verschillen zijn door selectie en fokkerij binnen een populatie. Uit vergelijkingen tussen verschillen (sub)populaties van melkveerassen blijkt dat (sub)populaties met een hoge genetische aanleg voor melkproductie of INET onder andere ook een hogere voeropname laten zien (Buckley et al., 2000; Veerkamp, 1998). De correlatiecoëfficiënten tussen voeropname en melkproductie laten zien dat selectie op een hogere melkproductie gepaard gaat met een toename in van de voeropname (Veerkamp, 1998). Bij de calibratie van het voeropnamemodel van het Koemodel-2002 zijn uitsluitend gegevens gebruikt van hoog productieve HF melkkoeien afkomstig van proefbedrijven waarvan het fokbeleid is gericht op een hoge INET (de 5 tot 10 hoogste INET-stieren per jaargang). Er is dus sprake van een populatie met een uniform fokdoel. Het is de vraag of binnen deze populatie verschil in voeropnamecapaciteit kan worden gerelateerd de genetische aanleg voor melkproductie. Er zal aanvullend onderzoek nodig om na te gaan of de genetische aanleg voor melkproductie of INET van individuele melkkoeien bruikbaar is als verklarende variabele voor de voeropnamecapaciteit.

Figuur 11 Frequentieverdeling lichaamsgewicht bij eerste afkalving



Figuur 12 Frequentieverdeling leeftijd bij eerste afkalving



4.1.5 *Conditie score*

Uit werk van Garnsworthy & Topps (1982), Garnsworthy & Jones (1987), Garnsworthy & Jones (1993) is gebleken dat koeien die bij afkalven vet waren, minder voer opnemen dan magere koeien. Bovendien treedt de opnamepiek van vette koeien later op dan van magere koeien. In principe is conditiescore in het model op te nemen als een negatieve correctie (schaalfactor) op de snelheidsparameter β (zie vergelijking 18). Een kleinere β heeft zowel een latere opnamepiek als een lagere maximale opname binnen de lactatie tot gevolg. Echter, de dataset bevat onvoldoende gegevens over de conditiescore. Bovendien wordt het kenmerk conditiescore visueel geschat en uitgedrukt in een schaal van 1 tot 5, daardoor kunnen er verschillen ontstaan afhankelijk van de persoon die de score heeft toegekend (bedrijfsverschillen). Voor het kunnen afleiden van goede relaties tussen conditiescore en voeropnamecapaciteit zal aanvullend onderzoek nodig zijn vast te stellen of de subjectief gemeten conditiescore of andere objectieve meetmethoden van de conditiescore, geschikt zijn om in te bouwen in een voeropnamemodel.

4.1.6 *Raseffecten*

Het Koemodel-2002 is gecalibreerd op basis van de gegevens van roodbonte en zwartbonte Holstein-Friesians. Het model zal daarom in de eerste plaats ook het meest geschikt voor dit ras. Echter, de verwachting is dat het model ook zal worden toegepast voor andere situatie en andere rassen en typen. In navolging van andere voeropnamemodellen (Kristensen and Ingvarsen, 1986; Rotz et al., 1999) zou een multiplicatieve correctiefactor (schaalfactor) kunnen worden gebruikt om het model te kunnen gebruiken op melkveebedrijven met een melkveeras. Oldenbroek (1989) vond in een vergelijking tussen vier verschillende veerassen bij twee rantsoenen gedurende de eerste 3 lactaties een drogestof opnameniveau bij Jersey-, FH- en MRIJ-koeien dat op ongeveer respectievelijk 75-80%, 95-100% en 90-95% van Holstein-Friesian koeien lag (zie tabel 10). Deze verschillen kunnen indicatief als schaafactoren worden gebruikt. Voor gebruik van het model voor Jersey-, FH- en MRIJ-melkvee zou de VOC gecorrigeerd VOC kunnen overeenkomstig deze percentages.

Rotz et al. (1999) hanteren voor hun voeropnamemodel schaafactoren voor de voeropnamecapaciteit van afzonderlijke rassen die direct gerelateerd zijn aan het lichaamsgewicht (bijvoorbeeld HF 690 kg, Brown Swiss 642 kg: IC van BS 93% van HF). Het gebruik van schaafactoren om te kunnen corrigeren voor bedrijfsspecifieke effecten (o.a. ras) wordt toegelicht in paragraaf 5.2.3. Het Koemodel-2002 kan zondermeer worden uitgebreid met schaafactoren, echter met de huidige datasets is het niet mogelijk deze factoren te valideren. Hiervoor is vergelijkend onderzoek nodig waarbij ook eventuele verschillen in het verloop van de opnamecurve tussen rassen onderzocht zou moeten worden.

Tabel 10 Voeropname en gewicht van HF, FH, MRIJ en Jersey koeien in 3 lactaties en twee rantsoenen Oldenbroek, 1989)

Voeropname

	HF		Jersey		FH		MRIJ	
% krachtvoer	50	0	50	0	50	0	50	0
Lactatie 1	4614	3548	3417	2739	4330	3484	4248	3344
Lactatie 2	5017	4078			4883	4109	4353	3874
Lactatie 3	5656	4961	4380	4152	5293	4990	5180	4666
% van HF binnen een lactatie								
Lactatie 1	100	100	74	77	94	98	92	94
Lactatie 2	100	100	-	-	97	101	87	95
Lactatie 3	100	100	77	84	94	101	92	94
Gemiddeld			76	80	95	100	90	94

Gewicht

Ras	HF		Jersey		FH		MRIJ	
% krachtvoer	50	0	50	0	50	0	50	0
Lactatie 1	525	481	358	324	510	481	535	501
Lactatie 2	615	543			570	549	575	555
Lactatie 3	648	613	439	402	596	601	680	655
% van HF binnen een lactatie								
lactatie 1	100	100	68	67	97	100	102	104
lactatie 2	100	100			93	99	93	102
lactatie 3	100	100	68	66	92	98	105	107
Gemiddeld			68	66	94	99	100	104

4.2 Voerparameters

4.2.1 Krachtvoerders

De verzadigingswaarde van krachtvoer betreft alle mengvoerders inclusief enkelvoudige droge bijproducten. De verzadigingswaarden van enkelvoudige krachtvoerders waren afzonderlijk slecht schatbaar vanwege het geringe aandeel in het rantsoen (2-3% van de drogestof). De verzadigingswaarde van krachtvoer is afhankelijk van het ruwe celstofgehalte. De combinatie van ruw eiwit en ruwe celstof leverde wel significante parameterschattingen op voor zowel ruwe celstof als ruw eiwit. Echter, een model met zowel ruw eiwit en ruwe celstof resulteerde in een negatief lineair verband tussen verzadigingswaarde van respectievelijk ruwe celstof en ruw eiwit. Dit komt omdat het ruw eiwitgehalte en het ruwe celstofgehalte sterk negatief gecorreleerd zijn. Het opnemen van zowel ruw eiwit en ruwe celstof in één model leidt tot “overfitten” van het model voor de verzadigingswaarde van krachtvoer. De parameters voor de overige chemische componenten waren niet significant werden niet opgenomen in het model. Daarom is besloten alleen ruwe celstof als verklarende variabele in het model voor de verzadigingswaarde van krachtvoer op te nemen.

Het opnemen van een extra modelparameter voor het krachtvoeropnameniveau resulteerde niet in een verbetering van het model. Tevens werd niet aangetoond dat er een niet-lineair verband bestaat tussen de krachtvoergift en de mate van verdringing. Een niet-lineair verband met een toenemende verdringing bij hogere krachtvoergiften zoals het CVB hanteert op basis van het PR-Koemodel lijkt op het eerste gezicht vrij logisch te verklaren. De eerste kilo's krachtvoer kunnen eventuele tekorten aan fermenteerbare energie of eiwit (eventueel mineralen en vitaminen) wegnemen en daarmee de pensfermentatie bevorderen. De laatste kilo's krachtvoer kunnen een overmaat aan fermenteerbare energie veroorzaken met pensverzuring als gevolg. Het eerste zou de opname kunnen bevorderen (lage verdringing) het laatste zou een rem kunnen zijn op de opname. Echter, de CVB-vuistregel is gebaseerd op een geëxtrapoleerde kwadratische curve: $\text{verdringing (kg ds)} = -0.744K + 0.066G \cdot K + 0.047K^2$ waarin K = krachtvoer gift (kg DS) en G = grasopname bij 0 kg krachtvoer. Deze curve is afgeleid van proeven uitgevoerd met koeien die 's nachts waren opgesteld zonder bijvoeding met krachtvoergiften tot maximaal 5,4 kg. Het bezwaar hiervan is dat verdringing alleen kan worden gemeten bij onbeperkt ruwvoer gevoerde dieren. Door het 's nachts opstallen zonder bijvoeding is daar in dit geval geen

sprake van. Bij extrapolatie van de gevonden verdringingscurve bleek de verdringing onder invloed van de kwadratische term onwettelijk hard toe te nemen (Hijink en Meijer, 1987). Om deze reden en mede op grond van voerproeven met winter rantsoenen waarin de verdringing bij hogere giften lager was is de kwadratische term gehalveerd en formule aangepast (Hijink en Meijer, 1987). Hierdoor ontstond de volgende formule voor de verdringing van ruwvoer:

Verdringing (kg ds) = $(-0.744K + F \cdot K + 0.023K^2) \cdot \text{VEM-ruwvoer} / 950 \cdot 1 / (1 + (\text{FCM-jaarproductie} - 6000) / 15000)$.

Hierin is K de krachtvoer gift (kg ds), F een correctie factor voor afwijkende omstandigheden. Hoewel de niet-lineaire relatie tussen krachtvoergift en verdringing zoals die door het CVB wordt gehanteerd logisch lijkt is deze gebaseerd op niet adequate onderzoeksgegevens (van beperkt gevoerde koeien).

Verdringing van ruwvoer door krachtvoer kan mogelijk afhankelijk zijn van de fysiologische status van de koe. Echter het opnemen van een factor gerelateerd aan het lactatiestadium leverde geen aanknopingspunten op. Verdringing van ruwvoer door krachtvoer is een complex gebeuren. Thomas (1986) concludeert op basis van gegevens van een groot aantal proeven dat ondanks duidelijke kwalitatieve beschrijvingen van dier en voer karakteristieken geen kwantitatieve relaties zijn af te leiden die exact genoeg zijn om de verdringing van ruwvoer te schatten.

Volgens het Koemodel-2002 is een rantsoen de verdringingsgraad constant over het gehele traject van krachtvoergiften. Dat wil zeggen bij een lage krachtvoergift is de verdringing per kilogram krachtvoer even groot als bij een hoge krachtvoergift. Echter, de grootte van de verdringinggraad (SR) wordt bepaald door de verzadigingswaarde van het krachtvoer en verzadigingswaarde van het basisrantsoen.

$(SR = \text{VW}_{\text{krachtvoer}} / \text{VW}_{\text{basisrantsoen}})$

4.2.2 Verzadigingswaarden ruwvoerders

De verzadigingswaarde van ruwvoerders in het Koemodel-2002 wordt afhankelijk van het product bepaald door drogestof gehalte, ruw eiwit, ruwe celstof en/of VOS-gehalte. In het algemeen kan een toenemende verzadigingswaarde bij lage drogestofgehalten verband houden met een groter bulkvolume van het voer. Een koe moet bij een laag drogestofgehalte een groter volume verwerken, waardoor de opnamesnelheid en de hoeveelheid drogestof per hap voer kleiner zijn. Het drogestofgehalte kan ook verband houden het conserveringsproces. Natte producten met een relatief hoog ruw eiwitgehalte zijn moeilijker te conserveren, vaak omdat in dergelijke gevallen het suikergehalte laag is. Producten met een hoog drogestof gehalte zijn ook moeilijker te conserveren, mogelijk omdat het fermentatieproces langzaam op gang komt. Droge kuilen hebben vaak een slechte stabiliteit en zijn gevoeliger voor broei. In het bijzonder voor snijmaïs geldt dat een hoog drogestofgehalte verband kan houden met een sterk verouderd gewas en een afgenomen plantverteerbaarheid. Met het drogestofgehalte worden indirect deze factoren ook meegenomen.

Toenemende verzadigingswaarden bij lage ruw eiwitgehalten kan verband houden met een tekort aan onbestendig eiwit in de pens waardoor de groei van celwandafbrekende microben wordt beperkt met als gevolg dat de verdwijning van deeltjes uit de pens kan worden vertraagd.

Het ruwe celstofgehalte in ruwvoer is mogelijk indirect een maat voor de verkleining, verteerbaarheid en uiteindelijk de verdwijning van deeltjes uit de pens. Toenemende verzadigingswaarden bij hoge ruwe celstofgehalten kunnen het gevolg zijn van een langzamere verkleining van voerdeeltjes waardoor de voeropname wordt geremd (bijvoorbeeld graskuil, luzernekuil en rode klaverkuil). Een toenemende verzadigingswaarde bij lage ruwe celstofgehalten (bijvoorbeeld vers gras) kan het gevolg zijn van een gebrek aan structuur.

Het gehalte aan verteerbare organische stof kan indirect een maat zijn voor de afbraak, en afbraaksnelheid en verdwijning van voer uit de pens en daarmee voor de pensvulling.

4.2.3 Graslandproducten

De verzadigingswaarden van graskuil is afhankelijk van droge stof, ruw eiwit en ruwe celstof. Het suikergehalte wordt vaak geassocieerd met smakelijkheid. Het opnemen van de parameters van het suikergehalte in plaats van de parameters voor het ruw eiwit gehalte in het model voor de verzadigingswaarde van graskuil, had een slechtere fit tot gevolg. Wanneer de parameters voor zowel suikergehalte als ruw eiwit in het model werden opgenomen resulteerde dit in niet-significante parameterschattingen voor het suikergehalte. Waarschijnlijk komt dit omdat het suikergehalte sterk is gecorreleerd met het drogestofgehalte en ruweiwitgehalte. Daarom is besloten ruw eiwit als verklarende variabele in het model voor de verzadigingswaarde van graskuil op te nemen in plaats van het suikergehalte.

De verzadigingswaarde van vers gras wordt bepaald door ruwe celstof en verteerbare organischestoffactoren die kunnen worden gerelateerd aan de verkleining, afbraaksnelheid en verdwijning van deeltjes uit de pens.

In het Deense Koemodel (Kristensen and Ingvarsen, 1986) wordt de vulwaarde gecorrigeerd voor het aandeel vlinderbloemigen. Het klaveraandeel is positief gecorreleerd met het ruweiwitgehalte en negatief met het ruwecelstofgehalte. Daarom is geen onderscheid gemaakt maken tussen vers gras (overwegend Engels raagras) en verse gras/klavermengels en ook niet tussen graskuil en ingekuilde gras/klaver. Dit heeft ook een praktisch voordeel, het blijkt in de praktijk namelijk onmogelijk om een goede inschatting te maken van het klaveraandeel in de drogestof opbrengst. Daarnaast worden in de praktijk vaak meerdere percelen met een verschillend klaveraandeel tegelijk ingekuild, zodat het onmogelijk is om een goede inschatting te maken van het klaveraandeel in de kuil.

4.2.4 *Snijmaïskuil en MKS*

De verzadigingswaarde van snijmaïs is afhankelijk van het drogestofgehalte en het gehalte aan VOS. Het verband tussen drogestofgehalte en verzadigingswaarde is curvilineair. Er is sprake een optimum drogestofgehalte tussen de 32 en 35% drogestof. Dat wil zeggen in dit traject is de verzadigingswaarde het laagst en dus de opname het hoogst. Dit is in overeenstemming met de bevindingen van Phipps et al. (2000). De afnemende verzadigingswaarde bij toenemende VOS-gehalten is mogelijk een gevolg van een snellere verdwijning van deeltjes uit de pens. Een hoog VOS-gehalte is ook geassocieerd met een hoog kolfaandeel. Het VOS-gehalte varieert weinig onder invloed van het rijpheidstadium. Een afnemende plantverteerbaarheid wordt gecompenseerd door een hoger zetmeelgehalte in de plant. Een alternatief model voor de verzadigingswaarde van snijmaïs waarin zowel VOS als ruwe celstof als verklarende variabelen voor de verzadigingswaarde waren opgenomen resulteerde in slecht verklaarbare verbanden, waarbij ruwecelstofgehalte negatief en VOS-gehalte positief was gerelateerd met de verzadigingswaarde. Een alternatief model met ruwe celstofgehalte in plaats van VOS-gehalte gaf geen betere voorspelling van de drogestofopname. Daarom is besloten in het model voor de verzadigingswaarde van snijmaïs alleen drogestof en VOS op te nemen als verklarende variabelen. De verzadigingswaarde van MKS neemt lineair af met drogestofgehalte. Hogere drogestofgehalten in MKS houden mogelijk verband met hogere zetmeel- en VOS-gehalten en een lager ruwe celstofgehalte. Mogelijk neigen de eigenschappen van droge MKS meer naar krachtvoer dan naar ruwvoer.

4.2.5 *Triticale-GPS*

De verzadigingswaarde van triticale-GPS is afhankelijk van het ruwecelstofgehalte. Bij hogere ruwecelstofgehalten neemt de verzadigingswaarde toe. Het ruwe celstofgehalte van triticale-GPS is positief gecorreleerd met het drogestofgehalte en negatief gecorreleerd met het zetmeelgehalte en het VOS-gehalte. Een hoog ruwe celstofgehalte kan mogelijk indicatief zijn voor een overrijp gewas. Het ruwecelstofgehalte in ruwvoer is mogelijk indirect een maat voor de verkleining, verteerbaarheid en uiteindelijk de verdwijning van deeltjes uit de pens.

4.2.6 *Luzerne- en rode klaverkuil*

Voor luzernekuil en rode klaverkuil is één model voor de verzadigingswaarde afgeleid. Afzonderlijke modellen voor luzerne en rode klaver leverden vrijwel identieke parameterschattingen op. Gezien de aard van deze producten, zowel wat betreft plantmorfologie als de chemische samenstelling, is uit overwegingen van eenvoud gekozen voor één model. De verzadigingswaarde van luzerne en rode klaver wordt bepaald door het drogestofgehalte en het ruwecelstofgehalte.

4.2.7 *Natte bijproducten, voederbieten, geplette tarwe*

De dataset bevatte geen of onvoldoende bruikbare gegevens om schattingen te geven van de verzadigingswaarden van de belangrijkste natte bijproducten te weten perspulp, bierbostel, aardappelpersvezel en maïsglutenvoer. Daarom zijn de verzadigingswaarden van deze producten afgeleid van literatuurgegevens afkomstig van proeven met groepsvoeding. Het is belangrijk te vermelden dat het daarbij gaat om gegevens van één tot enkele proeven met perspulp, bierbostel, aardappelpersvezel en maïsglutenvoer. Het toepassen van deze verzadigingswaarden bij het voorspellen van de voeropname verdient daarom enige voorzichtigheid en oplettendheid van de gebruiker. Deze verzadigingswaarden hebben vooral een indicatieve waarde. Om te komen tot betere schattingen van de verzadigingswaarden van bijproducten zou bij voorkeur op meerdere onderzoekslocaties onderzoek moeten worden uitgevoerd naar de opname van bijproducten, dit om ongewenste verstrengelingen tussen rantsoen en locatie te voorkomen. Tevens zullen deze proeven ook een of meer controlegroepen moeten worden meegenomen met rantsoenen zonder bijproduct. Voor voederbieten is één vaste verzadigingswaarde geschat die onafhankelijk is van de samenstelling van de voederbieten. Ook voor geplette tarwe is één vaste verzadigingswaarde geschat die ook onafhankelijk is van de samenstelling. Dit is met name te wijten aan het feit dat er van zowel voederbieten als geplette tarwe een gering

aantal verschillende voerpartijen is gevoerd (één partij voederbieten en twee partijen geplette tarwe). De variatie in de chemische samenstelling was derhalve te klein voor het afleiden van modelparameters gerelateerd aan de chemische samenstelling. De verzadigingswaarden van zowel voederbieten als geplette tarwe zijn daarom als indicatief te beschouwen.

4.3 Voorspelnauwkeurigheid

De resultaten van de validatie geven aan dat het Koemodel-2002 een belangrijke verbetering geeft van de voorspelnauwkeurigheid vooral door een geringere gemiddelde bias. Het voeropnamemodel van het Koemodel-2002 geeft gemiddeld een zeer kleine overschatting van de ruwvoeropname van slechts 0,3 kg drogestof. De MSPE is daarom voornamelijk een gevolg van random variatie. De MSPE is gebaseerd op de voorspellingen van de opname van individuele koeien. De bijdrage van random variatie (random variatie tussen en binnen individuele koeien) aan de MSPE is relatief groot. Het verdient daarom de aanbeveling het model toe te passen voor het voorspellen van de opname van koeien die groepsgewijs worden gevoerd.

5 Toepassing voeropnamemodel in de praktijk

5.1 Implementatie door CVB

Het voeropnamemodel van het Koemodel-2002 is in augustus 2002 geïmplementeerd in CVB-verband. Dit betekent dat de rekenregels voor de opnamecapaciteit en verzadigingswaarden in CVB-verband zijn bediscussieerd en na acceptatie door de projectgroep "Voeropnamemodel Melkvee" zijn geaccordeerd. De verzadigingswaarden van de meest gangbare voedermiddelen zullen in de CVB-veevoedertabel worden opgenomen.

5.2 Berekenen voeropname met Koemodel-2002

5.2.1 Benodigde invoer

Voor het berekenen van de voeropname is de zijn de volgende dier- en voergegevens nodig als invoer:

De diergegevens:

- 1) Lactatienummer
- 2) Aantal dagen na afkalven
- 3) Aantal dagen drachtig
- 4) Ras
- 5) Krachtvoeropname (optioneel)

De benodigde voergegevens zijn:

- 1) Voederwaardeanalyse (drogestof, ruw eiwit, ruwe celstof, ruw as, verteringscoëfficiënt van de organische stof)
- 2) Voergift van beperkt verstrekte voeders (kg drogestof dier/dag) (optioneel)

5.2.2 Voeropnamecapaciteit

Met de invoer van de diergegevens kan de VOC worden berekend. Dit kan bijvoorbeeld geautomatiseerd gebeuren via koppeling van de gegevens van individuele dieren uit een managementsysteem. Met vergelijking 18 (zie ook bijlage 5) kan de VOC worden berekend. In tabel 11 staan voor een aantal lactatiestadia en lactatienummers de berekende VOC gegeven.

Tabel 11 Berekende VOC bij verschillende lactatiestadia van Holstein-Friesian koeien met een verschillend lactatienummer bij een tussen kalftijd 365 dagen (conceptie dag op 90 van de lactatie)

Dagen in lactatie	1 ^{ste} lactatie	2 ^{de} lactatie	3 ^{de} lactatie	> 3 ^{de} lactatie
15	10,3	13,1	13,9	14,2
30	11,6	14,5	15,3	15,6
90	13,3	15,9	16,6	16,9
150	13,8	15,8	16,4	16,6
240	14,1	15,6	16,0	16,1

5.2.3 Correctie voeropnamecapaciteit voor afwijkende omstandigheden

Het Koemodel-2002 is gebaseerd op gegevens afkomstig van Holstein-Friesian met een hoge genetische aanleg voor melkproductie en gehouden onder goede productieomstandigheden. Echter in de praktijk kunnen zich situaties voordoen waarbij de productieomstandigheden afwijken, bijvoorbeeld wanneer er sprake is van een ander veeras dan HF of er sprake is van suboptimale situaties in de huisvesting, beweiding etc. Het is mogelijk om de VOC te corrigeren met een correctiefactor C (zie vergelijking 30). Het is aan de gebruiker van het model in te schatten hoe groot deze correctiefactor moet zijn.

$$VOC(a, d, g) = \left[\left\{ 8.0838 + 3.2956(1 - e^{-1.258a}) \right\} e^{0.3983(1 - e^{-0.05341d})} \right] (1 - 0.06907(\frac{g}{220})) \times C \quad (\text{vergelijking 30})$$

Waarin:

C = Correctiefactor voor afwijkende productieomstandigheden

a = Lactatienummer

d = Dagen in lactatie

g = Dagen drachtig

Ter illustratie is in tabel 12 voor koeien met verschillende lactatienummers en lactatiestadia de VOC berekend, waarbij de correctiefactor C op 0,9 is gesteld.

Tabel 12 Berekende VOC bij verschillende lactatiestadia van koeien, met een verschillend lactatienummer bij een tussenkalf tijd 365 dagen (conceptie op dag 90 van de lactatie), gecorrigeerd met een factor C van 0,9

	1 ^{ste} lactatie	2 ^{de} lactatie	3 ^{de} lactatie	>3 ^{de} lactatie
15	9,3	11,8	12,5	12,7
30	10,4	13,1	13,8	14,1
90	12,0	14,3	15,0	15,2
150	12,4	14,2	14,8	15,0
240	12,7	14,0	14,4	14,5

5.2.4 Verzuigingswaarde

De verzuigingswaarden van ruwvoer en krachtvoer worden berekend met de vergelijkingen gegeven in bijlage 5. Gedemonstreerd met de chemische samenstelling van snijmaïskuil, graskuil, tritcale-GPS en mengvoer zoals gegeven in tabel 13 resulteert dit in:

$$VW_{\text{snijmaïskuil}} = e^{(-2.1658 \times 10^{-1} - 2.737 \times 10^{-3}(\text{DS\%} - 33) + 2.962 \times 10^{-3}(\text{DS\%} - 33)^2 - 5.59 \times 10^{-4}(\text{VOS} - 695))}$$

$$VW_{\text{snijmaïskuil}} = e^{(-2.1658 \times 10^{-1} - 2.737 \times 10^{-3}(33 - 33) + 2.962 \times 10^{-3}(33 - 33)^2 - 5.59 \times 10^{-4}(705 - 695))}$$

$$VW_{\text{snijmaïskuil}} = 0,80$$

$$VW_{\text{graskuil}} = e^{(-1.613 \times 10^{-3}(\text{DS\%} - 45) + 9.91 \times 10^{-5}(\text{DS\%} - 45)^2 - 3.321 \times 10^{-4}(\text{RE} - 170) + 1.551 \times 10^{-3}(\text{RC} - 240))}$$

$$VW_{\text{graskuil}} = e^{(-1.613 \times 10^{-3}(50 - 45) + 9.91 \times 10^{-5}(50 - 45)^2 - 3.321 \times 10^{-4}(175 - 170) + 1.551 \times 10^{-3}(235 - 240))}$$

$$VW_{\text{graskuil}} = 0,99$$

$$VW_{\text{tritcale GPS}} = e^{(-1.132 \times 10^{-1} + 5.216 \times 10^{-3}(\text{RC} - 283))}$$

$$VW_{\text{tritcale GPS}} = e^{(-1.132 \times 10^{-1} + 5.216 \times 10^{-3}(284 - 283))}$$

$$VW_{\text{tritcale GPS}} = 0,90$$

$$VW_{\text{krachtvoer}} = e^{(-1.1483 + 1.335 \times 10^{-3}(\text{RC} - 140))}$$

$$VW_{\text{krachtvoer}} = e^{(-1.1483 + 1.335 \times 10^{-3}(140 - 140))}$$

$$VW_{\text{krachtvoer}} = 0,32$$

Tabel 13 Chemische samenstelling, voederwaarde en berekende verzadigingswaarde (VW) van enkele voorbeeld voeders. (Gehalten in g/kg drogestof, tenzij anders aangegeven)

	Snijmaïs	Graskuil	Triticale-GPS	Mengvoer
Drogestof (%)	33	50	42,3	89,0
Ruw eiwit	77	175	73	235
Ruwe celstof	191	235	284	140
Ruw as	48	100	43	68
Suiker	0	70	0	75
Zetmeel	355	0	261	180
VCOS %	74,1	77,7	59,3	81,0
VOS	705	699	568	755
FOS	485	577	435	540
VEM	933	910	693	1040
DVE	45	82	22	136
OEB	-26	40	-4	35
VW (/kg ds)	0,80	0,99	0,90	0,32

5.2.5 Begrenzing verzadigingswaarde

Het Koemodel-2002 is gecalibreerd op basis van een groot aantal datasets waarin de chemische samenstelling en voederwaarde over een breed traject varieert. Echter, het is in de praktijk mogelijk dat de gehalten van de voercomponenten buiten het traject van de calibratiedataset liggen. Zekerheidshalve dient daarom de berekende verzadigingswaarde van een voedermiddel begrenst te blijven tussen de minimum- en maximumwaarden zoals gegeven in Tabel 14.

Tabel 14 Minimum en maximumwaarden van de waarbinnen de verzadigingswaarde van voedermiddelen begrensd dient te blijven

	Gemiddeld	Minimum	Maximum
Graskuil	1,0067	0,9091	1,1612
Snijmaïskuil	0,8335	0,7862	1,0426
Vers gras	0,9264	0,8845	1,0991
MKS	0,7445	0,6477	0,8218
Droog krachtvoer/mengvoer	0,3547	0,2866	0,3953
Graan-GPS	0,8948	0,7557	1,0718
Luzernekuil/Rode klaverkuil	0,9607	0,9144	1,0304

5.2.6 Berekenen voeropname

De voorspellingen van de voeropname zullen doorgaans worden gebruikt om de effecten van veranderingen in het rantsoen te berekenen. Bijvoorbeeld in het geval dat een veehouder een nieuwe graskuil aanbreekt waarvan deze een langere periode gaat voeren. Het is dan nuttig om in te schatten wat de effecten hiervan zullen zijn op de totale nutriëntenopname. Indien nodig kan de krachtvoersamenstelling of hoeveelheid krachtvoer in het rantsoen worden aangepast. Een ander voorbeeld is een veehouder die de snijmaïskuil in het rantsoen wil vervangen door triticale-GPS.

5.2.6.1 Berekenen totale drogestofopname

Wanneer een veehouder een totaal gemengd rantsoen voert is het van belang om te weten wat de totale drogestof opname van het verstrekte rantsoen is. De totale drogestof opname wordt berekend door de VOC te delen door de gemiddelde verzadigingswaarde (VW) van het rantsoen. Voor twee voorbeeldrantsoenen is in tabel 15 de berekeningswijze van de verzadigingwaarde gegeven.

Tabel 15 Voorbeeld berekening van de verzadigingswaarde van totaal gemengde rantsoenen

Rantsoen voor hoogproductief melkvee (<100 dagen in lactatie)				
	Aandeel % van drogestof	Verzadigingswaarde		
Graskuil	30	0,99	$30 \times 0,99 / 100 =$	0,30
Snijmaïskuil	30	0,80	$30 \times 0,80 / 100 =$	0,24
Krachtvoer	40	0,32	$40 \times 0,32 / 100 =$	0,13
Gemiddeld rantsoen				0,67
Rantsoen voor laagproductief melkvee (>100 dagen in lactatie)				
	Aandeel % van drogestof	Verzadigingswaarde		
Graskuil	50	0,99	$50 \times 0,99 / 100 =$	0,50
Snijmaïskuil	20	0,80	$20 \times 0,80 / 100 =$	0,16
Krachtvoer	20	0,32	$20 \times 0,32 / 100 =$	0,06
Gemiddeld rantsoen				0,72

Wanneer wordt uitgegaan van de VOC zoals die is gegeven in Tabel 11 en de rantsoenen zoals gegeven in tabel 15 kan de totale drogestofopname (TDSO) worden berekend als:

TDSO = VOC / gemiddelde verzadigingswaarde van het rantsoen (zie Tabel 16).

Tabel 16 Berekenende totale drogestofopname (kgds/dag/koe) van Holstein-Friesian koeien met een verschillend lactatienummer en bij verschillende lactatiestadia met een tussenkalf tijd 365 dagen (conceptie op dag 90 van de lactatie)

Dagen in lactatie	1 ^{ste} lactatie	2 ^{de} lactatie	3 ^{de} lactatie	> 3 ^{de} lactatie
Hoogproductief				
15	$10,3 / 0,67 = 15,4$	$13,1 / 0,67 = 19,6$	$13,9 / 0,67 = 20,7$	$14,2 / 0,67 = 21,2$
30	$11,6 / 0,67 = 17,3$	$14,5 / 0,67 = 21,6$	$15,3 / 0,67 = 22,8$	$15,6 / 0,67 = 23,3$
90	$13,3 / 0,67 = 19,9$	$15,9 / 0,67 = 23,7$	$16,6 / 0,67 = 24,8$	$16,9 / 0,67 = 25,2$
Laagproductief				
150	$13,8 / 0,72 = 19,2$	$15,8 / 0,72 = 21,9$	$16,4 / 0,72 = 22,8$	$16,6 / 0,72 = 23,1$
240	$14,1 / 0,72 = 19,6$	$15,6 / 0,72 = 21,7$	$16,0 / 0,72 = 22,2$	$16,1 / 0,72 = 22,4$

5.2.6.2 Berekenen ruwvoeropname

In de praktijk wordt vaak het krachtvoer apart verstrekt in de melkstal of met voerautomaten. Meestal wordt daarbij uitgegaan van een krachtvoergift op basis van melkproductie of vaste krachtvoerschema's. Een voorbeeld van een krachtvoerschema is gegeven in Tabel 17. De ruwvoeropname kan worden berekend door de VOC, verminderd met de krachtvoergift vermenigvuldigd met de verzadigingswaarde van het krachtvoer, te delen door de gemiddelde verzadigingswaarde van het ruwvoer (zie vergelijking 29). In Tabel 18 is een voorbeeldberekening gegeven van de gemiddelde verzadigingswaarde van twee basisrantsoenen. In Tabel 19 is de ruwvoeropname berekend voor de rantsoenen zoals vermeld in Tabel 18 gevoerd aan koeien met een opnamecapaciteit zoals gegeven in tabel 11, verminderd met de krachtvoergiften uit Tabel 17 vermenigvuldigd met een verzadigingswaarde van 0,32 (VOC – krachtvoergift $\times$ 0,32).

Tabel 17 Krachtvoerschema (kg drogestof per dag) bij verschillende lactatiestadia van koeien, met verschillend lactatienummer

Dagen in lactatie	1 ^{ste} lactatie	2 ^{de} lactatie	3 ^{de} lactatie	> 3 ^{de} lactatie
15	6	7	7	7
30	9	11	11	11
90	9	11	11	11
150	6	7	7	7
240	3	4	4	4

Tabel 18 Voorbeeld berekening van de verzadigingswaarde van een ruwvoermengsel

Rantsoen hoogproductief melkvee (<100 dagen in lactatie)					
	Aandeel % van drogestof	Verzadigingswaarde			
Graskuil	50	0,99	$50 \times 0,99 / 100 =$		0,50
Snijmaïskuil	50	0,80	$50 \times 0,80 / 100 =$		0,40
Gemiddeld rantsoen					0,90
Rantsoen laagproductief melkvee (>100 dagen in lactatie)					
	Aandeel % van drogestof	Verzadigingswaarde			
Graskuil	70	0,99	$70 \times 0,99 / 100 =$		0,70
Snijmaïskuil	30	0,80	$30 \times 0,80 / 100 =$		0,24
Gemiddeld rantsoen					0,94

Tabel 19 Berekenende ruwvoeropname (kg ds) bij verschillende lactatiestadia van koeien, met een verschillend lactatienummer en twee basisrantsoenen. Hierbij is uit gegaan van de VOC zoals vermeld in Tabel 11 verminderd met krachtvoergiften uit Tabel 17 vermenigvuldigd met een verzadigingswaarde 0,32 ($VOC - \text{krachtvoergift} \times 0,32$) en de verzadigingswaarde van de basisrantsoenen zoals vermeld in Tabel 18

Dagen in lactatie	1 ^{ste} lactatie	2 ^{de} lactatie	3 ^{de} lactatie	> 3 ^{de} lactatie
Hoogproductief				
15	$8,5 / 0,90 = 9,4$	$10,9 / 0,90 = 12,1$	$11,7 / 0,9 = 13,0$	$12,0 / 0,90 = 13,3$
30	$8,7 / 0,90 = 9,7$	$11,0 / 0,90 = 12,3$	$11,8 / 0,90 = 13,2$	$12,1 / 0,90 = 13,4$
90	$10,4 / 0,90 = 11,6$	$12,4 / 0,90 = 13,8$	$13,1 / 0,9 = 14,6$	$13,4 / 0,90 = 14,9$
Laagproductief				
150	$11,9 / 0,94 = 12,7$	$13,6 / 0,94 = 14,5$	$14,2 / 0,94 = 15,2$	$14,4 / 0,94 = 15,3$
240	$13,1 / 0,94 = 14,1$	$14,3 / 0,94 = 15,4$	$14,7 / 0,94 = 15,7$	$14,8 / 0,94 = 15,7$

5.2.7 Beweiding

De voeropname zoals die wordt berekend geldt alleen voor situaties met een onbeperkt aanbod van ruwvoer. De met het Koemodel-2002 voorspelde grasopname geldt alleen bij een ruim aanbod (tenminste 1700 kg drogestof per hectare boven 5 cm stoppelhoogte) van schoon (etgroen) weidegras. Onder beweidingsomstandigheden is soms niet altijd sprake van een "onbeperkt" aanbod van schoon weidegras. Bij de bepaling van het eetbare aanbod van weidegras dient rekening te worden gehouden met:

- 1) Grasaanbod in kg drogestof per dier per dag en drogestof per hectare
- 2) Het aantal herhaalde beweidingen op het perceel
- 3) Beweidingsduur van het perceel in dagen
- 4) Beperkt weiden met bijvoeding van ruwvoer

Ad 1) Grasaanbod in kg drogestof per dier per dag en kg drogestof per hectare

De grasopname bij beweiding is afhankelijk van de hapgrootte (gram drogestof per hap), het aantal happen per tijdseenheid en de graasduur. De hapgrootte is afhankelijk van het grasaanbod. Het grasaanbod wordt vaak uitgedrukt in kilogrammen drogestof per dier per dag. Echter, het drogestof aanbod in kg drogestof per dier per dag, alleen is niet voldoende om inzicht te krijgen in de hapgrootte. Wanneer een dier een grote oppervlakte met een lage drogestof opbrengst per hectare (kort gras, holle zode) krijgt aangeboden, is de hapgrootte kleiner dan wanneer een kleinere oppervlakte met een hoge drogestof opbrengst wordt aangeboden. Bij een gelijke vreetduur en hapfrequentie zal de drogestofopname bij een lage drogestof opbrengst per hectare lager zijn dan wanneer wordt ingeschaard bij een hoge drogestofopbrengst. Wanneer koeien een heterogene grasmat krijgen aangeboden, bijvoorbeeld met veel bossen en/of een grote variatie in botanische samenstelling zal er meer selectief graasgedrag plaatsvinden. Selectief grazen kan een negatieve invloed hebben op de hapgrootte en de hapfrequentie. De koeien moeten immers meer zoeken naar smakelijk gras.

Ad 2) Het aantal herhaalde beweidingen per perceel

Van schoon gras (etgroen) wordt meer opgenomen dan van gras dat eerder beweid is geweest. Koeien weigeren het gras rondom de mestflatten. Wanneer tijdens een voorgaande beweiding de zode niet goed is kaal gevreten bevat de grasmat bij een herhaalde beweiding meer oud of afgestorven materiaal. Dit heeft een negatief effect op

de opname. De grasopname ligt bij herhaalde beweiding ongeveer 5 tot 10% lager dan bij beweiding op schoon grasland.

Ad 3) Beweidingsduur per perceel

Bij een omweidingssysteem is het een bekend verschijnsel dat de grasopname geleidelijk afneemt naar de beweidsperiode langer is. Dit heeft te maken met het feit dat het aanbod afneemt. Op de eerste dag is het aanbod groter dan op de laatste dag. Bovendien neemt het aantal mestflaten in het perceel toe en daarmee ook de grootte van de totale oppervlakte bossen in een perceel. Naarmate de beweidsduur per perceel langer is wordt het nadelige effect op de opname groter omdat de heterogeniteit van een perceel groter wordt en de dieren meer selectief gaan grazen. Bij een omweidingssysteem neemt na de eerste dag de grasopname met ongeveer 2% per dag af. Bij een korte omweidsduur zal dus per beweiding een gemiddeld hogere opname worden gerealiseerd dan bij een lange omweidsduur.

Ad 4) Beperkt weiden met bijvoeding van ruwvoer

Tegenwoordig passen veel veehouders een vorm van beperkte beweiding toe, waarbij de toegang de weide is beperkt tot een deel van de dag terwijl gedurende de rest van de dag ruwvoer wordt bijgevoerd. Wanneer melkkoeien 8 tot 10 uur weidegang bij een ruim aanbod van kwalitatief goed weidegras krijgen wordt maximaal 5 tot 6 drogestof uit ruwvoerbijvoeding opgenomen. Pas wanneer de toegang verder wordt beperkt of als het aanbod en de kwaliteit van het weidegras laag is dan kunnen hogere opnamen dan 6 kg drogestof/dier uit ruwvoerbijvoeding mogelijk zijn.

Wanneer in een beweidsituatie geen onbeperkt aanbod is van schoon gras dan kan hiervoor gecorrigeerd worden op de VOC door middel van correctiefactor C, op een vergelijkbare wijze zoals wordt gecorrigeerd voor afwijkende productieomstandigheden. In tabel 20 is een rekenvoorbeeld uitgewerkt. In dit voorbeeld is uitgegaan van 1^{ste}, 2^e, 3^e en 4^e kalfskoeien die 90 dagen in lactatie zijn. Er wordt 5 kg drogestof snijmaïs bijgevoerd met een verzadigingswaarde van 0,8 en 3,5 kg drogestof krachtvoer met een verzadigingswaarde van 0,32. Er wordt uitgegaan van vers gras met een verzadigingswaarde van 0,9.

Tabel 20 Voorbeeld berekening voor het berekenen van de drogestofopname van weidegras

Dagen in lactatie	1 ^{ste} lactatie	2 ^{de} lactatie	3 ^{de} lactatie	> 3 ^{de} lactatie
VOC (a)	13,3	15,9	16,6	16,9
VW krachtvoer (3,5 kg ds) (b)	1,1	1,1	1,1	1,1
VW snijmaïs (5 kg ds) (c)	4,0	4,0	4,0	4,0
a-b-c	8,2	10,8	11,5	11,8

Drogestofopname weidegras (kg ds/dag)

Onbeperkt schoon gras (VW=0,9)	$8,2/0,9=9,1$	$10,8/0,9=12,0$	$11,5/0,9=12,8$	$11,8/0,9=13,1$
--------------------------------	---------------	-----------------	-----------------	-----------------

Drogestofopname weidegras (kg ds/dag) bij verschillende correctiefactoren

Herhaalde beweiding (C = 0,95)	8,4	11,1	11,8	12,2
Beperkt aanbod (C=0,9)	7,6	10,2	10,9	11,2

Ook is het mogelijk om te kiezen voor een andere benadering, waarbij de veehouder op basis van ervaring of op door het aanbieden van een afgestemde hoeveelheid gras (stripgrazen, rantsoenbeweiding) een schatting van de grasopname geeft. De vrijwillige opname van onbeperkt verstrekte bijvoeding kan berekend worden door de geschatte drogestof opname vermenigvuldigd met de verzadigingswaarde van het gras af te trekken van de VOC. Het is belangrijk op te merken dat de gegeven handvatten voor correctie van de VOC voor beweidsomstandigheden indicatief zijn. Onder praktijkomstandigheden kunnen deze sterk variëren afhankelijk van de weersomstandigheden, grondsoort en bemestingsniveau. De gebruiker van het model dient daar rekening mee te houden.

Literatuur

- Bibby, J., and H. Toutenberg. 1977. Prediction and improvement estimation in linear models John Wiley & Sons, London, UK.
- Buckley, F., P. Dillon, M. Rath, and V.R. F. 2000. The relationship between genetic merit for yield and live weight, condition score, and energy balance of spring calving Holstein Friesian dairy cows on grass based systems of milk production. *Journal of Dairy Science* 83:1878-1886.
- Conrad, H.R., A.D. Pratt, and J.W. Hibbs. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows 1. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *Journal of Dairy Science* 47:54-62.
- Friggans, N.C., G.C. Emmans, I. Kyriazakis, J.D. Oldham, and M. Lewis. 1998. Feed intake relative to stage of lactation for dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ratio of concentrate to forage. *Journal of Dairy Science* 81:2228-2239.
- Fuentes-Pila, J., M.A. DeLorenzo, D.K. Beede, C.R. Staples, and J.B. Holter. 1996. Evaluation of equations based on animal factors to predict intake of lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 79:1562-1571.
- Garnsworthy, P.C., and J.H. Topps. 1982. The effect of body condition of dairy cows at calving on their food intake and performance when given complete diets. *Animal Production* 35:113-119.
- Garnsworthy, P.C., and G.P. Jones. 1987. The influence of body condition at calving and dietary protein supply on voluntary food intake and performance in dairy cows. *Animal Production* 44:347-353.
- Garnsworthy, P.C., and G.P. Jones. 1993. The effects of dietary fibre and starch concentrations on the response by dairy cows to body condition at calving. *Animal Production* 57:15-21.
- Genstat Committee Institute for Arable Crops Research Harpenden. 1998. Genstat 5 release 4.22 fifth edition. Release 4.1 fourth edition. Genstat Committee Institute for Arable Crops Research Harpenden, Rothamsted UK.
- Ingvartsen, K.L. 1992. A system for the prediction of voluntary feed intake in growing cattle and use of feed intake to monitor performance. PhD Thesis, The Royal Agricultural and Veterinarian University, Copenhagen, Copenhagen, Denmark.
- Ingvartsen, K.L. 1994. Models of voluntary food intake in cattle. *Livestock Production Science* 39:19-38.
- Ingvartsen, K.L., and J.B. Andersen. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science* 83:1573-1597.
- Jarrige, R., C. Demarquilly, J.P. Dulphy, A. Hoden, J. Robelin, C. Beranger, Y. Geay, M. Journet, C. Malterre, D. Micol, and M. Petit. 1986. The INRA "fill unit" system for predicting the voluntary intake of forage-based diets in ruminants: a review. *Journal of Animal Science* 63:1737-1758.
- Kristensen, V.F., and K.L. Ingvartsen. 1986. Prediction of feed intake, p. 157-181, in A. Nieman-Sørensen, ed. New developments and future perspectives in research on rumen function. Proceedings CEC Seminar June 25-27, 1985. Research Centre Foulum, Denmark, Foulum, Denmark.
- NRS. 2002. NRS Jaarstatistieken 2001. CR-Delta, Arnhem, the Netherlands.
- Oldenbroek, J.K. 1989. Parity effects on feed intake and feed efficiency in four dairy breeds fed ad libitum two different diets. *Livestock Production Science* 21:115-129.
- PDV. 1999. Onderzoeksmethoden voor diervoeder van het productschap voor Diervoeder. Productschap voor Diervoeder, 's-Gravehage, Nederland.
- Phipps, R.H., J.D. Sutton, D.E. Beever, and A.K. Jones. 2000. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows 3. Food intake and milk production. *Animal Science* 71:401-409.
- Rook, A.J., M. Gill, R.D. Willink, and S.J. Lister. 1991. Prediction of voluntary intake of grass silages by lactating cows offered concentrates at a flat rate. *Animal Production* 52:407-420.
- Roseler, D.K., D.G. Fox, A.N. Pell, and L.E. Chase. 1997. Evaluation of alternative equations for prediction of intake for Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 80:864-877.
- Rotz, C.A., D.R. Mertens, D.R. Buckmaster, M.J. Allen, and J.H. Harrison. 1999. A dairy herd model for use in whole farm simulations. *Journal of Dairy Science* 82:2826-2840.
- Thomas, C. 1986. Factors affecting substitution rates in dairy cows on silage based rations.
- Tilley, J.M., and R.E. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society* 18:104-111.
- Veerkamp, R. 1998. Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: a review. *Journal of Dairy Science* 81:1109-1119.
- Zom, R.L.G., R.G.M. Meijer, and G. André. 2002a. Development of a model for the prediction of feed intake and simulation of production by dairy cows 1. A new concept for a dairy cow-model. Submitted.
- Zom, R.L.G., R.G.M. Meijer, and G. André. 2002b. Development of a model for the prediction of feed intake and simulation of production by dairy cows 2. Prediction of feed intake. Submitted.

Bijlagen

Bijlage 1 Parameterschattingen Koemodel-1999

Resultaten parameter schatting voeropnamecapaciteit (vergelijking 2)

Parameter	Schatting	Standard error
α_0	8,561	0,164
α_1	2,689	0,0653
ρ_α	0,7909	0,0225
β	0,3545	0,0187
ρ_β	0,06092	0,00334

Gemiddelde samenstelling ruwvoeders

	drogestof	Ruw eiwit	ruwe celstof	Ruw as	vos
Graskuil	450	200	235	125	665
Snijmaïs	320	90	225	60	675
Gras	180	200	215	100	715

Resultaten parameter schatting verzadigingswaarde (vergelijking 3-7)

	Graskuil	Snijmaïs	Gras	Krachtvoer
Par.	Schatting se	schatting se	schatting se	schatting se
C	λ_{p0}	$-3,117 \times 10^{-1}$ $1,22 \times 10^{-2}$	$-1,0405 \times 10^{-1}$ $5,74 \times 10^{-3}$	$-1,0177$ $,0194$
ds	λ_{p11}	$-3,32 \times 10^{-5}$ $2,7 \times 10^{-5}$	$-4,284 \times 10^{-3}$ $1,44 \times 10^{-4}$	
	λ_{p12}	$3,517 \times 10^{-6}$ $1,72 \times 10^{-7}$	$5,936 \times 10^{-5}$ $3,73 \times 10^{-6}$	
re	λ_{p21}	$1,668 \times 10^{-3}$ $1,19 \times 10^{-4}$		
	λ_{p22}	$3,36 \times 10^{-5}$ $2,74 \times 10^{-6}$		
rc	λ_{p31}	$3,595 \times 10^{-3}$ $1,09 \times 10^{-4}$	$4,96 \times 10^{-4}$ $1,72 \times 10^{-4}$	
	λ_{p32}	$5,327 \times 10^{-5}$ $3,28 \times 10^{-6}$		
ras	λ_{p41}		$1,548 \times 10^{-3}$ $4,22 \times 10^{-4}$	
	λ_{p42}		$-7,6 \times 10^{-5}$ $1,1 \times 10^{-5}$	
vos	λ_{p51}	$-1,509 \times 10^{-3}$ $2,22 \times 10^{-4}$	$-8,17 \times 10^{-4}$ $1,54 \times 10^{-4}$	
	λ_{p52}		$2,866 \times 10^{-5}$ $3,12 \times 10^{-6}$	

Bijlage 2 Samenvatting van experimenten in de calibratiedataset

Proef	Naam	Instituut	Locatie	Omschrijving
1	PR 2098 1	PR	Melkvee 2	Het effect van aminozuurniveau in rantsoenen voor hoogproductieve melkkoeien voor
hoogproductieve melkkoeien				
4	PR 3080	PR	Melkvee 3	Het effect van verdeling van snijmais- en grasgiffen over de dag
5	PR 3072	PR	Melkvee 3	Verschillende niveau's van krachtvoervervanging met MKS naast graskuil
6	PR 3070	PR	Melkvee 3	Verschillende niveaus van MKS bijvoeding naast gras
2	PR 2098 2	PR	Melkvee 2	Het effect van aminozuurniveau in rantsoenen voor hoogproductieve melkkoeien
3	PR 3086	PR	Melkvee 3	Het effect van aminozuurtoevoegingen aan rantsoenen
7	PR 3056	PR	Melkvee 3	De invloed van MKS en/of voederbieten in het rantsoen
9	Elanco	LUW	Minderhoudhoeve	Controlegroep voederproef Elanco
10	PR 5607	PR	Zegveld	Het effect van aminozuurtoevoegingen aan rantsoenen voor hoogproductieve melkkoeien
11	PR 1596 1	PR	Aver Heino	De opname van vers gemaaide grasklavermengsels
12	PR 1596 2	PR	Aver Heino	De opname van vers gemaaide grasklavermengsels in voor- en najaarsproef
13	PR 1596 3	PR	Aver Heino	De opname van vers gemaaide grasklavermengsels in voor- en najaarsproef
14	PR 1596 4	PR	Aver Heino	De opname van vers gemaaide grasklavermengsels in voor- en najaarsproef
15	PR 1612 5	PR	Aver Heino	De opname van ingekuilde grasklavermengsels in winterproef
16	PR 1612 6	PR	Aver Heino	De opname van ingekuilde grasklavermengsels in winterproef
17	PR 3633	PR	Cranendonck	Veevoedkundige waarde van tritcale als GPS
18	PR 1591	PR	Aver Heino	De opname van luzernesilage van twee maaistadia
19	PR 2101	PR	Melkvee 2	Het effect van verdeling van snijmais en gras over de dag
20	PR 3598 1	PR	Cranendonck	Opname en produktie bij jong en oud gemaaide luzernesilage
21	PR 3598 2	PR	Cranendonck	Opname en produktie bij jong en oud gemaaide luzernesilage
22	PR 4013	PR	Melkvee4	opnamemetingen hoogproductiebedrijf 1994-1997
23	PR 2591	PR	Bosma Zathe	Geplette tarwe in een rantsoen met uitsluitend graskuil
24	ID DATA2	ID-DLO	t Gen	Vaarzenproef CR-Delta
48	PR3633_98	PR	Cranendonck	De veevoedkundige waarde van tritcale als GPS
49	PR2101_98	PR	Melkvee 2	Het effect van verdeling van snijmais en gras over de dag
50	PR2113	PR	Melkvee 2	Melk ureumgehalte als management instrument
51	PR2122	PR	Melkvee 2	Melk ureumgehalte als management instrument
55	PR3633_99	PR	Cranendonck	De veevoedkundige waarde van tritcale als GPS
56	PR2591	PR	Bosma Zathe	Tarwe als krachtvoervervanger
57	PR5633_97	PR	Zegveld	Ureum als managementtool
58	PR5633_98	PR	Zegveld	Ureum als managementtool

Bijlage 3 Proefdetails

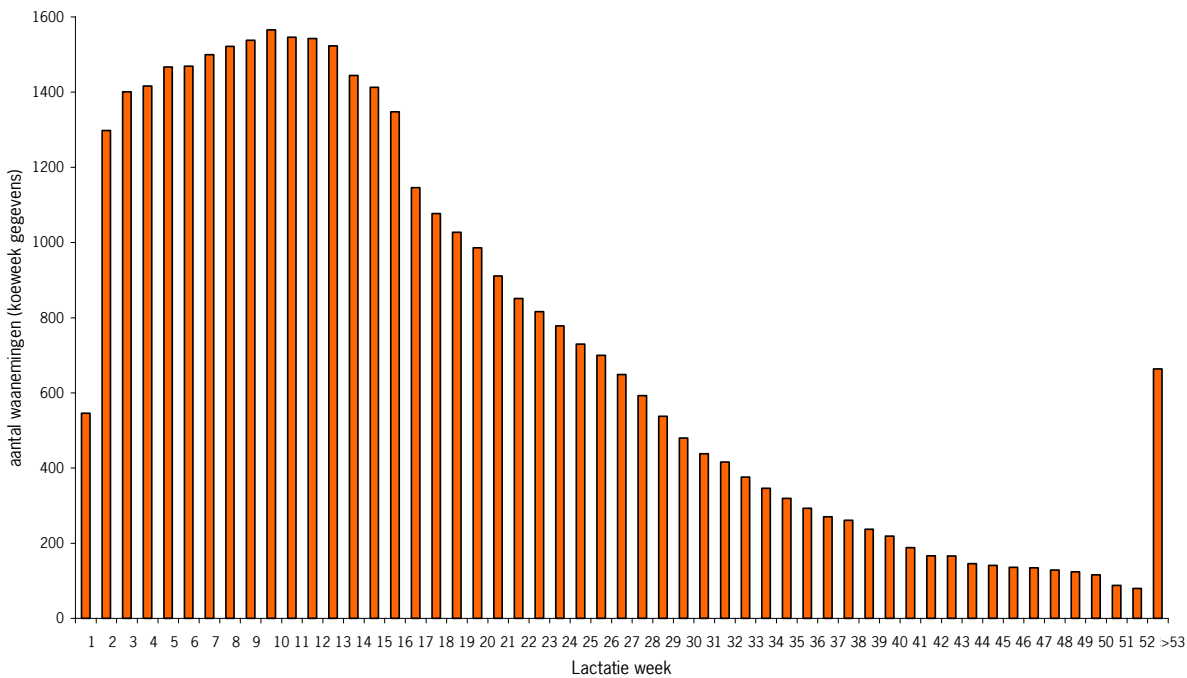
Drogestofopname (kg ds/dier/dag) proeven met
geconserveerd ruwvoer

Proef	Totaal	Krachtvoer
1	21,6	8,5
2	18,9	4,1
3	22,3	8,3
5	20,0	4,5
7	19,6	5,5
8	20,0	8,4
9	21,3	8,7
10	20,9	9,3
15	21,9	8,9
16	21,6	8,5
17	19,5	10,0
18	24,0	10,5
20	19,9	8,5
21	19,7	8,4
22	21,5	7,3
23	19,9	9,3
24	20,1	9,2
48	20,4	9,2
50	21,8	9,3
51	23,0	8,5
52	7,2	0,0
53	15,0	1,5
54	15,2	0,7
55	20,6	9,2
56	18,6	9,1
57	21,3	8,6
58	20,7	8,8

Drogestof opname (kg ds/dier/dag) proeven met vers gras
en verse grasklaver mengsels

Proef	Totaal	Krachtvoer
4	21,0	3,8
6	18,5	1,5
11	18,3	3,6
12	19,0	4,2
13	20,5	4,9
14	19,9	4,6
19	19,9	3,2
49	20,6	4,9

Verdeling van de waarnemingen over de lactatiestadia



Verdeling van de waarnemingen over lactatienummers

Lactatienummer	Aandeel (%)
1	31,7
2	26,3
3	17,3
4	11,1
5	6,4
>5	7,1

Bijlage 4 Chemisch samenstelling en voederwaarde voedermiddelen

Voer:	Graskuul				Gras/klaverkuil				Vers gras				verse gras/klaver				Snijmaïs			
	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.
Drogestof (%)	45,8	21,6	77,0	10,6	47,5	36,2	59,2	7,5	16,5	10,8	24,0	2,9	13,0	9,3	17,2	1,6	33,5	26,2	42,7	3,0
Ruw eiwit	172	109	241	31,3	190	178	208	9,7	182	89	277	41,9	218	169	303	29,8	81	56	112	8,2
Ruwe celstof	241	182	309	20,1	221	198	236	13,1	230	146	271	20,0	212	147	240	21,5	193	108	253	17,5
Ruw as	111	74	248	20,9	126	119	139	7,7	114	82	159	15,3	126	102	234	21,5	52	34	111	8,6
Ruw vet		34	54	5,4						29	59	7,6								
Zetmeel		20	20	0,0													325	177	478	39,2
Suiker	80	1	235	40,8	34	55	105	15,3	118	10	327	58,1	62	19	178	35,0				
VOS	674	580	762	29,4	693	662	710	17,2	704	606	801	35,8	705	620	759	26,2	692	618	765	23,0
VC-OS (%)	76,5	66,5	83,5	3,0	79,2	76,8	82,3	1,9	79,3	68,6	88,0	3,4	80,6	76,6	86,3	1,9	72,9	67,6	79,6	2,1
FOS	535	435	643	33,1	577	548	588	15,2	610	498	723	40,9	602	507	651	33	524	385	781	28,0
VEM	877	718	997	45,4	915	871	947	27,9	932	814	1104	58,6	951	858	1048	36,4	929	801	1033	36,1
DVE	71	31	88	9,4	78	68	86	6,7	91	72	113	9,9	99	88	119	7,4	46	33	62	4,1
OEB	44	-20	109	28,3	54	35	75	14,4	28	-53	116	35,7	58	19	131	25,8	-24	-43	-10	5,4
NDF	433	272	923	71,6	413	371	456	28,3	511	438	571	31,3	439	321	515	44,6	401	458	464	3,1
ADF	219	219	295	15,3	266	27	275	123,6	223	223	314	19,4	204	204	307	22,2		256	264	4,0
ADL	17	7	33	4,9	17	19	36	5,8	26	13	46	8,3	32	16	67	9,5				
#Celwand ¹	71				7				59				65				2			
Klaver (%)					30	10	40	12,1					39,7	10	80	21,7				
NH3 (%)	7	1	16	2,6	5,7	4	8	1,7												
Zand	25	6	97	18,1	10	7	14	2,8	24	2	61	10,4	18	6	119	18,6				

Voer:	MKS				Gedroogd gras				Triticale-GPS				Luzernekuil				Rode klaverkuil			
	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.
Drogestof (%)	54,3	44,4	64,6	5,8	88,2	83,8	92,3	1,7	39,6	31,5	43,8	4,4	31,7	24,1	42,5	4,8	36,3	27,7	45,0	8,7
Ruw eiwit	87	74	111	7,3	191	95	256	28,3	74	56	83	7,9	183	149	213	19,5	183	177	186	4,9
Ruwe celstof	77	54	107	13,9	203	145	256	31,1	281	251	318	21,2	275	213	326	34,0	210	192	224	16,3
Ruw as	23	18	49	4,8	115	85	207	16,1	51	40	104	16,7	145	109	254	30,6	152	140	166	13,1
Ruw vet		31	44	3,3																
Zetmeel	575	470	635	44,0					171	64	231	59,9								
Suiker		0	13	3,9									3	1	6	1,1	45	13	86	37,2
VOS	821	778	861	20,7	722	604	773	29,7	569	518	641	31,7	577	499	645	36,8	623	607	651	24,3
VC-OS (%)	84,0	80,4	88,6	2,0	81,6	71,5	87,5	3,3	60,0	55,0	67,1	3,1	67,4	61,7	73,8	3,2	73,5	72,0	75,6	1,9
FOS	590	549	664	24,1	603				448	390	532	33,8	441	378	493	30,6	518	489	560	37,1
VEM	1121	1048	1188	33,3	960	796	1053	52,2	696	621	802	46,1	740	643	830	52,0	813	794	848	30,3
DVE	66	59	82	4,6	94	75	117	7,8	24	15	38	5,4	44	21	57	10,1	42	38	48	5,3
OEB	-30	-43	-18	5,2	24	-56	89	25,9	-5	-22	11	9,0	87	54	114	16,3	86	76	91	8,7
NDF	304	185	472	81,4									371	298	430	41,4	347	333	363	15,1
ADF	80	80	135	14,4									319	251	367	33,5	272	250	285	18,9
ADL	12	8	18	2,7									62	47	76	9,3	37	34	43	4,9
#Celwand ¹	8												21				3			
Klaver (%)																	1			
NH3 (%)	7,2	4	17	3,7					14	10	19	1,8	12	9	17	2,1	7	6	8	1,0
Zand													15	4	45	10,3	10	6	16	5,1

Voer:	Voederbiet				Perspulp				Stro				Mengvoer				Sojaschroot				
	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	
Drogestof (%)	16,0	15,0	18,0	0,9	21,9	21,0	23,7	0,9	77,7					89,8	87,5	92,0	0,8	88,7	87,0	90,0	1,1
Ruw eiwit	64	30	71	10,2	94	85	102	6,9	62					182	103	444	54,4	439	427	447	6,1
Ruwe celstof	68	50	75	10,2	205	198	212	4,9	399					124	38	188	26,9	63	55	69	5,3
Ruw as	81	65	93	9,7	64	79	127	19,0	112					78	8	135	13,8	101	65	116	21,3
Ruw vet		0	11	4,1		8	19	4,1						39	8	55	11,0	20	18	23	1,4
Zetmeel														82	12	297	50,5	26	17	38	7,0
Suiker	560	448	665	65,2	23	4	55	22,9	5					115	44	178	28,0	106	87	116	11,7
VOS	850	830	867	10,9	791	768	806	13,4	329					756	683	812	36,0	801	791	814	6,8
VC-OS (%)	92,5	90,5	93,4	0,7	84,5	86,9	88,0	0,5	37,0					86,0	81,5	91,5	2,7	90,1	89,0	91,9	0,8
FOS	830	817	855	12,9	694	679	702	7,4	286					558	356	629	46,2	597	546	628	31,2
VEM	1097	1073	1124	16,0	1022	982	1059	28,8	413					946	880	1074	26,1	1050	1002	1092	36,4
DVE	79	77	82	1,4	98	92	103	4,2	3					112	0	346	41,5	229	225	234	3,1
OEB	-74	-105	-67	9,4	-66	-69	-64	2,1	-8					16	-40	159	33,1	163	156	170	5,4
NDF	139	111	186	30,7										282	130	356	70,6	162	155	169	4,0
ADF	62	62	94	10,2										150	62	232	46,5	94	85	106	5,9
ADL	12	4	22	7,4										16	4	37	9,5	8	5	15	2,7
#Celwand ¹	12													25				8			
Klaver (%)																					
NH3 (%)																					
Zand																					

Voer:	Bietenpulp				Mervobest				Raapschroot				Geplette tarwe			
	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.	Gem.	Min	Max.	s.d.
Drogestof (%)	91,3	89,0	94,0	1,7	87,7	86,5	89,0	0,8	90,0	87,2	86,4	87,8	0,7			
Ruw eiwit	95	90	101	4	468	445	522	30	381	127	117	138	11,8			
Ruwe celstof	177	170	182	4	62	56	68	4	127	27	22	29	3,1			
Ruw as	91	69	104	12	63	59	67	3	76	17	16	17	0,6			
Ruw vet	7	1	9	3	22	18	32	6	6	20	13	25	5,4			
Zetmeel					28	6	55	22	12	592	543	647	53,5			
Suiker	94	66	154	23	96	85	112	10	99							
VOS	792	722	879	37	774	725	842	53	711	832	788	875	49,9			
VC-OS (%)	87,8	86,8	90,0	0,8	90,7	90,0	92,1	0,8	77,0	90,0	89,0	91,0	1,2			
FOS	734	660	765	32	428	407	476	29	523	700	648	757	59,9			
VEM	1018	930	1049	37	1041	988	1143	78	901	1156	1079	1222	70,3			
DVE	105	95	112	5	360	354	384	12	144	99	91	108	9,3			
OEB	-70	-74	-60	5	54	53	55	1	159	-19	-20	-18	1,0			
NDF	491	447	559	37	174	174	174	0								
ADF	242	222	268	17	87	85	88	2								
ADL	16	8	24	4	13	8	17	6								
#Celwand ¹	13				2											
Klaver (%)																
NH3 (%)																
Zand																

¹Vanaf 1999 vind er routinematig bepaling van celwandbestanddelen (NDF, ADF ADL) #celwanden geeft het aantal partijen weer waarin een analyse van de celwandfracties is uitgevoerd

Bijlage 5 Volledige uitgeschreven vergelijkingen

$$\text{Vergelijking 18: } \text{VOC(a, d, g)} = \{[8.0838 + 3.2956(1 - e^{-1.258a})]e^{0.3983(1 - e^{-0.05341d})}\}(1 - 0.06907(\frac{g}{220}))$$

$$\text{Vergelijking 19: } \text{VW}_{\text{graskuil}} = e^{(-1.613 \times 10^{-3}(\text{DS}\% - 45) + 9.91 \times 10^{-5}(\text{DS}\% - 45)^2 - 3.321 \times 10^{-4}(\text{RE} - 170) + 1.551 \times 10^{-3}(\text{RC} - 240))}$$

$$\text{Vergelijking 20: } \text{VW}_{\text{snijmaiskuil}} = e^{(-2.1658 \times 10^{-1} - 2.737 \times 10^{-3}(\text{DS}\% - 33) + 2.962 \times 10^{-3}(\text{DS}\% - 33)^2 - 5.59 \times 10^{-4}(\text{VOS} - 695))}$$

$$\text{Vergelijking 21: } \text{VW}_{\text{versgras}} = e^{(-8.334 \times 10^{-2} - 2.06 \times 10^{-4}(\text{RC} - 230) + 1.419 \times 10^{-5}(\text{RC} - 230)^2 - 7.443 \times 10^{-4}(\text{VOS} - 705))}$$

$$\text{Vergelijking 22: } \text{VW}_{\text{MKS}} = e^{(-3.094 \times 10^{-1} - 1.179 \times 10^{-2}(\text{DS}\% - 54))}$$

$$\text{Vergelijking 23: } \text{VW}_{\text{krachtvoer}} = e^{(-1.1483 + 1.335 \times 10^{-3}(\text{RC} - 140))}$$

$$\text{Vergelijking 24: } \text{VW}_{\text{triticaleGPS}} = e^{(-1.132 \times 10^{-1} + 5.216 \times 10^{-3}(\text{RC} - 283))}$$

$$\text{Vergelijking 25: } \text{VW}_{\text{luzernekuil/rodeklaerverkuil}} = e^{(-5.859 \times 10^{-2} - 5.54 \times 10^{-3}(\text{DS}\% - 32) + 8.07 \times 10^{-4}(\text{DS}\% - 32)^2 + 4.28 \times 10^{-4}(\text{RC} - 275))}$$

$$\text{Vergelijking 26: } \text{VW}_{\text{voederbiet}} = e^{(-3.673 \times 10^{-1})}$$

$$\text{Vergelijking 27: } \text{VW}_{\text{geplette tarwe}} = e^{(-2.81 \times 10^{-1})}$$

Bijlage 6 Correlatiecoëfficiënten modelparameters

Tabel Bijlage 6. Correlatiecoëfficiënten modelparameters																														
α_0	1																													
α_1		1																												
ρ_α			1																											
β				1																										
ρ_β					1																									
δ_{220}						1																								
λ_{50}							1																							
λ_{90}								1																						
λ_{20}									1																					
λ_{251}										1																				
λ_{211}											1																			
λ_{212}												1																		
λ_{111}													1																	
λ_{112}														1																
λ_{121}															1															
λ_{131}																1														
λ_{40}																	1													
λ_{411}																		1												
λ_{531}																			1											
λ_{30}																				1										
λ_{331}																					1									
λ_{332}																						1								
λ_{351}																							1							
λ_{60}																								1						
λ_{631}																									1					
λ_{70}																										1				
λ_{731}																											1			
λ_{711}																												1		
λ_{712}																													1	

Tabel Bijlage 6. vervolg

[illegible]

Tabel Bijlage 6. vervolg

[illegible]

Correlatiecoëfficiënten voerparameters

Vers gras en verse grasklaver

	DS	RE	RC	RAS	SUI	VOS
DS	1,000					
RE	-0,627	1,000				
RC	0,129	-0,449	1,000			
RAS	-0,483	0,421	-0,296	1,000		
SUI	0,704	-0,758	0,017	-0,589	1,000	
VOS	0,282	-0,044	-0,341	-0,559	0,506	1,000

Grakuil en gras/klaverkuil

	DS	RE	RC	RAS	SUI	VOS
DS	1.000					
RE	-0.627	1.000				
RC	0.129	-0.449	1.000			
RAS	-0.483	0.421	-0.296	1.000		
SUI	0.704	-0.758	0.017	-0.589	1.000	
VOS	0.282	-0.044	-0.341	-0.559	0.506	1.000

Snijmaïskuil

	DS	RE	RC	RAS	ZET	VOS
DS	1.000					
RE	-0.195	1.000				
RC	-0,345	0,122	1,000			
RAS	-0,177	0,242	0,204	1,000		
ZET	0,489	-0,513	-0,771	-0,316	1,000	
VOS	0,269	-0,213	-0,621	-0,550	0,646	1,000

MKS

	DS	RE	RC	RAS	ZET	VOS
DS	1,000					
RE	-0,195	1,000				
RC	-0,345	0,122	1,000			
RAS	-0,177	0,242	0,204	1,000		
ZET	0,489	-0,513	-0,771	-0,316	1,000	
VOS	0,269	-0,213	-0,621	-0,550	0,646	1,000

Droog krachtvoer

	RE	RC	RAS	ZET	SUI	VOS
RE	1,000					
RC	-0,851	1,000				
RAS	0,402	-0,422	1,000			
ZET	-0,596	0,335	-0,233	1,000		
SUI	-0,344	0,145	-0,044	0,521	1,000	
VOS	0,024	0,024	-0,319	0,077	0,175	1,000

Triticale-GPS

	DS	RE	RC	RAS	ZET	VOS
DS	1					
RE	-0,430	1				
RC	0,828	0,605	1			
RAS	0,116	-0,525	-0,143	1		
ZET	0,926	-0,430	-0,883	0,046	1	
VOS	0,115	-0,132	-0,447	-0,383	0,259	1

Luzerne- en rode klaverkuil

	DS	RE	RC	RAS	VOS
DS	1				
RE	-0,204	1			
RC	-0,069	-0,609	1		
RAS	0,164	-0,013	-0,405	1	
VOS	-0,217	0,231	-0,300	-0,575	1