



PraktijkRapport Rundvee 37

Prototype van een Dynamisch Krachtvoer Advies Systeem voor Melkvee



Oktober 2003

Rundvee





Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
Telefoon 0320 - 293 211
Fax 0320 - 241 584
E-mail info.po.asg@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl/po>

Redactie en fotografie Praktijkonderzoek

© Animal Sciences Group

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

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen

ISSN 1570-8616
Eerste druk 2003/oplage 200
Prijs € 17,50

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

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Duinkerken, G. van, G. André en R.L.G. Zom (ASG, divisie Praktijkonderzoek)

Prototype van een Dynamisch Krachtvoer Advies Systeem voor Melkvee (2003)

PraktijkRapport Rundvee 37

54 pagina's, 24 figuren, 7 tabellen

Een zogenaamd dynamisch krachtvoeradvies houdt rekening met de individuele melkproductierespons van dieren op het opgenomen krachtvoer en benut daarmee de verschillen tussen dieren voor wat betreft de efficiëntie waarmee het (kracht)voer wordt benut. Daarbij wordt uitgegaan van de zogenaamde krachtvoercoëfficiënt, die aangeeft hoeveel kg melk extra is te verwachten indien van een bepaald dier de krachtvoeropname met één kg/dag stijgt. Ook houdt het dynamische model rekening met de variatie binnen de dieren als gevolg van veranderingen die tijdens de lactatie optreden. De monitoringsfunctie van een dynamisch model verschaft de veehouder een attentiesysteem dat afwijkende waarden (in dit geval melkgiften) eerder opspoorst dan huidige attentiesystemen. Bovendien neemt het aantal onterechte meldingen af, omdat het systeem rekening houdt met de mate van variabiliteit (in melkgift) van de afzonderlijke dieren uit de koppel. In onderzoek waarin een prototype dynamisch model is gebruikt bij 32 koeien bleek het model goed bruikbaar om schattingen te geven van zowel het basisniveau van de melkgift als de krachtvoercoëfficiënt. Zodoende is het mogelijk om goede voorspellingen te geven van de verwachte melkgift op korte termijn en voorziet het systeem in een tijdige signalering van afwijkingen.

Trefwoorden: krachtvoeradvies, dynamisch model, monitoring, voerefficiëntie

Abstract

"Dynamic" recommendations for feeding concentrates take into account the individual animal's response in milk production to the concentrates ingested and therefore exploits the difference between animals in terms of the efficiency of their feed utilisation. The recommendations are based on the concentrates coefficient, which indicates how many extra kg of milk can be expected from a certain animal if her concentrates intake rises by 1 kg/day. The dynamic model also takes into account the variation between animals resulting from changes occurring during lactation. The model's monitoring function provides the dairy farmer with a warning system that detects deviant values (in this case, milk yields) earlier than the present warning systems. Furthermore, there are fewer false warnings, because the system takes account of the variability in the milk yield of the individual cows in the herd. Research using a prototype model on 32 cows showed that the model is very useful for estimating both the basic level of milk yield and the concentrates coefficient. It therefore enables good predictions to be made of the milk yield expected in the short term and provides timely warning of deviations.

Keywords: concentrate recommendations, dynamic model, monitoring, feed efficiency



PraktijkRapport Rundvee 37

Prototype van een Dynamisch Krachtvoer Advies Systeem voor Melkvee

Prototype of a Dynamic Model for Concentrate Feeding to Dairy Cows

G. van Duinkerken
G. André
R.L.G. Zom

Oktober 2003

Voorwoord

Voor u ligt het PraktijkRapport “Prototype van een Dynamisch Krachtvoer Advies Systeem voor melkvee”. Dit rapport is het resultaat van een meerjarig project, uitgevoerd door ASG, divisie Praktijkonderzoek en gefinancierd door Productschap Zuivel. Het rapport beschrijft de ontwikkeling van een prototype van een individueel krachtvoer adviessysteem, gebaseerd op een zogenaamd “Dynamisch Lineair Model”. Het systeem houdt, in tegenstelling tot bestaande krachtvoeradviesystemen, rekening met de variatie in respons op krachtvoer, zowel wat betreft verschillen tussen individuele melkkoeien als veranderingen tijdens de lactatie.

ASG, divisie Praktijkonderzoek hoopt met dit rapport op termijn bij te dragen aan optimalisering van het krachtvoerconsumptie door melkvee en daarmee aan efficiënte inzet van nutriënten en mineralen en beheersing van voerkosten. Ook wordt van de beoogde, meer diergerichte voeding, een positief effect op de diergezondheid van melkvee verwacht.

Gezien het vrij fundamentele karakter van het uitgevoerde onderzoek en het technische karakter van de beschrijvingen, is het rapport met name bedoeld voor een doelgroep van landbouwkundig onderzoekers, statistici en diervoedingsdeskundigen. Voor veehouders is vooral het hoofdstuk “Praktijktoeepassing” van belang.

De auteurs bedanken de medewerkers van de Waiboerhoeve in Lelystad voor hun enthousiaste en zorgvuldige uitvoering van de experimenten voor het project “Dynamisch Krachtvoer Advies Systeem”.

F. Mandersloot
Manager Onderzoek

Samenvatting

Een zogenaamd dynamisch krachtvoeradvies houdt rekening met de individuele melkproductierespons van dieren op het opgenomen krachtvoer en benut daarmee de verschillen tussen dieren voor wat betreft de efficiëntie waarmee het (kracht)voer wordt benut. Daarbij wordt uitgegaan van de zogenaamde krachtvoercoëfficiënt, die aangeeft hoeveel kg melk extra is te verwachten indien van een bepaald dier de krachtvoeropname met één kg/dag stijgt. Ook houdt het dynamische model rekening met de variatie binnen de dieren als gevolg van veranderingen die tijdens de lactatie optreden.

In voorbereidend onderzoek (zie hoofdstuk 2) bleek dat het toegepaste dynamische model het verloop van de dagelijkse melkgift goed voorspelt. Met behulp van historische gegevens (bestaande gegevens uit voederproeven met melkvee) is de melkproductierespons op krachtvoeropname gemodelleerd. De historische gegevens bleken echter niet optimaal geschikt voor de gewenste modellering omdat de krachtvoeropname te weinig varieerde. De bewuste voederproeven waren uitgevoerd met zogenaamde flat-feeding (geen dag tot dag verschillen in de krachtvoergift). Daarom werd in een aanvullend experiment bewust variatie in de krachtvoergift aangebracht (paragraaf 2.2), waarmee melkproductieverschillen werden opgewekt. Dit experiment vergrootte het inzicht in de individuele effecten van verandering van de krachtvoeropname op de melkgift. Zo bleek dat bij plotselinge verandering van de krachtvoeropname, de koeien een flink deel van de gewijzigde energieopname compenseerden via aanpassing van de ruwvoeropname. De melkproductierespons op de gewijzigde krachtvoeropname was daardoor relatief klein en was door het gehanteerde dynamisch model moeilijk te onderscheiden van de ruis. Het experiment was echter uitgevoerd met een basisrantsoen met een vrij hoge energiedichtheid. Mogelijk is de melkproductierespons op de krachtvoergift groter bij rantsoenen met een lage energiedichtheid. Een ander bezwaar van het genoemde experiment is het feit dat de krachtvoergiften tevoren per dier waren vastgesteld en niet afhankelijk waren gesteld van de melkproductierespons van het dier. Om te komen tot een daadwerkelijk adviessysteem is die terugkoppeling vanuit de melkproductierespons naar de krachtvoergift wel gewenst. Om tegemoet te komen aan de resterende vragen en wensen is vervolgens een proef uitgevoerd op de Waiboerhoeve, waarbij een prototype “Dynamisch Krachtvoer Advies Systeem” (DKAS) is toegepast (zie hoofdstuk 4). Hierbij is één van de groepen koeien gevoerd met een energiearm basisrantsoen om zodoende een grotere melkproductierespons op de krachtvoergift te initiëren. Bovendien is een “controlegroep” meegenomen voor het beoordelen van langere termijn effecten van het voeren volgens een dynamisch krachtvoeradviessystem. Deze controlegroep is op traditionele wijze volgens de norm gevoerd. In de proef is bij 32 koeien drie maal per week een krachtvoeradvies berekend met behulp van een prototype dynamisch krachtvoeradvies. Daarbij was de hoogte van krachtvoercoëfficiënt bepalend. Indien de krachtvoercoëfficiënt hoger was dan 0,6 werd de krachtvoergift van de betreffende koe verhoogd met een halve kilo per dag. Indien de coëfficiënt lager was dan 0,5 werd de krachtvoergift verlaagd met een halve kilo per dag. Zo was er een direct verband tussen werkelijke melkgift en de krachtvoergift, en werd dus de efficiëntie van de koe in acht genomen.

Het prototype dynamisch model bleek goed bruikbaar om schattingen te geven van zowel het basisniveau (van de melkgift) als de krachtvoercoëfficiënt. Zodoende is het mogelijk om goede voorspellingen te geven van de verwachte melkgift op korte termijn en daar een krachtvoeradvies aan te koppelen. Het dynamische model is echter niet uitsluitend bedoeld voor het berekenen van de krachtvoergift. Belangrijk is ook dat het model een “monitoringsfunctie” vervuld. Met andere woorden: onverwachte afwijkingen in de melkgift worden direct gesignaleerd en gemeld. Op basis van zo’n attentie kan de veehouder nagaan of er oorzaken voor de afwijkingen te vinden zijn, zoals bijvoorbeeld kreupelheid of tochtigheid van de betreffende koe. Deze monitoring functioneerde goed in de uitgevoerde proef.

Gezien de wijze waarop het prototype van het dynamisch krachtvoeradvies functioneerde, is het zeker zinvol om verder te werken aan een in de praktijk toepasbaar model. Er zijn twee belangrijke voordelen voor de veehouder te realiseren:

- 1) De monitoringsfunctie van een dynamisch model verschaft de veehouder een attentiesysteem dat afwijkende waarden (bijvoorbeeld melkgiften) eerder opspoot dan huidige attentiesystemen. Bovendien neemt het aantal onterechte meldingen af, omdat het systeem rekening houdt met de mate van variabiliteit (in melkgift) van de afzonderlijke dieren uit de koppel.
- 2) Het dynamisch krachtvoeradvies houdt rekening met de individuele respons van dieren op het opgenomen krachtvoer en benut daarmee de verschillen tussen dieren voor wat betreft de efficiëntie waarmee het (kracht)voer wordt benut. Ook houdt het dynamische model rekening met de variatie binnen de dieren als gevolg van veranderingen die tijdens de lactatie optreden. Dit zal het voersaldo en de mineralenbenutting ten goede komen.

Summary

“Dynamic” recommendations for feeding concentrates take into account the individual animal’s response in milk production to the concentrates ingested and therefore exploits the difference between animals in terms of the efficiency of their feed utilisation. The recommendations are based on the concentrates coefficient, which indicates how many extra kg of milk can be expected from a certain animal if her concentrates intake rises by 1 kg/day. The dynamic model also takes into account the variation between animals resulting from changes occurring during lactation.

A preliminary study (chapter 2) revealed that the dynamic model predicts the trend in the daily milk yield well. Using historical data (from feed trials with dairy cows) the milk production response to concentrates intake was modelled. However, the historical data were found not to be optimal for the modelling required, because the intake of concentrates did not vary enough. The feed trials in question had been carried out with flat feeding (no day-to-day differences in concentrate rations). In a complementary experiment, therefore, the concentrate ration was deliberately varied (section 2.2), which produced variations in milk production. This experiment gave more insight into the individual effects of changes in the concentrate ration on milk yield. One finding was that after a sudden change in concentrate intake the cows compensated for much of the changed energy intake by adjusting their fodder intake. As a result, the response of the milk production to the changed concentrate intake was relatively small, and the dynamic model used had difficulty in distinguishing it from noise. However, in the experiment the basic ration was energy-rich; it is possible that rations less rich in energy would induce a larger response to the concentrates ration. Another shortcoming of the experiment was that the concentrate rations were fixed a priori per animal and were not adjusted in accordance with the animal’s milk production response. In order for the system to produce realistic *recommendations*, there should be feedback from the milk production response to the concentrate rations.

To address the remaining questions and research aims, an experiment was subsequently conducted on the Waiboerhoeve farm, applying a prototype DKAS [a Dutch acronym standing for Dynamic System for Recommending Concentrate Rations] (see chapter 4). In order to trigger a larger milk production response to the concentrate ration, one group of cows was fed an energy-poor basic ration. There was also a control group, so that the longer-term effects of feeding in accordance with a DKAS could be assessed. This control group was fed conventionally, according to the standard norms. In the experiment, recommended concentrate rations for 32 cows were calculated three times a week, using the prototype DKAS. The magnitude of the concentrates coefficient determined the outcome. If it was above 0.6, the concentrate ration for a given cow was raised by half a kilogram per day. If the coefficient was below 0.5, the concentrate ration was lowered by half a kilogram per day. In this way there was a direct relationship between the actual milk yield and the concentrate ration, and therefore account was taken of the cow’s efficiency.

The prototype DKAS was found to be very useful for estimating the basic level (of the milk yield) and the concentrates coefficient. It enables predictions of the milk yield in the short term to be made and recommendations for the concentrate ration to be linked to these. But it is not just intended to calculate the concentrate ration. Also important is that the model has a monitoring function, i.e. unexpected deviations in the milk yield are identified and signalled directly. Having been alerted, the farmer can investigate whether the cause of the deviations can be identified (lameness or oestrus, for example). This monitoring functioned well in the experiment.

Given the way in which the prototype DKAS functioned, it is certainly worthwhile to refine a model for use on working farms. Such a model has two important advantages for the farmer:

- 1) The monitoring function of the DKAS provides the farmer with a warning system that pinpoints deviations (e.g. in milk yield) faster than current warning systems. Furthermore, there are fewer false warnings, because the system takes account of the degree of variability (in milk yield) of the individual animals in a herd.
- 2) The DKAS takes account of the individual response of animals to the concentrate intake and thus exploits the differences between animals in their efficiency in utilising feed (concentrates). The dynamic model also takes into account the variation within the animals resulting from changes occurring during lactation. This will benefit the feed balance and the mineral utilisation.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
1.1	Onderzoeksaanleiding	1
1.2	Leeswijzer	1
2	Vorbereidend onderzoek	2
2.1	Inleiding	2
2.2	Natuurlijke variatie in krachtvoeropname	3
2.3	Experimenteel aangebrachte variatie in krachtvoeropname	3
2.3.1	Materiaal en methode	3
2.3.2	Resultaten	4
3	Ontwikkeling dynamisch lineair model	6
3.1	Inleiding	6
3.2	Methode	6
3.2.1	Dynamisch lineair model	6
3.2.2	Parameterschatting en voorspelling	7
3.2.3	Monitoring	7
3.2.4	Retrospectieve analyse	8
3.3	Resultaten	8
3.3.1	Voorbeeld één serie	8
3.3.2	Retrospectieve analyse	11
3.3.3	Samenvatting meerdere series	12
3.4	Conclusie en discussie	13
3.4.1	Modeluitbreiding en -aanpassing	14
4	Toepassing in een krachtvoeradviesstelsel	15
4.1	Inleiding	15
4.2	Materiaal en methode	15
4.3	Technisch functioneren van het model	17
4.4	Resultaten	17
4.4.1	Verloop melkgift	22
4.4.2	Schatting van de krachtvoercoëfficiënt	26
4.5	Analyse van de afwijkingen	28
4.5.1	Afwijkingen van een dynamisch lineair model	28
4.5.2	Voorspelfout	30
4.5.3	Potentiële uitbijters	31
4.5.4	Slotopmerkingen	31
5	Praktijktoeppassing	33
6	Conclusies en aanbevelingen voor verbetering	34
6.1	Conclusies	34
6.2	Verbeterpunten	34
6.3	Operationalisering	35

6.4	Andere uitbreidingen en toepassingen.....	35
Bijlagen.....		37
Bijlage 1	Materiaal en methoden bij paragraaf 2.2.....	37
Bijlage 2	Resultaten bij paragraaf 2.2.....	38
Bijlage 3	Statistische analysemethode bij paragraaf 2.3.....	40
Bijlage 4	Resultaten statistische analyse bij paragraaf 2.3.....	41
Bijlage 5	Eindresultaten 30 dieren bij paragraaf 3.3	43
Bijlage 6	Samenstelling van voeders en rantsoenen bij hoofdstuk 4	44
Bijlage 7	Conditiecoreverloop bij hoofdstuk 4	46
Bijlage 8	Verloop van de voorspelvariantie bij paragraaf 4.5.....	47
Bijlage 9	MSE en MAD per dier bij paragraaf 4.5	48
Bijlage 10	Afwijkingen die niet als potentiële uitbijter zijn gesignaleerd, bij paragraaf 4.5	49
Bijlage 11	Verdeling van uitbijters, bij paragraaf 4.5	52
Literatuur.....		54

1 Inleiding

1.1 Onderzoeksaanleiding

De huidige krachtvoeradviesprogramma's voor melkkoeien berekenen, grofweg gesteld, een krachtvoergift op basis van:

- 1) de energiebehoefte die is gebaseerd op de gerealiseerde melkproductie, de leeftijd, het lactatiestadium en het gewicht van het dier en
- 2) een ingeschatte energieopname die is berekend uit de geschatte voeropname en de voersamenstelling.

Echter, de rekenmodellen die in gebruik zijn voor voeropnameschatting gaan uit van de verwachte voeropname van een gemiddeld dier van een bepaalde leeftijd en lactatiestadium. Een extra handicap is dat van winterrantsoenen slechts een ruwe schatting van de samenstelling van het voer bekend is en bij beweiding zelfs geen enkele betrouwbare schatting van de grassamenstelling.

In bestaande krachtvoeradviesprogramma's worden individuele verschillen in de respons van de melkgift op veranderingen in de krachtvoeropname genegeerd of onvoldoende meegenomen. Deze verschillen in respons kunnen het gevolg zijn van individuele verschillen in ruwvoeropname, maar ook van individuele verschillen in energetische efficiëntie. Daarom zijn de huidige programma's en rekenmodellen in feite ongeschikt voor een individueel krachtvoeradvies.

De respons van melkkoeien op een verandering van het krachtvoerniveau is dieraafhankelijk. Wanneer hiermee geen rekening wordt gehouden leidt dit tot verspilling van krachtvoer bij koeien met een benedengemiddelde respons en tot onvoldoende benutting van de productiecapaciteit van koeien met een bovengemiddelde respons op het opgenomen krachtvoer. Het gevolg is een verspilling van geld, nutriënten en mineralen.

Een verfijning van het krachtvoeradvies voor melkvee, waarbij wel rekening wordt gehouden met de variatie in respons op de krachtvoeropname door individuele melkkoeien, is daarom zeer gewenst. Een individuele, dat wil zeggen diergerichte, benadering van het krachtvoeradvies biedt mogelijkheden voor een optimalisatie van de krachtvoergift met betrekking tot voerkosten, milieu (mineralenverlies) en diergezondheid.

Naast de verschillen in respons op de krachtvoeropname tussen individuele dieren treden er ook tijdens de lactatie veranderingen in de respons op. Die veranderingen kunnen zowel geleidelijk als plotseling optreden. Daarom is er behoefte aan een dynamisch model waarmee de schatting van de respons op krachtvoeropname regelmatig (bijvoorbeeld dagelijks) wordt bijgesteld.

Dit Praktijkrapport beschrijft de ontwikkeling van een prototype van een individueel krachtvoeradviesstelsel, gebaseerd op een zogenaamd "Dynamisch Lineair Model" (DLM).

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport gaat in op voorbereidend onderzoek (deskstudie) met proefgegevens uit eerder onderzoek en een kleinschalig experiment. Hoofdstuk 3 beschrijft de ontwikkeling van een prototype van een dynamisch lineair model, waarna in hoofdstuk 4 de toepassing van het prototype in een krachtvoeradviesstelsel wordt toegelicht. Hoofdstuk 5 behandelt de toepassingsmogelijkheden in de praktijk, waarna in hoofdstuk 6 wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen voor verbetering van het dynamisch krachtvoeradviesstelsel.

Een belangrijke term in dit rapport is de zogenaamde "krachtvoercoëfficiënt". Deze coëfficiënt geeft aan hoeveel kilogram melk extra wordt geproduceerd uit één kilogram extra krachtvoer.

Gezien het vrij fundamentele karakter van het uitgevoerde onderzoek en het technische karakter van de beschrijvingen, is het rapport met name bedoeld voor een doelgroep van landbouwkundig onderzoekers, statistici en diervoedingsdeskundigen. Voor veehouders is met name hoofdstuk 5, "Praktijktoeepassing" van belang.

2 Voorbereidend onderzoek

2.1 Inleiding

Eén kilogram standaardbrok bevat doorgaans 940 VEM en daarmee voldoende netto energie voor de productie van ruim twee kilogram melk (2 x 460 VEM). Dit uitgangspunt is een basis voor rantsoenberekeningen, zowel voor het vooraf instellen van het rantsoen als voor het evalueren achteraf. Dit theoretische uitgangspunt kan echter niet zondermeer worden vertaald in de stelling dat een extra gift van één kilogram krachtvoer altijd zal resulteren in een extra productie van twee kilogram melk.

Voor de relatie melkgift en krachtvoergift kan worden uitgegaan van een eenvoudig lineair model (F2.1).

$$Y_t = \beta_{0t} + \beta_{1t}X_t + \varepsilon_t \quad (\text{F2.1})$$

Hierin is Y_t de melkgift ($\text{kg} \cdot \text{dag}^{-1}$) op dag t ; β_{0t} is de basishoeveelheid melk die de koe produceert uit ruwvoer en eventueel mobilisatie van energie; $\beta_{1t}X_t$ is de hoeveelheid melk die geproduceerd wordt uit krachtvoer (met β_{1t} als de krachtvoercoëfficiënt en X_t als maat voor de krachtvoeropname uitgedrukt in $\text{kg} \cdot \text{dag}^{-1}$) en ε_t is de stochastische afwijking. Het bijzondere van model 2.1 komt naar voren indien het wordt vergeleken met een gebruikelijk lineair regressiemodel (F2.2).

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1X_t + \varepsilon_t \quad (\text{F2.2})$$

In model 2.2 zijn de parameters β_0 en β_1 constant en veranderen dus niet gedurende de tijd. De hypothese is echter dat de respons van de melkgift op de krachtvoeropname gedurende de lactatie wél verandert (Zom et al, 2003) en daarom is model F2.2 geen goed uitgangspunt. Model F2.2 is een constant lineair model, terwijl model F2.1 een zogenaamd dynamisch lineair model is. De theorie over dynamische lineaire modellen en de bijbehorende schattingsmethoden is beschreven door West en Harrison (1997).

Met de methodiek van een dynamisch lineair model is het mogelijk om aan het dier gerelateerde parameters gedurende de voortgang van het proces, dus on-line tijdens de lactatie, te schatten. Zodoende wordt niet alleen rekening gehouden met verandering van de parameters in de tijd, maar ook met verschillen tussen individuele dieren. Op basis van de geschatte parameters per dier kunnen korte termijn (dagelijkse) voorspellingen worden gegeven voor de melkgift en kan zo het verloop van de melkgift worden geëvalueerd. Eventuele afwijkingen worden tijdig gesignaleerd en zonodig kan de krachtvoergift dagelijks worden aangepast. Het voordeel van deze aanpak is dat wordt uitgegaan van individuele parameterschattingen en niet, zoals bij huidige krachtvoeradviesystemen, van algemene uitgangspunten, zoals omschreven in bijvoorbeeld het Koemodel (Hijink en Meijer, 1987). Verder is het voordeel dat dagelijks kan worden geëvalueerd en niet, zoals nu gebruikelijk is, eens per drie of vier weken, gekoppeld aan de reguliere melkproductieregistratie.

In dit hoofdstuk wordt voorbereidend onderzoek voor ontwikkeling van een dynamisch krachtvoeradviesysteem beschreven. De belangrijkste vraag is welke maat voor de krachtvoeropname moet worden genomen. Daarvoor is het van belang om te weten in hoeverre er vertraging is van het effect van de krachtvoeropname op de productie (de respons). Tevens is van belang na te gaan in hoeverre de effecten individueel bepaald zijn, dat wil zeggen per dier verschillend zijn.

De eerste stap in het voorbereidend onderzoek was de analyse van een bestaande dataset met gegevens over melkproductie, ruwvoeropname en krachtvoeropname. Deze analyse is beschreven in paragraaf 2.2. Omdat er in de betreffende dataset weinig variatie was in krachtvoeropname is aansluitend een kleinschalig experiment uitgevoerd waarbij de krachtvoergift bewust is gevarieerd. Dit experiment is beschreven in paragraaf 2.3. Omdat bij de gegevens die zijn gebruikt in het voorbereidende onderzoek ook de individuele ruwvoeropname is geregistreerd kan in principe ook nagegaan worden hoe het effect is van ruwvoeropname op de productie en hoe ruwvoer door krachtvoer verdrongen wordt. Echter, omdat op praktijkbedrijven de ruwvoeropname in de regel niet wordt geregistreerd, is vooreerst een dynamische lineair model ontwikkeld dat uitsluitend rekening houdt met de respons van de melkgift op wijzigingen in de krachtvoeropname.

2.2 Natuurlijke variatie in krachtvoeropname

Een bestaande dataset met gegevens over individuele voeropname en melkproductie is geanalyseerd om inzicht te krijgen in:

- individuele verschillen in het basisverloop van de melkgift
- de vertraagde respons van melkgift op ruwvoer- en krachtvoeropname
- individuele verschillen in voerefficiëntie
- structuur van residuele afwijkingen.

Van 24 koeien uit onderzoek van Zom et al (2001) zijn gegevensreeksen van dagelijkse ruwvoer- en krachtvoeropname en melkproductie geanalyseerd over de periode van 60 tot ongeveer 160 dagen in lactatie. Materiaal en methoden zijn beschreven in bijlage 1; de resultaten zijn beschreven in bijlage 2.

Er bleek een vertraagde respons van ruwvoer- en krachtvoeropname op de melkgift die tot zeven dagen terug gaat. Het patroon van de vertraagde effecten verschilde weinig tussen ruw- en krachtvoer. Er bleken verder individuele verschillen in voereffecten, met name voor de melkproductierespons op krachtvoer. Fysiologisch werd een vertraging tot zeven dagen terug niet verwacht, omdat de doorstroming van voer door het maagdarmkanaal sneller gaat. In de pens passeert een groot deel van de voerdeeltjes met een snelheid van 4,5 tot 6% per uur of wordt binnen een etmaal na voeropname gefermenteerd (Dijkstra, 1993; Van Straalen, 1995 en Tamminga et al, 1994). Er waren grote verschillen in niveau en trend tussen dieren. Uit de analyse bleek dus dat er sprake is van een vertraagd effect van voeropname op melkgift én dat de respons op voer individueel bepaald is. Er was daarom alle reden om verder te werken aan de ontwikkeling van een methodiek die op individuele basis de (kracht-)voerefficiëntie schat.

Een probleem bij de gebruikte dataset is, dat de variatie in krachtvoeropname slechts gering was omdat er flat-feeding is toegepast tot ongeveer 100 dagen in lactatie. Daarna is de krachtvoergift geleidelijk verlaagd en incidenteel komen er afwijkingen voor doordat de dieren niet al het krachtvoer hebben opgenomen. Het is daarom de vraag of de geschatte effecten van krachtvoeropname wel voldoende betrouwbaar zijn. Daarom is besloten in een vervolgproef de krachtvoergift bewust te variëren om de effecten daarvan objectief te kunnen vaststellen (zie daarvoor paragraaf 2.3).

2.3 Experimenteel aangebrachte variatie in krachtvoeropname

Een experiment is uitgevoerd met als doel meer inzicht te krijgen in de vertraging van de respons (van de melkgift) op verandering in de krachtvoeropname.

Het experiment is beschreven in paragraaf 2.3.1, waarbij de statistische analysemethode afzonderlijk is beschreven in bijlage 3. De resultaten van het experiment zijn op hoofdlijnen beschreven in paragraaf 2.3.2, waarbij de resultaten uit de statistische analyse afzonderlijk zijn beschreven in bijlage 4.

2.3.1 Materiaal en methode

Een groep van 32 koeien (16 vaarzen en 16 oudere koeien) is gebruikt om gegevens over (kracht)voeropname en melkgift te verzamelen onder geconditioneerde omstandigheden. Gegevensverzameling vond plaats vanaf 1 maart 2000 tot en met 7 april 2000; dat is een periode van 38 dagen. In die periode waren alle dieren in het midden van de lactatie (globaal tussen de 120^e en 210^e lactatiedag). Er was geen sprake van een vergelijkende proef of indeling van dieren in gelijkwaardige blokken; de gegevensverzameling onder gecontroleerde omstandigheden stond in het experiment centraal.

In het experiment zijn acht verschillende scenario's gedefinieerd waarbij op verschillende wijzen fluctuaties in de krachtvoergift werden aangebracht. Deze scenario's zijn beschreven in tabel 2.1. Per scenario zijn vier dieren ingezet die volgens het bijbehorende voerschema zijn gevoerd. Het basisrantsoen van de koeien was voor alle scenario's gelijk en bestond uit een ruwvoermengsel van 50% graskuil en 50% snijmaïs op ds-basis, met daaraan toegevoegd enig sojaschroot, zout en standaardmineralen. Het basisrantsoen werd verstrekt via zogenaamde RIC-voerbakken, die geschikt zijn om de voeropname individueel te bepalen. Het basisrantsoen werd dagelijks vers en onbeperkt verstrekt, wat neerkomt op dagelijks tenminste 10% eetbare resten in de voerbakken. Deze resten werden dagelijks verwijderd voordat de voerbakken opnieuw werden gevuld. Het aanvullend krachtvoer (brok) werd verstrekt via krachtvoerautomaten. In de melkstal werd aanvullend 0,5 kg lokbrok per dier per dag verstrekt.

De koeien werden twee maal daags op vaste tijdstippen gemolken met behulp van een 10-stands open tandem melkstal. De melkgift werd geregistreerd via elektronische melkmeters.

Tabel 2.1 Scenario's (A t/m H) voor de krachtvoergift (kg/dier/dag; excl. lokbrok in de melkstal). Met geel gemarkeerd zijn de dagen waarop een wijziging van de krachtvoergift plaatsvond

Datum	Scenario							
	A	B	C	D	E	F	G	H
01-mrt-00 t/m 08-mrt-00	7	7	7	7	7	7	7	7
09-mrt-00	6	4	8	10	4	10	8,5	5,5
10-mrt-00	5	4	9	10	7	7	7	7
11-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
12-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
13-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
14-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
15-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
16-mrt-00	4	4	10	10	5,5	4	10	8,5
17-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
18-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
19-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
20-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
21-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
22-mrt-00	4	4	10	10	7	7	7	7
23-mrt-00	7	5	7	9	8,5	5,5	4	10
24-mrt-00	7	6	7	8	7	7	7	7
25-mrt-00	7	7	7	7	7	7	7	7
26-mrt-00	7	7	7	7	7	7	7	7
27-mrt-00	7	7	7	7	7	7	7	7
28-mrt-00	7	7	7	7	7	7	7	7
29-mrt-00	7	7	7	7	7	7	7	7
30-mrt-00	7	7	7	7	10	8,5	5,5	4
31-mrt-00 t/m 07-apr-00	7	7	7	7	7	7	7	7

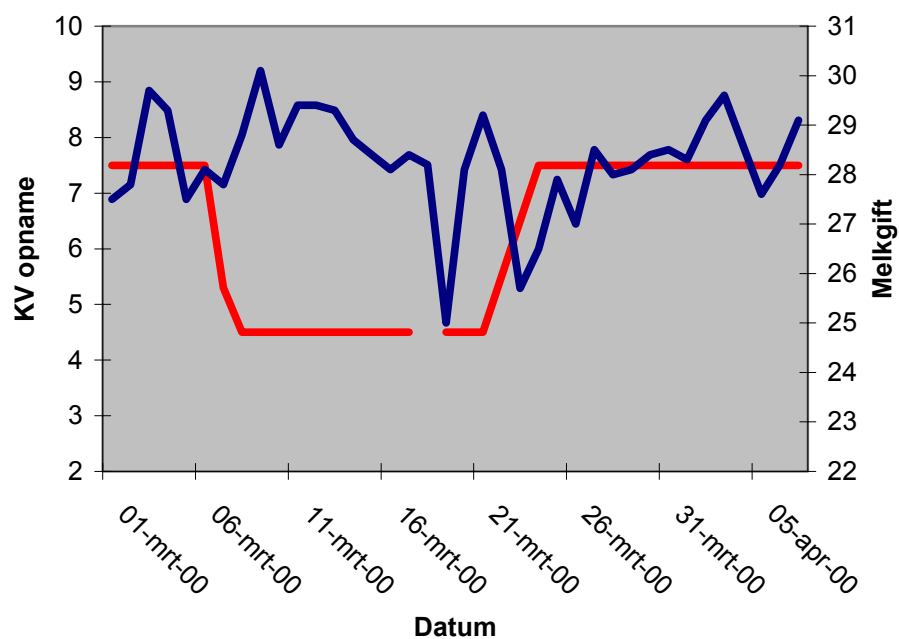
2.3.2 Resultaten

Het gaat te ver om in dit rapport van elk van de 32 ingezette dieren het verloop van de (kracht)voeropname en de melkgift gedurende het experiment weer te geven. Ter illustratie is in figuur 2.1 het verloop van de krachtvoeropname en de melkgift van één dier gegeven dat is gevoerd volgens scenario B. Wegens een technische storing in de krachtvoerregistratie is de krachtvoeropname van 18 maart 2000 niet bekend.

In bijlage 4 zijn de resultaten van de statistische analyse van het experiment vermeld. Hieruit blijkt dat de vertraging van het effect van voeropname minder lang is dan naar voren kwam uit de analyse beschreven in paragraaf 2.2. Dit is beter in overeenstemming met de fysiologie die veronderstelt dat de pensdoorstroming sneller is dan de eerder gevonden zeven dagen. Verder blijkt uit model B3.3 (bijlage 3) dat de grootte van het krachtvoereffect op de dagen t , $t-1$ en $t-2$ niet veel verschilt. Daarom kan in het dynamische lineaire model het gemiddelde van de krachtvoeropnames op de dagen t , $t-1$ en $t-2$ als maat voor de krachtvoeropname genomen worden, dus: $X_{it} = (K_{it} + K_{i,t-1} + K_{i,t-2})/3$.

Er is bij de modellen B3.1, B3.2 en B3.3 (bijlage 3) geen rekening gehouden met individuele variatie in de effecten van voeropname. Er is wel een poging gedaan om random effecten van krachtvoeropname op de dagen t , $t-1$ en $t-2$ te schatten, maar het bleek niet mogelijk om de volledige variantie-covariantiematrix te schatten.

Figuur 2.1 Voorbeeld: verloop van de krachtvoeropname (kg/dag) en melkgift (kg/dag) van één dier dat gevoerd is volgens scenario B (zie tabel 2.1)



3 Ontwikkeling dynamisch lineair model

3.1 Inleiding

De traditionele methode voor krachtvoeradvies gaat uit van algemene kennis zoals de voedernormen voor melkvee en de voederwaarde van veevoeders (CVB, 2002). Over de melkgift is meer dierspecifieke informatie beschikbaar vanuit de meest recente periodieke melkproductieregistratie of vanuit het managementsysteem. Bij zo'n traditioneel krachtvoeradviesstelsel wordt geen rekening gehouden met verschillen tussen individuele koeien en wordt ook geen rekening gehouden met veranderingen die tijdens de lactatie kunnen optreden. Het doel van de ontwikkeling van een dynamisch krachtvoeradvies stelsel is om rekening te houden met individuele verschillen onder actuele omstandigheden. In die specifieke situaties moet het effect van krachtvoeropname worden geschat en de productie worden geëvalueerd, om zodoende te kunnen komen tot een optimaal afgestemd advies. Dynamisch Lineaire Modellen (DLM's) lijken hiervoor goed bruikbaar. Paragraaf 3.2 beschrijft een prototype dynamisch lineair model voor schatting van de melkproductierespons op krachtvoeropname. Vervolgens worden resultaten van een eerste prototype toegelicht in paragraaf 3.3. Ten slotte geeft paragraaf 3.4 enkele conclusies en een discussie over het prototype van het model.

3.2 Methode

3.2.1 Dynamisch lineair model

De melkgift Y_t op dag t is lineair afhankelijk van de krachtvoergift x_t . Deze relatie wordt weergegeven in formule F3.1, de waarnemingsvergelijking.

$$Y_t = \begin{pmatrix} 1 & x_t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix}_t + \varepsilon_t \quad (\text{F3.1})$$

De krachtvoeropname x_t is het gemiddelde van de krachtvoeropnames op dag t , $t-1$ en $t-2$. Het basisniveau van de melkgift op tijdstip t is β_0 , en β_1 is het effect per kg krachtvoer. Merk op dat deze parameters niet constant zijn, maar afhankelijk zijn van het tijdstip t .

De waarnemingsfout is normaal verdeeld: $\varepsilon_t \sim N(0, \phi_t^{-1})$; ook de variantie is afhankelijk van het tijdstip t .

De manier waarop de parameters zich in de tijd ontwikkelen is gegeven in de systeemvergelijking (F3.2):

$$\begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix}_t = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix}_{t-1} + \omega_t \quad (\text{F3.2})$$

Het verloop van de parameters β is stochastisch, waarbij de variatie in de tijd bepaald wordt door de grootte van de systeemvariantie W_t , $\omega_t \sim t_{n_t-1}(0, W_t)$. Merk op dat de verwachting van β wel constant is. Het model, gegeven in vergelijkingen F3.1 en F3.2 is een univariaat constant dynamisch lineair model met één regressor en onbekende variantie.

Bij gewone lineaire modellen, zoals bijvoorbeeld lineaire regressie, worden de modelparameters constant verondersteld. Ook bij tijdreeksanalyse (zoals zogenaamde ARIMA-modellen), wordt in de regel verondersteld dat parameterwaarden constant zijn in de tijd (stationariteit). Deze modellen worden achteraf, als de dataset of serie waarnemingen compleet is, aan de data aangepast en zodoende worden de parameters geschat. Bij dynamisch lineaire modellen worden de parameterschattingen van het model gedurende het proces (on-line) voortdurend bijgesteld.

3.2.2 Parameterschatting en voorspelling

Voor het schatten van de parameters zijn gegevens nodig. Echter, aan het begin van een serie waarnemingen, zijn die gegevens er nog niet. Daarom wordt vooraf uitgegaan van initiële waarden voor de parameters. Zo kunnen voor een hoogproductieve koe, die vanaf de top van de lactatie gevolgd wordt, bijvoorbeeld de volgende uitgangspunten gekozen worden:

- Melkgift $Y_0 = 45$ kg per dag
- Krachtvoeropname $x_0 = 8$ kg per dag
- Hoeveelheid melk uit krachtvoer 4 kg per dag

Uitgaande van model F3.1 worden beginschattingen berekend: voor de basishoeveelheid $m_{0_0} = 45 - 4 = 41$ en voor de krachtvoercoëfficiënt $m_{1_0} = 4/8 = 0,5$.

Op basis van die informatie is een voorspelling f_1 te berekenen voor de te verwachten melkgift Y_1 op tijdstip $t = 1$ bij een krachtvoeropname $x_1 = 4,1$ kg, namelijk: $f_1 = 41 + 0,5 \cdot 4,1 = 43,05$.

Vervolgens wordt de voorspelling vergeleken met de eerste waarneming van de serie $Y_1 = 42,9$. De afwijking $e_1 = Y_1 - f_1 = -0,15$ wordt gebruikt om de parameterschattingen bij te stellen.

De nieuwe schattingen zijn:
$$\begin{pmatrix} m_0 \\ m_1 \end{pmatrix}_1 = \begin{pmatrix} 40,96 \\ 0,4836 \end{pmatrix}.$$

Deze nieuwe schattingen vormen weer de basis voor een volgende voorspelling en zo herhaald zich het proces. Deze schattingsmethode, waarbij gebruik gemaakt wordt van informatie vooraf, is een zogenaamde Bayesiaanse methode. De informatie vooraf (prior) wordt gecombineerd met de kennis uit de waarnemingen. Gezamenlijk levert dat de informatie achteraf (posterior). Bij een dynamisch lineair model gebeurt dit recursief, oftewel steeds terugkerend. De beschreven methode is uitgebreid beschreven door West en Harrison (1997) en Pole et al. (1999).

Bij de beschrijving van de methode hiervoor is geen uitleg gegeven over het bepalen van de nauwkeurigheid van de parameterschattingen en ook niet over het schatten van de waarnemingsvariantie. Samen met de systeemvariantie zijn dit de stochastische componenten van het model. Bij de berekening voor deze componenten wordt gebruik gemaakt van wegingsfactoren (discountfactors) die het relatieve belang weergeven van de informatie uit het verleden t.o.v. de nieuwe waarneming (het heden). Voor het intercept geldt als waarde van de discountfactor $\delta_0 = 0,9$ en voor de krachtvoercoëfficiënt $\delta_1 = 0,98$. De keuze van deze waarden sluit aan bij de verwachting dat het intercept in de tijd meer varieert dan de krachtvoercoëfficiënt. De discountfactor voor de waarnemingsvariantie is $\delta_v = 0,99$.

3.2.3 Monitoring

Het prototype model, zoals hiervoor beschreven, is in eerste instantie bedoeld voor het schatten van de respons van de melkgift op de krachtvoeropname. Maar daarnaast kan het model ook gebruikt worden voor evaluatie van de melkgift en signalering van afwijkende waarnemingen. Op ieder tijdstip wordt berekend of de waarneming past bij de voorspelling of dat het aannemelijker is dat de waarneming komt uit een andere verdeling met een grotere spreiding (schaalfactor $k = 3$ is hier aangehouden). Dit wordt aangegeven met de Bayes' factor H_t . Is deze kleiner dan of gelijk aan de grenswaarde (grenswaarde $\tau = 0,15$ is hier aangehouden) dan wordt de waarneming beschouwd als een mogelijke uitbijter en wordt de informatie van die waarneming niet meegenomen bij het aanpassen van de parameters. Verder wordt de onzekerheid over de parameters vergroot, zodat bij een nieuwe waarneming het model zich snel aanpast bij een eventueel veranderde situatie. Dit wordt gedaan door voor dat tijdstip incidenteel lagere waarden voor de discount-factors te nemen: $\delta_t = \delta_{ve}$ en $\delta_{0e}; \delta_{1e}$ in plaats van $\delta_0; \delta_1$. In bovenstaande situatie is er sprake van een plotselinge grote afwijking, maar het kan ook zo zijn dat er geleidelijk aan een afwijking ontstaat. Dit wordt gesignaleerd met de cumulatieve Bayes' factor L_t en de periode lengte I_t . Wanneer $L_t \leq \tau$ of $I_t \geq 4$ doet deze situatie zich voor. In dat geval worden de afwijkende

waarnemingen niet buiten beschouwing gelaten, maar worden wel de onzekerheden over de parameters vergroot. Ook dan zal het model zich snel aanpassen aan een eventueel veranderde situatie.

3.2.4 Retrospectieve analyse

Voor het voorspellen van een nieuwe waarneming en het on-line schatten van de parameters op een bepaald tijdstip wordt de informatie gebruikt van de waarnemingen die gedaan zijn tot aan dat tijdstip. Het is ook mogelijk om achteraf terug te kijken en eerdere schattingen van de parameters bij te stellen op basis van waarnemingen die op latere tijdstippen zijn gedaan. Deze aanpak wordt retrospectieve analyse genoemd; details voor de berekeningswijze zijn beschreven door West en Harrison (1997).

3.3 Resultaten

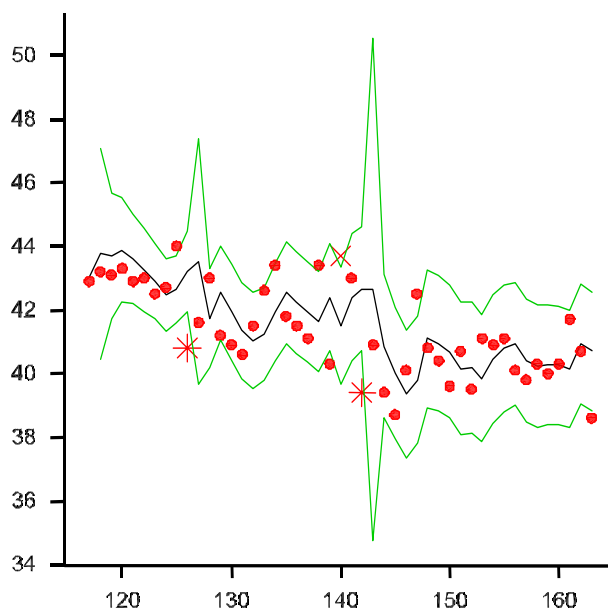
In hoofdstuk 2 is een experiment beschreven waarbij de krachtvoergift bewust is gevarieerd bij 32 koeien in de tweede helft van de lactatie. De gegevens zijn gebruikt om het prototype van het dynamisch lineair model te testen. In subparagraaf 3.3.1 wordt het gebruik van het model voor één koe in detail beschreven. In 3.3.2 worden samenvattende resultaten van het model voor alle dieren in het experiment gegeven.

3.3.1 Voorbeeld één serie

3.3.1.1 Waarnemingen en voorspellingen

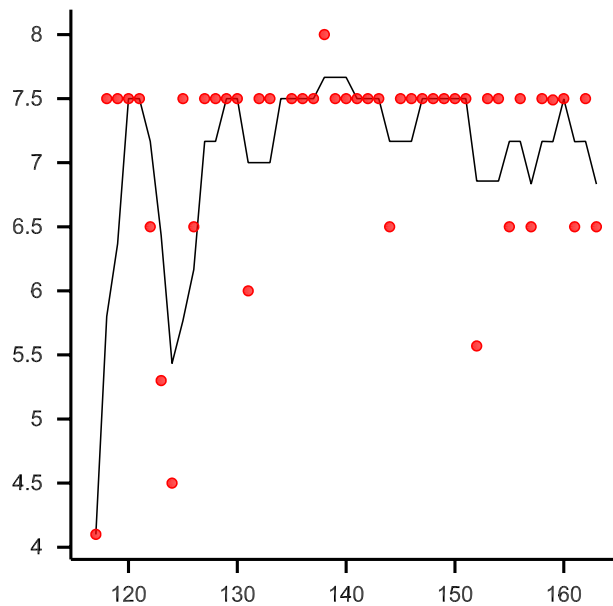
In figuur 3.1 zijn de waarnemingen en voorspellingen voor één koe weergegeven. De bijbehorende krachtvoeropnames staan in figuur 3.2.

Figuur 3.1 Melkgift (Y-as, in kg/dag) van koe 1 versus lactatiedagen (X-as). Waarnemingen (●), potentiële uitbijters (*) en overige afwijkingen (X). Voorspellingen (zwarte lijn) met 90% betrouwbaarheidsinterval (groene lijnen)



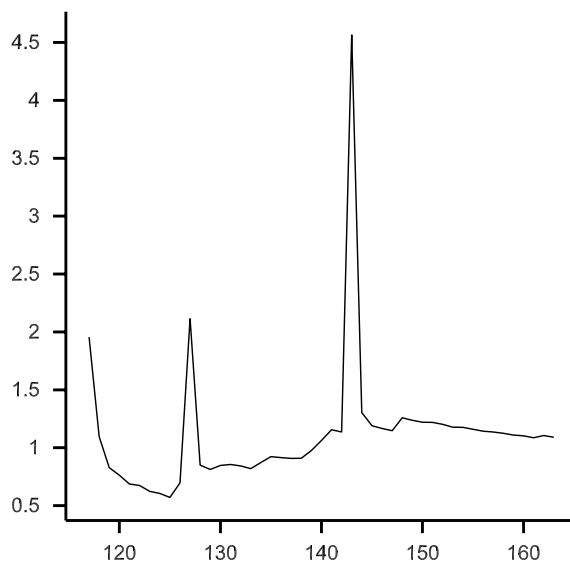
Er is sprake van twee potentiële uitbijters op dag 126 en 142, deze waarnemingen zijn voor verdere analyse uitgesloten. Duidelijk is te zien dat deze waarnemingen buiten het betrouwbaarheidsinterval voor de voorspelling liggen en dat op de dag erna de onzekerheid over de voorspellingen groter is. Dat is ook het geval na de waarneming op dag 140. Die waarneming is in geringe mate positief afwijkend, maar de waarneming daarvoor was ook al afwijkend, maar dan negatief. Beide waarnemingen zijn niet uitgesloten voor de analyse, alleen de onzekerheid voor toekomstige voorspellingen is vergroot. Uit figuur 3.1 blijkt dat vijf van de 47 waarnemingen buiten het betrouwbaarheidsinterval voor de voorspellingen vallen. Dat komt aardig overeen met de verwachte 10% op basis van normaliteit.

Figuur 3.2 Krachtvoeropname (Y-as, in kg/dag) versus lactatiedagen (X-as) van koe 1. Krachtvoeropname per dag (●) en gemiddelde krachtvoeropname over 3 voorgaande dagen (zwarte lijn)



In figuur 3.3 is het verloop van de standaardafwijking voor de voorspelling weergegeven. De gemiddelde variantie voor de voorspellingen (Mean Square Error of MSE) bedraagt 1,29. In de figuur is te zien dat de onzekerheid groot is bij de eerste waarnemingen en na het optreden van de uitbijters op dag 126 en 142. Ook is te zien dat dit snel weer afneemt.

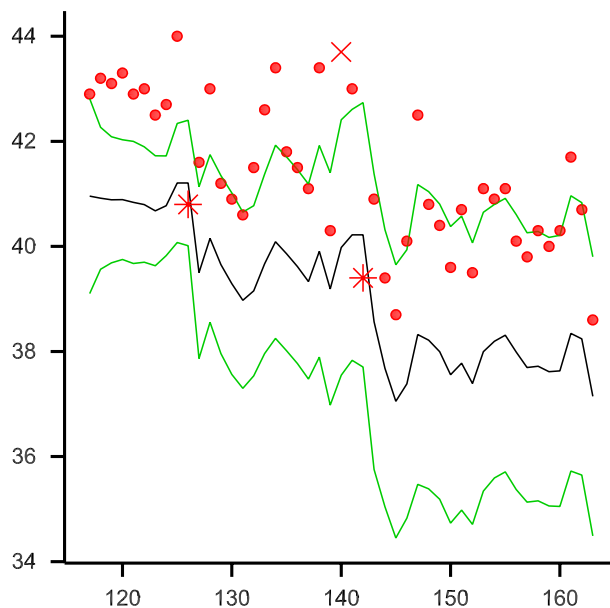
Figuur 3.3 Standaardfout (Y-as) van de voorspellingen per lactatiedag (X-as) van koe 1 (de MSE is het gemiddelde van de voorspelvariantie)



3.3.1.2 Parameterschattingen

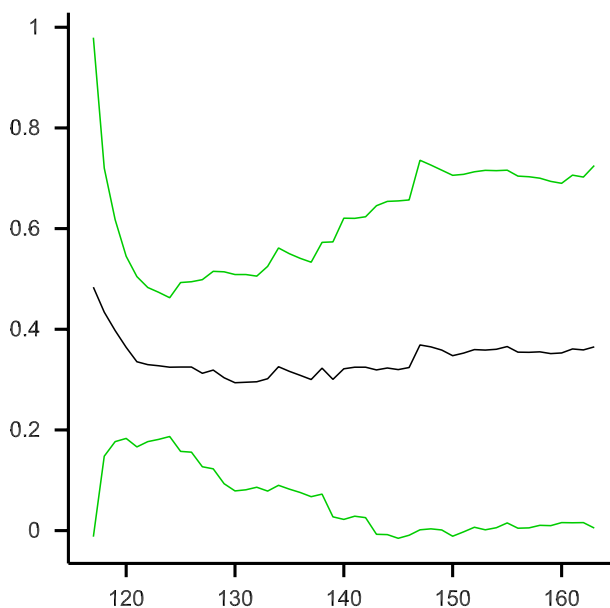
In figuur 3.4 is het verloop van de parameterschatting voor het basisniveau (0 Level) weergegeven, waarbij ook de waarnemingen zijn weergegeven om de samenhang te tonen. Merk daarbij op dat er wel een verschil in niveau is; dit verschil is het deel van de melkproductie uit krachtvoer. Duidelijk is te zien dat na het optreden van een uitbijter er een vrij grote aanpassing plaatsvindt. Het basisniveau daalt stapsgewijs.

Figuur 3.4 Schatting basisniveau melkgift (Y-as, in kg/dag) versus lactatiedagen (X-as) van koe 1. Verloop on-line schatting basisniveau (zwarte lijn) met 90% betrouwbaarheidsinterval (groene lijnen). Voor waarnemingen melkgift (•) zie ook figuur 3.1



In figuur 3.5 is het verloop van de parameterschatting voor de krachtvoercoëfficiënt weergegeven. Duidelijk is te zien dat de schatting in het begin te hoog is, maar dat dit snel convergeert. Verder blijft de schatting vrij constant, ook na het optreden van uitbijters vinden er geen grote aanpassingen plaats. Dat komt door de keuze van de discountfactors voor uitzonderingssituaties, deze is voor het basisniveau (intercept) veel lager ($\delta_{0e} = 0,1$) dan voor de krachtvoercoëfficiënt ($\delta_{1e} = 0,8$).

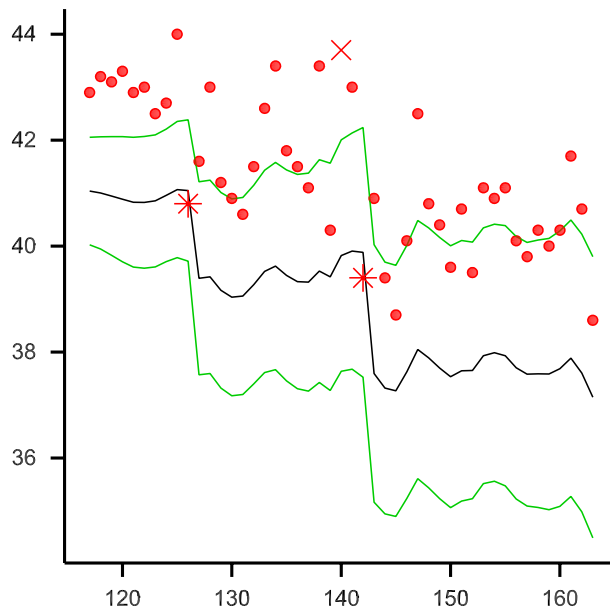
Figuur 3.5 Schatting krachtvoercoëfficiënt (Y-as) versus lactatiedagen (X-as) van koe 1. Verloop on-line schatting krachtvoercoëfficiënt (zwarte lijn) met 90% betrouwbaarheidsinterval (groene lijnen)



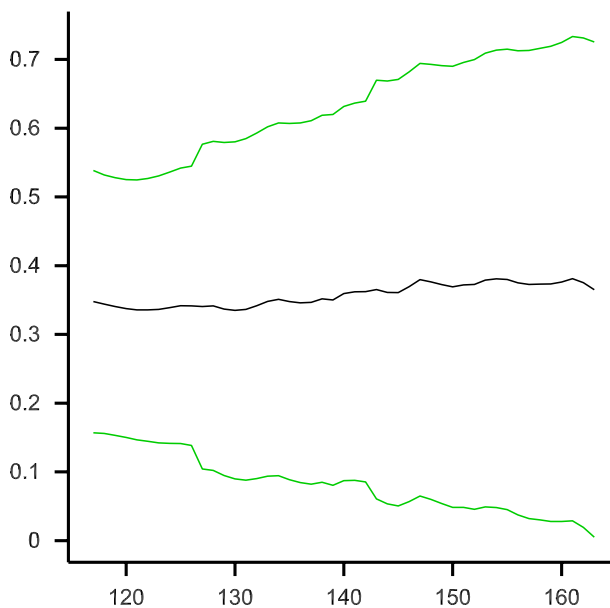
3.3.2 Retrospectieve analyse

De figuren 3.6 en 3.7 zijn vergelijkbaar met de voorgaande figuren. Ook hier weer, voor koe 1, het verloop van de parameterschattingen, maar nu gebaseerd op de retrospectieve analyse. In vergelijking met de voorgaande grafieken valt op dat het verloop nu minder variabel is. De stapsgewijze daling van het basisniveau is wel duidelijk te zien.

Figuur 3.6 Schatting basisniveau melkgift (Y-as, in kg/dag) versus lactatiedagen (X-as) voor koe 1. Verloop retrospectieve parameterschatting basisniveau (zwarte lijn) incl. 90% betrouwbaarheidsinterval (groene lijnen)

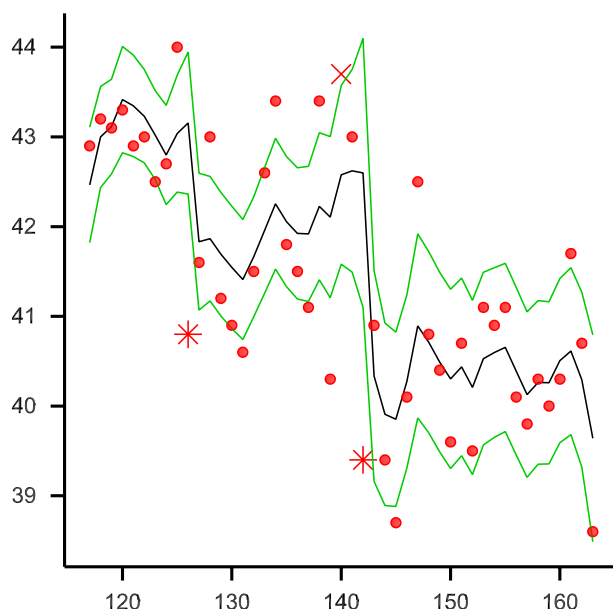


Figuur 3.7 Schatting krachtvoercoëfficiënt (Y-as) versus lactatiedagen (X-as) voor koe 1. Verloop retrospectieve parameterschatting krachtvoercoëfficiënt (zwarte lijn) incl. 90% betrouwbaarheidsinterval (groene lijnen)



Op basis van de retrospectieve analyse zijn de verwachte waarden ook opnieuw berekend, zie figuur 3.8. Deze verwachte waarden (fitted values) zijn te beschouwen als voorspellingen achteraf. Van de 47 waarnemingen vallen er nu 12 buiten het 95% betrouwbaarheidsinterval, dat is meer dan we verwachten uitgaande van normaliteit van de afwijkingen.

Figuur 3.8 Verwachte waarde melkgift (Y-as, in kg/dag) versus lactatiedagen (X-as) voor koe 1. Verloop verwachte waarde (zwarte lijn) gebaseerd op retrospectieve analyse incl. 95% betrouwbaarheidsinterval (groene lijnen)



3.3.3 Samenvatting meerdere series

Het model is aangepast voor alle 32 koeien uit het experiment zoals beschreven in hoofdstuk 2. Bij twee van de koeien was de serie niet compleet door uitval halverwege. Daarom zijn alleen de eindresultaten van 30 dieren meegenomen (zie bijlage 5).

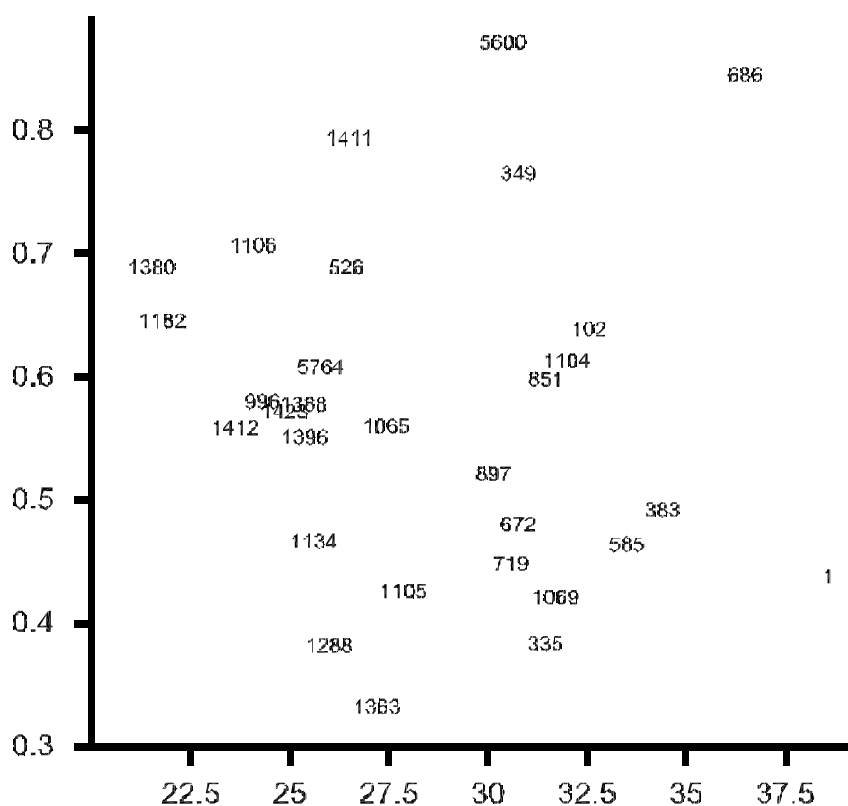
3.3.3.1 Waarnemingen en voorspellingen

Voor alle dieren bleek dat het model goed aan te passen was. Wel moet daarbij opgemerkt worden dat voor de beginschatting van het basisniveau is uitgegaan van de eerste waarneming. Dat valt te verdedigen omdat bij toepassing in de praktijk op een later tijdstip in de lactatie ook informatie aanwezig is over de productie in het voorgaande deel van de lactatie. Het model convergeert snel, al vanaf vijf dagen worden bruikbare voorspellingen gegeven. De over alle dieren gemiddelde voorspelnauwkeurigheid (mean squared error) is 1,38. Bij het dier met de laagste voorspelnauwkeurigheid bedraagt die 0,60 en bij het dier met de hoogste voorspelnauwkeurigheid 4,93.

3.3.3.2 Parameterschattingen

Omdat het model snel convergeert zijn ook de parameterschattingen vanaf vijf dagen stabiel. De schattingen van het basisniveau en de krachtvoercoëfficiënt zijn in figuur 3.9 tegen elkaar uitgezet. De schattingen zijn de gemiddelden van de schattingen per tijdstip uit de retrospectieve analyse. Het gemiddelde basisniveau voor alle koeien is 28,1 (minimum 20,9 en maximum 38,4). De krachtvoercoëfficiënt is gemiddeld 0,56 (minimum 0,33 en maximum 0,87).

Figuur 3.9 Parameterschattingen basisniveau (X-as) versus krachtvoercoëfficiënt (Y-as) van 30 dieren (nummers)



Zowel het basisniveau als de krachtvoercoëfficiënt zijn niet constant. Het basisniveau daalt bij de meeste koeien, in sommige gevallen stapsgewijs, met name na het optreden van een potentiële uitbijter. Bij enkele koeien bleef het niveau vrij constant. Ook de krachtvoercoëfficiënt daalt bij veel van de dieren, maar bij enkele koeien is de coëfficiënt constant of stijgt gering. De krachtvoercoëfficiënt varieert veel minder dan het basisniveau.

3.3.3.3 Monitoring

Gemiddeld wordt 6,4% van de waarnemingen als afwijkend gesignaleerd. Er is één koe met geen enkele afwijking en het maximum aandeel afwijkingen voor een koe is 14,9%. Verreweg het grootste deel van de afwijkingen betreft potentiële uitbijters (5,8%).

3.3.3.4 Retrospectieve analyse

Gemiddeld valt 19,9% van de waarnemingen buiten het 95% betrouwbaarheidsinterval voor de verwachte waarden. Het minimum is 8,5% en het maximum 31,9%.

3.4 Conclusie en discussie

Uit de resultaten blijkt dat het prototype model goed toepasbaar is en dat het resulteert in bruikbare parameterschattingen. Daarnaast blijkt de signalering van afwijkende waarnemingen goed te werken. Dat zijn echter alleen conclusies over de methodiek in technische zin. In hoeverre het model in praktische zin bruikbaar is, namelijk zodanig dat op de uitkomsten ook een krachtvoeradvies kan worden gebaseerd, is nader onderzocht en beschreven in hoofdstuk 4.

De dataset waarop het model is uitgetest (paragraaf 3.3) bestaat uit korte series van koeien in de tweede helft van de lactatie. Het is nog de vraag hoe het model werkt, wanneer dieren vanaf het begin van de lactatie worden gevolgd. Een ander aspect is dat bij deze dataset vooraf met opzet wijzigingen in de krachtvoergift zijn aangebracht om daarvan het effect na te gaan. Deze eerste toepassing is dus nog niet volledig gericht op de

krachtvoeradvisering. In vervolgonderzoek met het prototype model in een toegepast systeem zijn daarom een aantal dieren vanaf het begin van de lactatie gevolgd en is de krachtvoergift gebaseerd op on-line schattingen van de parameters. Dit vervolgonderzoek is beschreven in hoofdstuk 4.

3.4.1 Modeluitbreiding en -aanpassing

Enkele uitgangspunten van het prototype model zijn gebaseerd op resultaten van voorgaand onderzoek. Voor het effect van krachtvoeropname is verondersteld dat de krachtvoeropname gemiddeld over de voorgaande 3 dagen bepalend is en dat dit geldt voor alle dieren. De veronderstelling dat die periode voor alle dieren gelijk is en dat de opname op de verschillende dagen een gelijke invloed heeft is niet gevalideerd. Het is mogelijk om in het model uit te gaan van een vertraagd effect en zodoende voor ieder individu voor de verschillende dagen na te gaan wat het effect is (lagged variabele model).

Van het effect van krachtvoer is verondersteld dat het lineair is. Er is geen rekening mee gehouden dat de krachtvoerefficiëntie kan afnemen naarmate de opname hoger is (kwadratisch model, afnemende meeropbrengst).

Verder is er van uitgegaan dat de parameters gedurende de periode constant zijn (eerste orde model). Het is bekend dat de melkgift in het begin van de lactatie snel toeneemt en na de top geleidelijk weer daalt (persistentie). Met name voor het basisniveau en mogelijk ook voor de krachtvoercoëfficiënt is het model in dit opzicht niet correct. Het is mogelijk om de trend van de parameters in het model op te nemen (2^e of 3^e orde model).

Bij het model wordt door de keuze van de discountfactors bepaald welk deel van de variantie het gevolg is van het stochastische verloop van de parameters (systeemvariantie). Het resterende deel wordt toegeschreven aan de waarnemingsvariantie. De instelling van de discountfactors is gebaseerd op adviezen van Pole, West en Harrison (1999) en West en Harrison (1997), voortkomend uit de door hen beoordeelde toepassingen. Er is nog geen onderzoek gedaan naar de optimale instelling van de discountfactors. Daarbij moet ook gekeken worden naar het feit dat voor het basisniveau en de krachtvoercoëfficiënt verschillende discountfactors gelden (block discounting). Het gevolg hiervan is dat impliciet wordt verondersteld dat de systeemvariantie van beide parameters onafhankelijk zijn. Dat is echter maar zeer de vraag. Het lijkt gerechtvaardigd om te veronderstellen dat wanneer de efficiëntie van krachtvoer afneemt het basisniveau zal toenemen, met andere woorden dat beide parameters negatief zijn gecorreleerd.

Er is geen uitgebreide residu analyse uitgevoerd, maar wel is gebleken dat bij de retrospectieve analyse een groter deel van de waarnemingen buiten het betrouwbaarheidsinterval valt, dan op grond van normaliteit mag worden verwacht¹. Ook dit aspect is in het model op te nemen (mixture model). Een alternatief is om uit te gaan van een lognormale verdeling (logtransformatie).

Een ander gevolg is dat door deze afwijking van normaliteit er meer afwijkingen gesignaleerd worden dan op grond van de normale verdeling wordt verwacht. Mogelijk is daarom een lagere instelling van de grenswaarde gewenst.

Bovenstaande aspecten betreffen aanpassingen van het huidige model. Er zijn een tweetal uitbreidingen mogelijk die op langere termijn perspectief kunnen bieden.

In het model wordt de ruwvoeropname niet specifiek meegenomen. In onderzoek zijn die gegevens meestal voorhanden en in de praktijk kan dit in de toekomst ook geregistreerd gaan worden. Door het model uit te breiden kan ook het effect van de ruwvoeropname worden geschat.

Verder zijn de ruwvoeropname en krachtvoeropname te beschouwen als afzonderlijke processen. Het is mogelijk om deze processen ook te modelleren, samen met het model voor de voorspelling van de melkgift (multi-proces model).

¹ Ook bij eerdere soortgelijke analyses bleek sprake van een multinormale verdeling.

4 Toepassing in een krachtvoeradviesstelsysteem

4.1 Inleiding

Uit het voorbereidende onderzoek (zie hoofdstuk 2) bleek dat het toegepaste dynamische model het verloop van de dagelijkse melkgift goed voorspelt. Met behulp van historische gegevens (bestaande gegevens uit voederproeven met melkvee) is de melkproductierespons op krachtvoeropname gemodelleerd. De historische gegevens bleken echter niet optimaal geschikt voor de gewenste modellering omdat de krachtvoeropname te weinig varieerde. Immers, de meeste voederproeven zijn uitgevoerd met zogenaamde flat-feeding (geen dag tot dag verschillen in de krachtvoergift).

Daarom werd in een aanvullend experiment bewust variatie in de krachtvoergift aangebracht (paragraaf 2.2), waarmee melkproductieverschillen werden opgewekt. Dit experiment vergrootte het inzicht in de individuele effecten van verandering van de krachtvoeropname op de melkgift. Zo bleek dat bij plotselinge verandering van de krachtvoeropname, de koeien een flink deel van de gewijzigde energieopname compenseerden via aanpassing van de ruwvoeropname. De melkproductierespons op de gewijzigde krachtvoeropname was daardoor relatief klein en door het gehanteerde dynamisch model moeilijk te onderscheiden van de ruis. Het experiment uit paragraaf 2.2 is echter uitgevoerd met een basisrantsoen met een vrij hoge energiedichtheid. Mogelijk is de melkproductierespons op de krachtvoergift groter bij rantsoenen met een lage energiedichtheid. Een ander bezwaar van het experiment uit paragraaf 2.2 is het feit dat de krachtvoergiften tevoren per dier waren vastgesteld en niet afhankelijk waren gesteld van de melkproductierespons van het dier. Om te komen tot een daadwerkelijk adviesstelsysteem is die terugkoppeling vanuit de melkproductierespons naar de krachtvoergift wel gewenst.

Om tegemoet te komen aan de resterende vragen en wensen is vervolgens een proef uitgevoerd op de Waiboerhoeve, waarbij een prototype "Dynamisch Krachtvoer Advies Systeem" (DKAS) is toegepast. Hierbij is één van de groepen koeien gevoerd met een energiearm basisrantsoen (ca. 800 VEM/kg ds) om zodoende een grotere melkproductierespons op de krachtvoergift te initiëren. Bovendien is een "controlegroep" meegenomen voor het beoordelen van langere termijn effecten van het voeren volgens een dynamisch krachtvoeradviesstelsysteem. Deze controlegroep is op traditionele wijze volgens de norm gevoerd.

In paragraaf 4.2 volgt een beschrijving van de uitgevoerde proef, waarna in paragraaf 4.3 is beschreven hoe het model in technisch opzicht functioneerde (o.a. programmatuur). De resultaten van de toepassing worden toegelicht in paragraaf 4.4 en in paragraaf 4.5 worden afwijkingen geanalyseerd. Hoofdstuk 4 wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen voor verdere operationalisering en uitbreiding van het model (paragraaf 4.6).

4.2 Materiaal en methode

Op de Waiboerhoeve in Lelystad is een volledig gewarde blokkenproef uitgevoerd met $2 \times 2 = 4$ behandelingen en 64 nieuwmelkte koeien. De koeien waren ingedeeld in blokken van vier dieren. Binnen een blok werden de koeien aselekt verdeeld over de vier behandelingen. De blokindeling vond plaats op basis van lactatienummer, (verwachte) afkalfdatum, lichaamsgewicht, productieresultaten in de voorgaande afgesloten lijst (meerderekalfs koeien) of verwachtingswaarde (vaarzen) en gewicht. De vier behandelingen zijn beschreven in tabel 4.1. Het gaat om twee typen krachtvoeradvies (Traditioneel: TRAD en Dynamisch: DKAS), gecombineerd met twee typen basisrantsoen (respectievelijk met een "HOOG" energieniveau en een "LAAG" energieniveau).

Tabel 4.1 Overzicht van de vier behandelingen in de proef met 64 dieren

Krachtvoeradvies Ergieniveau	TRAD	DKAS	Totaal aantal dieren
HOOG	TRAD-H 16 dieren	DKAS-H 16 dieren	32 dieren
LAAG	TRAD-L 16 dieren	DKAS-L 16 dieren	32 dieren
Totaal aantal dieren	32 dieren	32 dieren	64 dieren

De proef is uitgevoerd in het stalseizoen 2000/2001 en de proefperiode per dier bedroeg tenminste 15 weken. Individuele registratie van de ruwvoeropname vond plaats via zogenaamde RIC-voerbakken.

De najaarskalvende proefkoeien kwamen uiterlijk twee weken voor de verwachte afkalfdatum achter de RIC-bakken voor gewinning aan het voersysteem. Het rantsoen voor deze koeien bestond globaal uit een mengsel

van 60% snijmaïs en 40% graskuil op ds-basis, aangevuld met ca. 2 kg tarwestro en 100 g droogstandsmineralen per dier per dag. Dit rantsoen werd gemengd gevoerd. Gedurende de laatste week voor de verwachte afkalfdatum werd 1 kg krachtvoer per dier per dag verstrekt via de krachtvoerautomaat. Na het afkalven werd overgeschakeld op een gemengd basisrantsoen voor lacterende koeien. Er werden twee basisrantsoenen aangemaakt voor respectievelijk het energieniveau HOOG (ca. 950 VEM/kg ds) en LAAG (ca. 800 VEM/kg ds). De globale samenstelling van deze rantsoenen is vermeld in tabel 4.2. In beide rantsoenen werd gestreefd naar VEM/DVE verhouding die in balans is met de behoeftenormen (CVB, 2002).

Tabel 4.2 Globale samenstelling van de basisrantsoenen HOOG en LAAG

Rantsoenkenmerk	HOOG	LAAG
VEM/kg ds	ca. 950	Ca. 800
Graskuil (% van de ds)	33	38
Snijmaïs (% van de ds)	61	33
Stro (% van de ds)	0	29
Sojaschroot (% van de ds)	6	0
Standaardmineralen (g/dier/dag)	100	100
Zout (g/dier/dag)	30	0

Het basisrantsoen werd onbeperkt verstrekt, wat wil zeggen dat werd gevoerd op ca. 10% voerresten. Eén keer per dag werd het voer vers gemengd en op een vast tijdstip gevoerd. Dagelijks werden de voerresten verwijderd. Na het afkalven werd de krachtvoergift van alle proefkoeien via een automatisch opstoomschema voor de krachtvoerautomaat gedurende 14 dagen geleidelijk verhoogd. Het krachtvoerniveau op lactatiedag 15 (einde opstomen) is vermeld in tabel 4.3.

Tabel 4.3 Berekeningswijze van de individuele krachtvoergift voor de verschillende proefgroepen

Krachtvoergift na afkalven	TRAD-H	TRAD-L	DKAS-H	DKAS-L
krachtvoergift t/m lactatiedag 14	opstomen	opstomen	opstomen	opstomen
krachtvoergift op lactatiedag 15				
– vaarzen	8 kg	10 kg	8 kg	10 kg
– oudere koeien	10 kg	12 kg	10 kg	12 kg
krachtvoergift lactatiedag 15 – 60				
– vaarzen	8 kg	10 kg	volgens DKAS	volgens DKAS
– oudere koeien	10 kg	12 kg	volgens DKAS	volgens DKAS
krachtvoergift vanaf lactatiedag 61				
– vaarzen	normvoeding	normvoeding	volgens DKAS	volgens DKAS
– oudere koeien	normvoeding	normvoeding	volgens DKAS	volgens DKAS
maximum krachtvoergift				
– vaarzen	8 kg	10 kg	vrij	vrij
– oudere koeien	10 kg	12 kg	vrij	vrij

Vanaf lactatiedag 61 is wekelijks de individuele krachtvoergift van dieren in de groepen TRAD-H en TRAD-L berekend en waar nodig aangepast op basis van normvoeding. Voor de groepen DKAS-H en DKAS-L werd vanaf lactatiedag 15 de individuele krachtvoergift berekend met behulp van het “Dynamisch Krachtvoer Advies Systeem” met als input de melkgift en de krachtvoeropname. Drie maal per week werden de aldus berekende individuele krachtvoergiften op het proefbedrijf bijgesteld: op maandag, woensdag en vrijdag. Bij een voorspelde krachtvoercoëfficiënt van meer dan 0,6 kg melk per kg krachtvoer werd de krachtvoergift van het betreffende dier verhoogd met 0,5 kg; bij een krachtvoercoëfficiënt tussen 0,5 en 0,6 werd de krachtvoergift niet bijgesteld en beneden een krachtvoercoëfficiënt van 0,5 werd de krachtvoergift verlaagd met 0,5 kg. Deze beslisriteria (de genoemde grenswaarden van resp. 0,5 en 0,6) waren enigszins arbitrair vastgesteld op basis van de verhouding tussen de melkgeldopbrengst en de krachtvoerkosten. Bij toepassing van een dynamisch krachtvoeradviesstelsel in de praktijk zouden wellicht andere criteria gekozen worden. Voor het beantwoorden

van de onderzoeksvragen was de keuze van de besliscriteria echter minder relevant, omdat het principe van de werking van het systeem er niet door beïnvloed wordt.

Het krachtvoer werd verstrekt in de melkstal (twee maal per dag ¼ kg lokbrok) en via krachtvoerautomaten. De lokbrok in de melkstal komt bovenop de in tabel 4.3 vermelde hoeveelheid. De krachtvoerdosering (hoeveelheid) door de automaten werd na iedere bulkaflevering gecontroleerd en waar nodig bijgesteld omdat het soortelijk gewicht per partij kan verschillen.

De individuele krachtvoeropname (gift en rest) is dagelijks geregistreerd. Aanvankelijk was voorzien de individuele opname van het basisrantsoen via zogenaamde RIC-voerbakken gedurende de eerste 15 proefweken te registreren, maar uiteindelijk bleken de proefdieren voldoende lang beschikbaar om 17 proefweken te volgen.

De gerealiseerde samenstelling van de basisrantsoenen (aandeel van elk component) is dagelijks geregistreerd. Dagelijks werd per component van het basisrantsoen het ds-gehalte bepaald voor het realiseren van de gewenste mengverhouding van de basisrantsoenen. Bij homogene partijen werd deze frequentie teruggebracht tot minimaal één keer per week. Dagelijks werd per basisrantsoen een duplo-monster uit de voerbakken c.q. aan het voerhek of uit de voermengwagen genomen voor ds-bepaling ten behoeve van de voeropnamebepaling.

Wekelijks werd van de ruwvoerders (snijmaïs, graskuil en stro) een monster genomen voor bepaling van de voederwaarde. Graskuil- en snijmaïsmoesters werden bewaard in de diepvries, stro monsters op een droge plaats. Na afloop van de proef zijn de ruwvoermoesters per partij per ca. vier weken (stro per ca. tien weken) tot een verzamelmonster samengevoegd.

In de ruwvoermoesters zijn de volgende bepalingen uitgevoerd: ds, re, rc, ras, suiker (graskuil), zetmeel (snijmaïs), NH₃ (graskuil), VCOS (T&T), NDF, ADF, ADL, Ca, P, Mg, K en Na. Vervolgens zijn de VEM- en DVE-waarde en de OEB berekend.

Per krachtvoerleverantie is een monster genomen van de brok en is geregistreerd gedurende welke dagen van een bepaalde leverantie is gevoerd. Wekelijks is een monster genomen van de enkelvoudige krachtvoerders zoals sojaschroot. Na afloop is per krachtvoerstoort een verzamelmonster geanalyseerd op ds, ras, re, rc, rvet, suiker, zetmeel, Ca, P, Mg, K en Na.

De proefgroepen werden twee maal daags gemolken. Wekelijks vond melkcontrole (vet, eiwit, lactose) plaats volgens het zogenaamde "AA+OO"-systeem, waarbij de melk tijdens vier opeenvolgende melkingen wordt bemonsterd en vervolgens de avondmoesters worden samengevoegd tot een stapelmonster en de ochtendmoesters worden samengevoegd tot een stapelmonster.

Het individuele lichaamsgewicht werd van maandag tot en met vrijdag dagelijks geregistreerd voorafgaande aan de ochtendmelking en met behulp van de automatische weegbrug.

Eén maal per twee weken werd van alle proefdieren de lichaamsconditie gescoord en geregistreerd. Dit gebeurde telkens op een vaste dag en door dezelfde persoon.

4.3 Technisch functioneren van het model

Bij de start van de proef waren er enkele problemen met de datacommunicatie en enkele technische problemen met de krachtvoerautomaat, maar die waren incidenteel en snel opgelost, zodat daarvan geen nadelige effecten waren op het verdere verloop van de proef.

Het dynamisch model werd per dier drie maal per week aangepast en zonodig werd het krachtvoeradvies aangepast op basis van de voorspelde krachtvoercoëfficiënt.

In alle gevallen convergeerde het model snel en werden bruikbare voorspellingen en parameterschattingen verkregen. Ook de signalering van uitbijters gevolgd door automatische aanpassing van de modelparameters verliep goed.

4.4 Resultaten

In tabel 4.4 is de gemiddelde voer- en nutriëntenopname per proefgroep weergegeven voor de proefperiode van 17 weken. Uit deze tabel blijkt dat de koeien uit DKAS meer droge stof opnemen dan de koeien uit TRAD. Vooral de krachtvoeropname is hoger, waardoor er bij DKAS meer ruwvoer is verdrongen. Ook de VEM- en DVE opname waren hoger voor DKAS dan voor TRAD, waarbij DKAS-H hoger was dan DKAS-L en TRAD-H hoger dan TRAD-L. De rantsoensamenstelling van de vier proefgroepen (DKAS-H, DKAS-L, TRAD-H en TRAD-L) is gegeven in bijlage 6. Daarbij zijn de voederwaarde en chemische samenstelling gegeven per kilogram droge stof. Aanvullend is in bijlage 6 een overzicht gegeven van de voederwaarde en samenstelling van de gebruikte voeders.

Tabel 4.4 Gemiddelde voer- en nutriëntenopname per proefgroep gedurende 17 proefweken

	DKAS-H	DKAS-L	TRAD-H	TRAD-L
<i>Opname (per dier per dag)</i>				
Droge stof (kg)	23,8 ^a	23,1 ^a	21,6 ^b	20,8 ^b
Graskuil (kg ds)	4,1 ^a	4,3 ^a	4,5 ^b	4,6 ^b
Snijmaïs (kg ds)	7,9 ^a	4,1 ^b	8,6 ^c	4,3 ^b
Stro (kg ds)	0,0 ^a	2,7 ^b	0,0 ^a	2,8 ^b
Sojaschroot (kg ds)	0,6 ^a	0,0 ^b	0,7 ^c	0,0 ^b
Zout/mineralen (kg ds)	0,14	0,14	0,15	0,15
Krachtvoer, brok (kg ds/dag)	11,0 ^a	11,8 ^a	7,6 ^b	9,0 ^c
Ruwvoer:Krachtvoer	51:49	48:52	61:39	56:44
KVEM	23,6 ^a	21,4 ^b	21,1 ^b	18,8 ^c
DVE (g)	2124 ^a	1907 ^b	1805 ^c	1599 ^d
OEB (g)	271 ^a	196 ^b	243 ^c	224 ^c

^{a,b,c,d} verschillende superscripts binnen één regel wijzen op een significant paarsgewijs verschil ($P < 0,05$)

Tabel 4.5 beschrijft de gemiddelde energie- en eiwitbalans en het verloop van het lichaamsgewicht per proefgroep gedurende dezelfde periode. Hieruit is af te leiden dat voor alle proefgroepen gemiddeld over de proefperiode van 17 weken een negatieve energie- en eiwitbalans is berekend, waarbij opvalt dat het energietekort bij DKAS beduidend kleiner was dan bij TRAD. Ondanks de negatieve energiebalans zijn de DKAS-dieren gemiddeld in gewicht toegenomen wanneer het begin en eindgewicht van de proef wordt vergeleken. Ook de TRAD-groepen zijn in gewicht toegenomen tijdens de proef, zij het minder dan bij DKAS.

Het gemiddelde conditiescoreverloop per proefgroep is grafisch weergegeven in bijlage 7. Het blijkt dat de gemiddelde conditiescore van alle proefgroepen in geringe mate toename gedurende de proefperiode van 17 weken. Aan het eind van deze proefperiode bedroeg de gemiddelde conditiescore voor elke groep ca. 2,5.

Tabel 4.5 Gemiddelde energie- en eiwitbalans en verloop van het lichaamsgewicht per proefgroep gedurende 17 proefweken

	DKAS-H	DKAS-L	TRAD-H	TRAD-L
<i>Energie/eiwit balans (per dier per dag)</i>				
VEM balans	-658	-883	-2660	-3280
DVE balans (g)	-277	-98	-402	-239
<i>Gewicht (per dier per dag)</i>				
Begin gewicht (kg)	583	593	592	589
Minimaal gewicht (kg)	572	589	583	582
Eind gewicht (kg)	612	613	610	590
Verskil, eind - begin (kg)	29	20	18	1
Gemiddeld gewicht (kg)	587	600	594	586

Tabel 4.6 geeft een overzicht van de gemiddelde melkproductieresultaten van de proef. Het blijkt dat de groepen DKAS-H en TRAD-H een hogere (meet)melkgift realiseerden dan DKAS-L en TRAD-L. Ook de melkeiwitproductie was het hoogst bij de groepen op het hoge (H) energieniveau. De hoogste melkvetgehalten kwamen voor bij DKAS-L en TRAD-L, terwijl in het melkeiwitgehalte geen wezenlijke verschillen tussen groepen werden aangetoond.

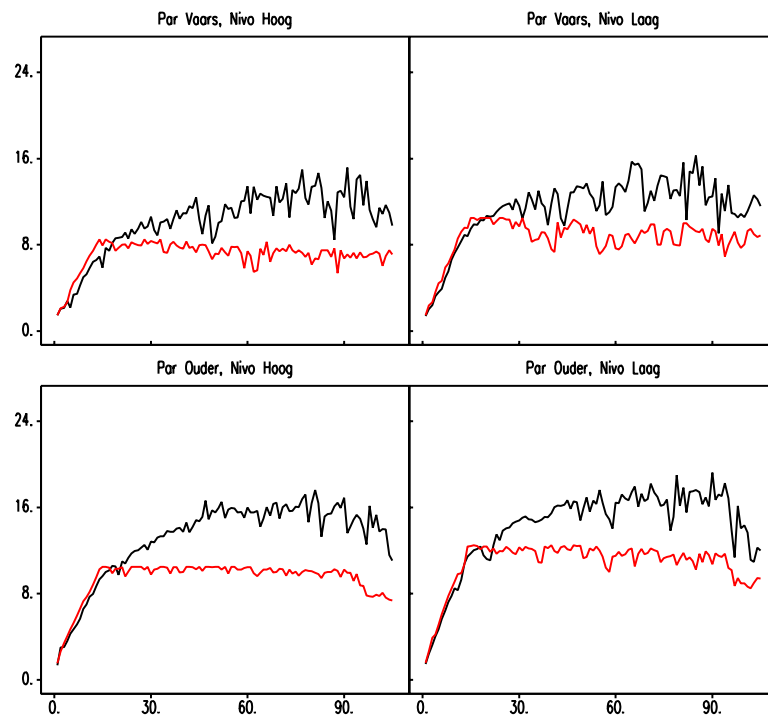
Tabel 4.6 Gemiddelde melkproductieresultaten per proefgroep gedurende 17 proefweken

	DKAS-H	DKAS-L	TRAD-H	TRAD-L
<i>Productie (per dier per dag)</i>				
Melkgift (kg)	38,7 ^a	32,8 ^b	36,9 ^a	32,6 ^b
Vet (%)	4,24 ^a	4,78 ^b	4,45 ^a	4,85 ^b
Eiwit (%)	3,51	3,55	3,58	3,49
Lactose (%)	4,69	4,64	4,66	4,65
Vet (g)	1642	1567	1642	1582
Eiwit (g)	1358 ^a	1164 ^b	1320 ^a	1136 ^b
FPCM (kg)	40,2 ^a	36,2 ^b	39,4 ^a	36,1 ^b

^{a,b,c,d} verschillende superscripts binnen één regel wijzen op een significant paarsgewijs verschil ($P < 0,05$)

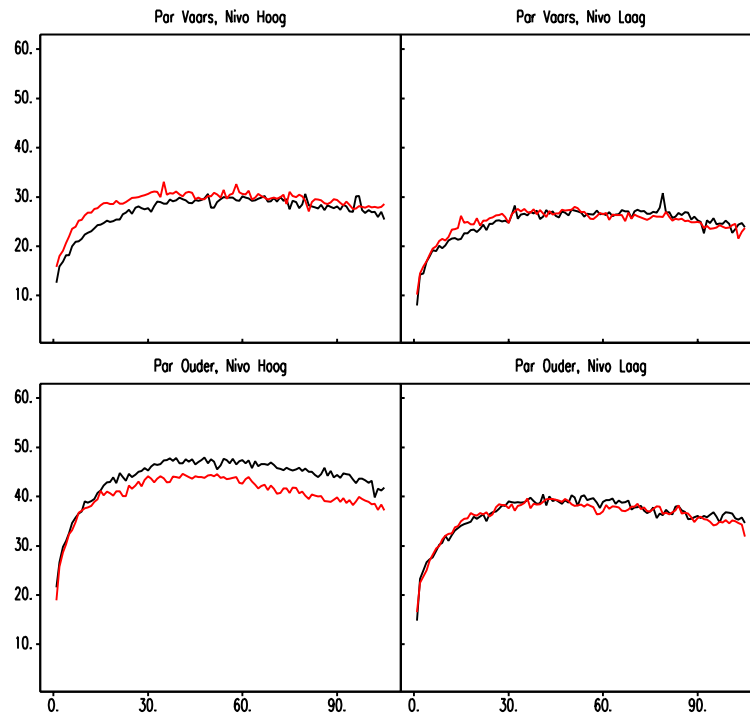
In figuur 4.1 is het gemiddelde verloop van de krachtvoeropname per proefgroep weergegeven. De eerste 14 dagen is er weinig verschil tussen de adviessystemen. Daarna stijgt de krachtvoeropname bij het dynamische systeem geleidelijk verder tot een plateau van dag 50 tot 80. Pas na dag 90 is er een begin van een daling te zien.

Figuur 4.1 Verloop gemiddelde krachtvoeropname (Y-as, kg/dag) per proefgroep vanaf afkalven t/m 105 dagen in lactatie (lactatiedagen op X-as). Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau



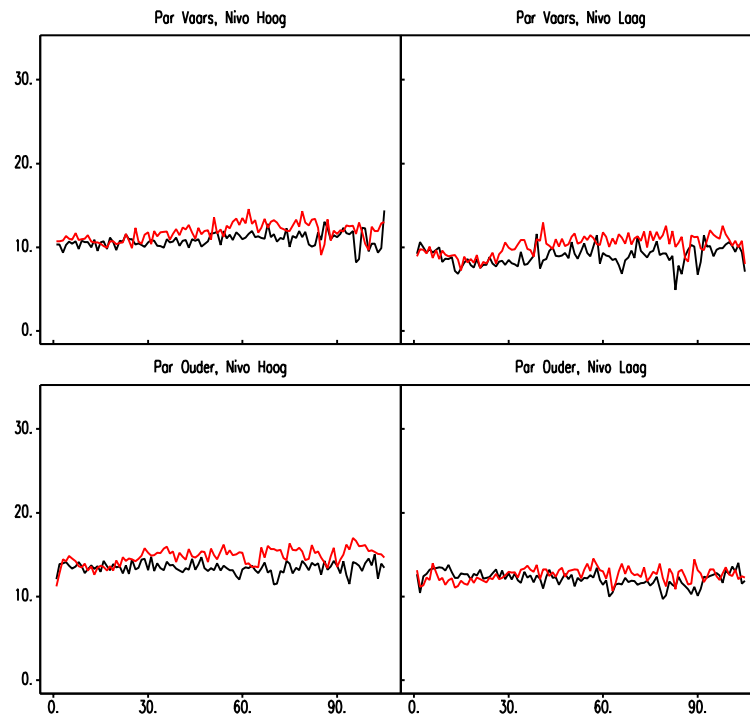
In figuur 4.2 is het gemiddelde verloop van de melkgift per proefgroep gegeven. Bij de oudere koeien in de groep met hoge kwaliteit ruwvoer ligt de melkgift bij DKAS op een wat hoger niveau dan bij TRAD. Bij de vaarzen en bij de oudere koeien op een laag energetisch basisrantsoen zijn er nauwelijks verschillen in het gemiddelde verloop van de melkgift tussen DKAS en TRAD.

Figuur 4.2 Verloop gemiddelde melkgift (Y-as, in kg/dag) per proefgroep, gebaseerd op de waarnemingen, gedurende de eerste 105 lactatiedagen (X-as). Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau



In figuur 4.3 is het gemiddelde verloop van de ruwvoeropname per proefgroep gegeven. De ruwvoeropname in de traditionele groepen ligt in vrijwel alle gevallen iets boven die van de groepen die volgens het dynamisch krachtvoeradviesysteem gevoerd zijn (zie ook tabel 4.4). Dit lijkt samen te hangen met de hogere ruwvoerverdringing door het hogere krachtvoerniveau bij DKAS (zie ook figuur 4.1).

Figuur 4.3 Verloop gemiddelde ruwvoeropname (Y-as, in kg ds/dier/dag) per proefgroep, gedurende de eerste 105 lactatiedagen (X-as). Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau

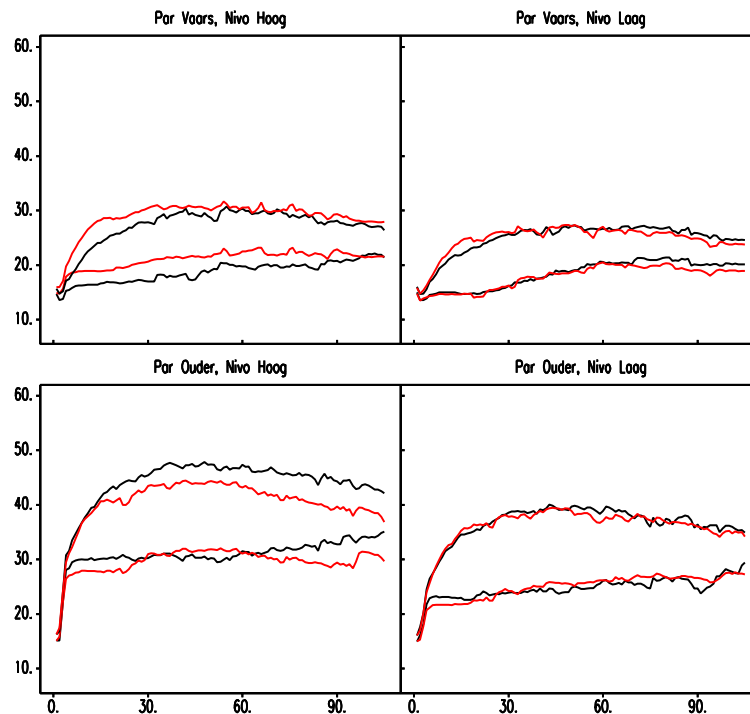


Dit rapport gaat niet uitgebreid in op statistische toetsing van de verschillen tussen de experimentele groepen, aangezien dit niet tot de doelstelling van het onderzoek behoorde. Het gaat immers om specifieke resultaten van de toepassing van het dynamische lineaire model. De beschrijving is bedoeld om de uitkomsten van het dynamisch model te interpreteren en te bediscussieren. Zowel voor wat betreft het model als het daarop gebaseerde advies gaat het om een prototype. Eerst wordt ingegaan het verloop van de melkgift en daarna op de schatting van de krachtvoercoëfficiënt.

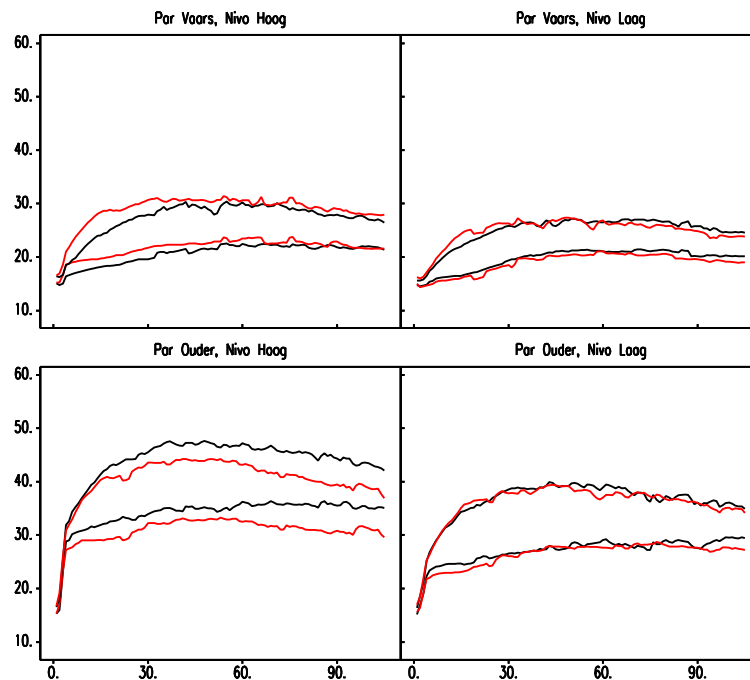
4.4.1 Verloop melkgift

Het verloop van de melkgift is in figuur 4.2 gebaseerd op de waarnemingen. In figuur 4.4 is eveneens het verloop van de melkgift weergegeven, maar dan gebaseerd op de on-line voorspellingen door het dynamisch lineaire model. Tenslotte is in figuur 4.5 wederom hetzelfde verloop weergegeven, maar dan gebaseerd op de gefitte waarden die zijn te beschouwen als voorspellingen achteraf (retrospectieve analyse).

Figuur 4.4 Verloop gemiddelde melkgift (Y-as, in kg/dag) per proefgroep gedurende de eerste 105 lactatiedagen (X-as), gebaseerd op on-line voorspellingen. Bovenste lijnenpaar geeft telkens de totale melkgift weer, onderste paar lijnen betreft het verloop van het basis niveau. Het tussenliggende deel is dus de schatting van de hoeveelheid melk die is geproduceerd uit krachtvoer. Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau

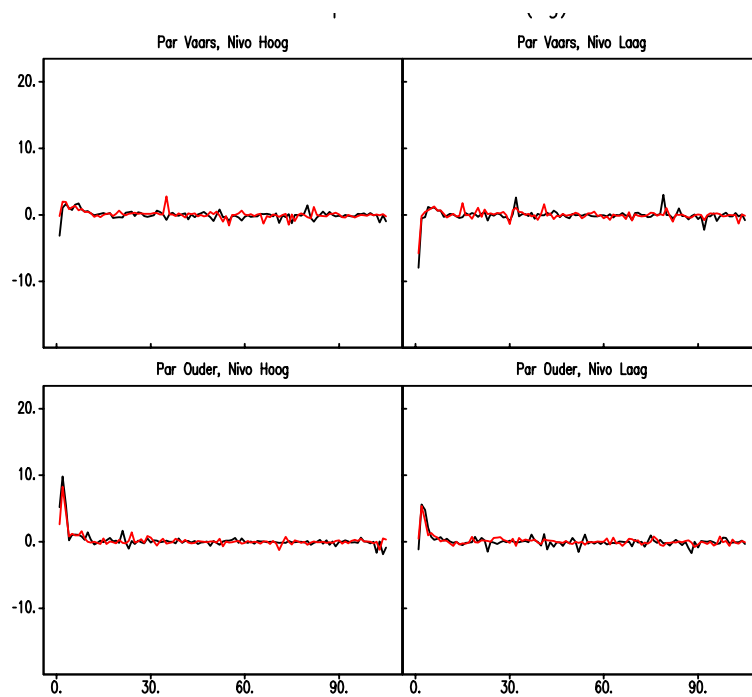


Figuur 4.5 Verloop gemiddelde melkgift (Y-as, in kg/dag) per proefgroep gedurende de eerste 105 lactatiedagen (X-as), gebaseerd op gefitte waarden. Bovenste lijnenpaar geeft telkens de totale melkgift weer, onderste paar lijnen betreft het verloop van het basis niveau. Het tussenliggende deel is dus de schatting van de hoeveelheid melk die is geproduceerd uit krachtvoer. Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau

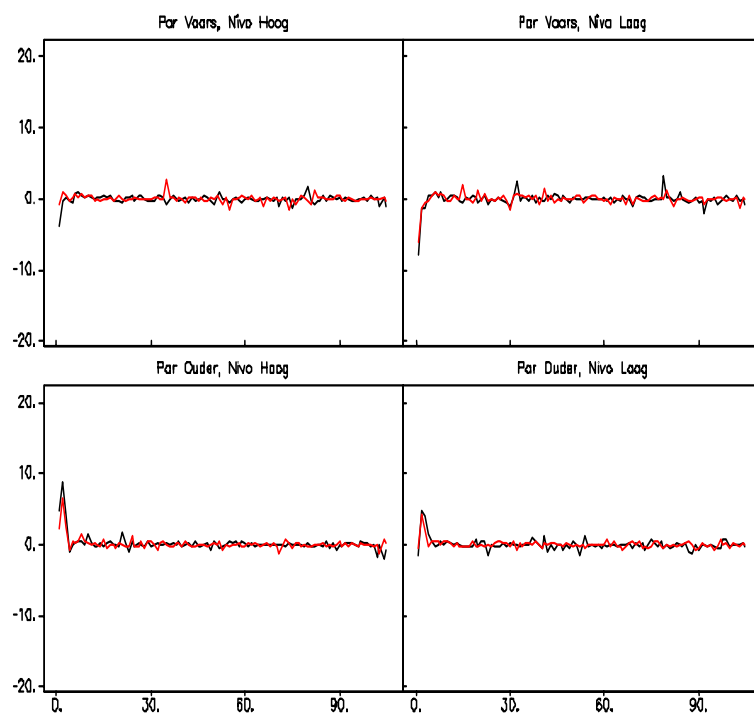


Vergelijken we het retrospectieve verloop van de melkgift (figuur 4.5) met het verloop gebaseerd op de waarnemingen (figuur 4.2), dan kunnen we vaststellen of er sprake is van een systematische afwijking (de zogemaande "bias"). In figuur 4.6 is het gemiddelde verschil van de waargenomen melkgift ten opzichte van de voorspelde melkgift weergegeven. In figuur 4.7 staat het verschil ten opzichte van de gefitte waarden, de voorspellingen achteraf. Uit beide grafieken blijkt dat er alleen een afwijking is aan het begin in de eerste week van de lactatie. Voor de vaarzen geldt dat de melkgift aan het begin wordt overschat en voor de oudere dieren het omgekeerde: de melkgift wordt onderschat. Dat komt doordat zowel voor vaarzen als voor oudere dieren dezelfde beginschatting voor het basisniveau is gebruikt, namelijk 15 kg melk per dag. De systematische afwijking verdwijnt snel, na één week is er geen sprake meer van een systematische afwijking. Een nadere analyse van de afwijkingen is beschreven in paragraaf 4.5.

Figuur 4.6 Systematische afwijking (bias) van de waargenomen versus de voorspelde melkgift (Y-as, in kg/dag) gedurende de eerste 105 dagen van de lactatie (X-as). Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau



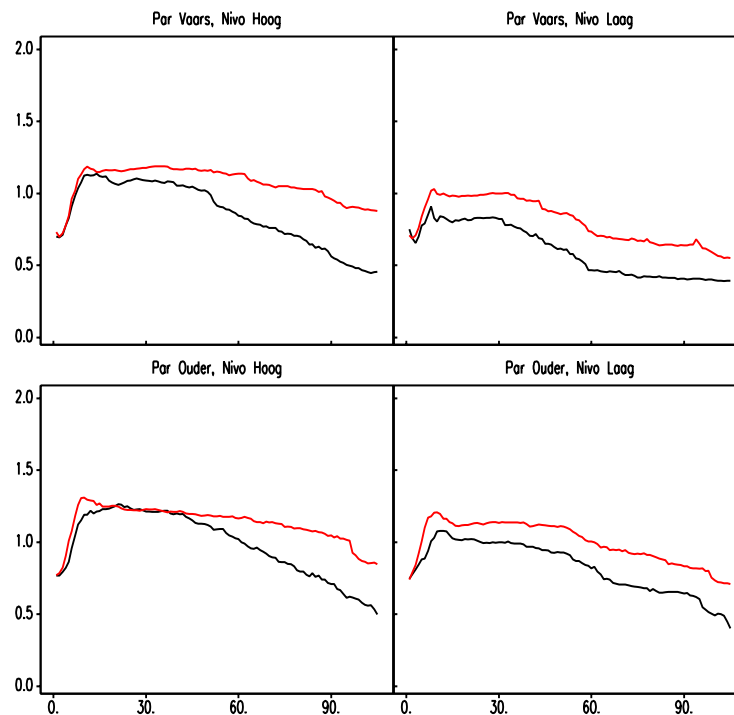
Figuur 4.7 Bias van de waargenomen versus de verwachte –d.w.z. gefitte– melkgift (Y-as, kg/dag) gedurende de eerste 105 dagen van de lactatie (X-as). Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau



4.4.2 Schatting van de krachtvoercoëfficiënt

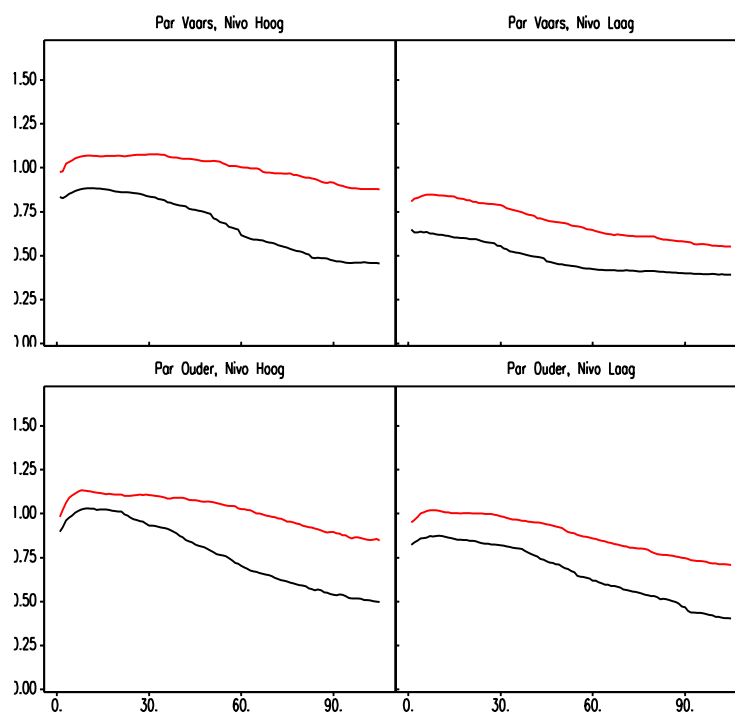
In figuur 4.8 is het verloop van het gemiddelde van de on-line schatting van de krachtvoercoëfficiënt weergegeven. In de eerste week is er een snelle stijging tot een kleine piek in de 2^e en 3^e week. Daarna daalt de coëfficiënt geleidelijk, het snelst in de groep DKAS-H. Dat wijst erop dat ook voor de krachtvoergift geldt dat er sprake is van een afnemende meeropbrengst. Opvallend is dat de gemiddelde krachtvoercoëfficiënt van de DKAS-groepen een flink deel van de proefperiode boven de waarde 0,6 blijft, wat in deze proef als omslagpunt voor verhoging van de krachtvoergift werd aangehouden (zie ook paragraaf 4.2). Dit betekent dat bij veel koeien behoorlijk lang is doorgegaan met het telkens verhogen van de krachtvoergift.

Figuur 4.8 Verloop van de on-line schatting van de krachtvoercoëfficiënt (Y-as, kg melk/kg krachtvoer) per proefgroep gedurende de eerste 105 dagen van de lactatie (X-as). Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau



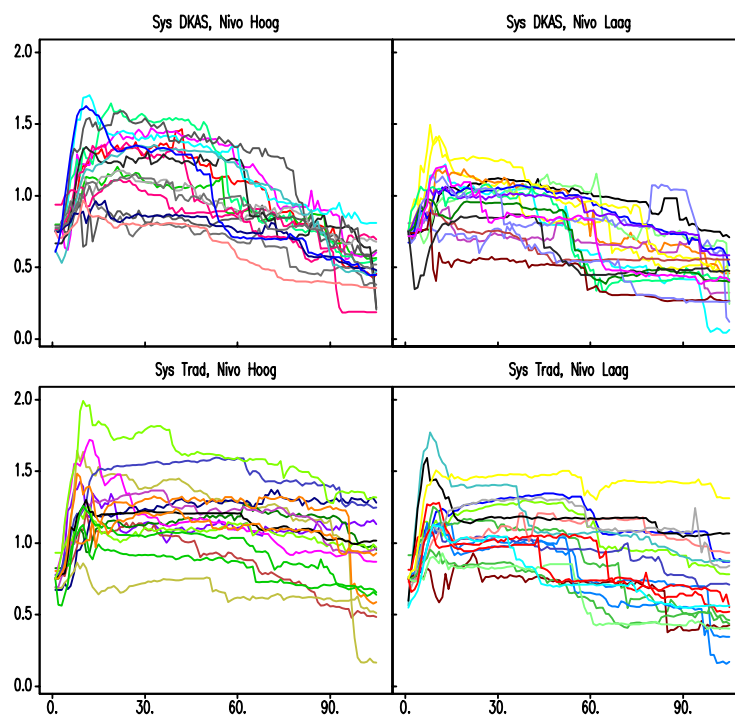
In figuur 4.9 is het verloop weergegeven van de schatting van de krachtvoercoëfficiënt uit de retrospectieve analyse. Wat daar opvalt is dat er al vanaf het eerste begin een verschil in niveau is tussen de traditionele en de dynamische groep. Dat verschil kan er in werkelijkheid niet zijn, want in de eerste weken is er geen verschil in behandeling van beide groepen. Het verschil is als volgt te verklaren: in het model wordt verondersteld dat de krachtvoercoëfficiënt constant is gedurende de lactatie. Nu blijkt uit de on-line schattingen dat er wel een trend is, nl. een geleidelijke daling. Die daling wordt bij de retrospectieve analyse weggefilterd, waardoor de lijnen vlakker komen te liggen. Het gevolg is een onderschatting in het begin en een overschatting aan het eind.

Figuur 4.9 Verloop van de krachtvoercoëfficiënt uit de retrospectieve analyse (Y-as, kg melk/kg krachtvoer), per proefgroep gedurende de eerste 105 dagen van de lactatie (X-as). Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau



Om de verschillen tussen dieren te laten zien is in figuur 4.10 het verloop van de on-line schatting van de krachtvoercoëfficiënt per dier weergegeven. Er is sprake van een grote variatie tussen dieren, de coëfficiënt varieert van ongeveer 0,2 kg melk tot 1,9 kg melk per kg krachtvoer.

Figuur 4.10 Individueel verloop (per dier een gekleurde lijn) van de on-line schatting van de krachtvoercoëfficiënt (Y-as, kg melk/kg krachtvoer) gedurende de eerste 105 dagen van de lactatie (X-as). Onderscheid tussen 1) linksboven: DKAS op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: DKAS op laag energieniveau, 3) linksonder: TRAD op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: TRAD op laag energieniveau



4.5 Analyse van de afwijkingen

In paragraaf 4.3 zijn de resultaten van de eerste toepassing van het prototype van een krachtvoeradviesstelsel gebaseerd op on-line schatting van de krachtvoercoëfficiënt beschreven. Daarbij is een nadere analyse van de afwijkingen zinvol. Vooraf moet wel worden opgemerkt, dat reeds is geconstateerd, dat er sprake is van systematische afwijking van het model (bias), met name in de eerste weken van de lactatie. Ook is het van belang er rekening mee te houden dat eventuele verdere aanpassingen van het model van invloed kunnen zijn op de afwijkingen zoals die nu zijn opgetreden.

De aandacht bij de analyse van afwijkingen is met name gericht op de afwijkingen die voorkomen vanaf de 3^e week in de lactatie, omdat dat het beste een beeld geeft over de te verwachten resultaten van een verbeterde versie van het model.

In paragraaf 4.5.1. wordt enige achtergrond gegeven over afwijkingen van een dynamisch lineair model, omdat die situatie anders is dan de bestudering van afwijkingen (residuen) van een gewoon lineair model. Daarna wordt de grootte van de voorspelfout besproken in paragraaf 4.5.2. Ook wordt ingegaan op de afwijkingen die niet als potentiële uitbijters zijn gesignaleerd (bijlage 10) en op afwijkingen die als potentiële uitbijters door het model zijn gesignaleerd (paragraaf 4.5.3).

4.5.1 Afwijkingen van een dynamisch lineair model

Bij een gewoon lineair model betreffen de afwijkingen (residuen) het verschil tussen de waarnemingen en de verwachte waarden (fit) volgens het model. Bij een dynamisch lineair model komen twee soorten afwijkingen voor. Vergelijkbaar met de hiervoor genoemde residuen zijn de afwijkingen van de waarnemingen t.o.v. de verwachte waarden berekend op basis van de retrospectieve analyse (voorspellingen achteraf). De andere soort betreft de

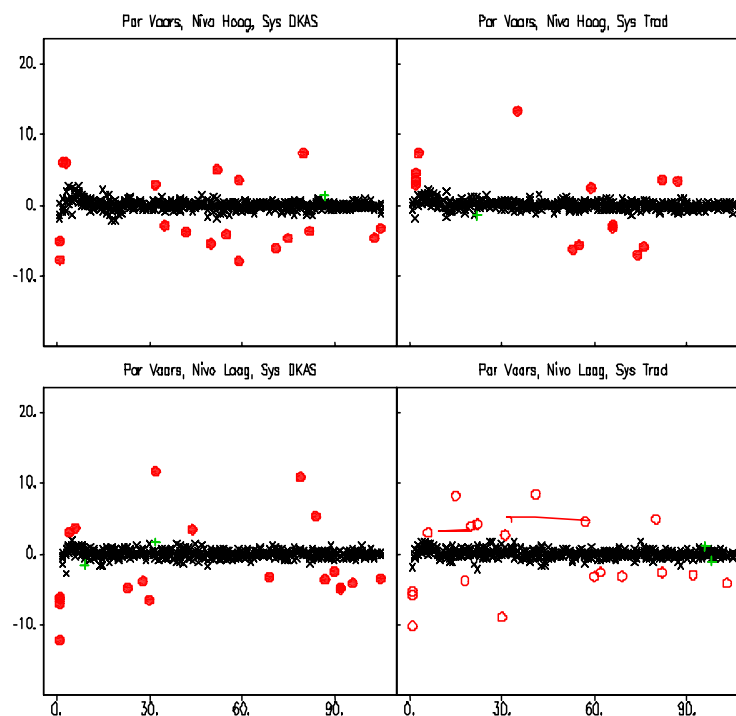
voorspelfouten, de afwijkingen van de waarnemingen Y_t t.o.v. de voorspellingen vooraf f_t . Hoewel voor beide soorten residuen een foutenanalyse kan worden uitgevoerd ligt het bij deze analyse het meest voor de hand om te kijken naar de voorspelfouten $e_t = Y_t - f_t$. Want de voorspellingen vormen de basis voor de signaleringen en wanneer het model niet goed is, komt dat tot uiting in de voorspelfouten. De kwaliteit van het model is in belangrijke mate afhankelijk van de grootte van de voorspelfout. En voor de monitoringsfunctie is van belang of aan de veronderstellingen van het model is voldaan. Op deze twee aspecten richt zich de foutenanalyse.

Voor de voorspelfouten geldt op basis van de modelveronderstellingen dat deze bij benadering² normaal verdeeld zijn met verwachting 0 en voorspelvariantie $Q_t: e_t \sim N(0, Q_t)$.

In de voorspelvariantie is zowel de waarnemingsvariantie als de onzekerheid van de modelparameters (schattingsonnauwkeurigheid en stochastische variatie in de tijd) verdisconteerd, deze variantie valt dus te beschouwen als de totale variantie. De voorspelvariantie is niet constant in de tijd, maar wordt evenals de niveau-parameters on-line geschat. Verder is het zo dat bij deze toepassing, na het optreden van een potentiële uitbijter of de signalering van een geleidelijk groeiende afwijking van het model, automatisch de onzekerheid en daarmee de voorspelvariantie wordt vergroot.

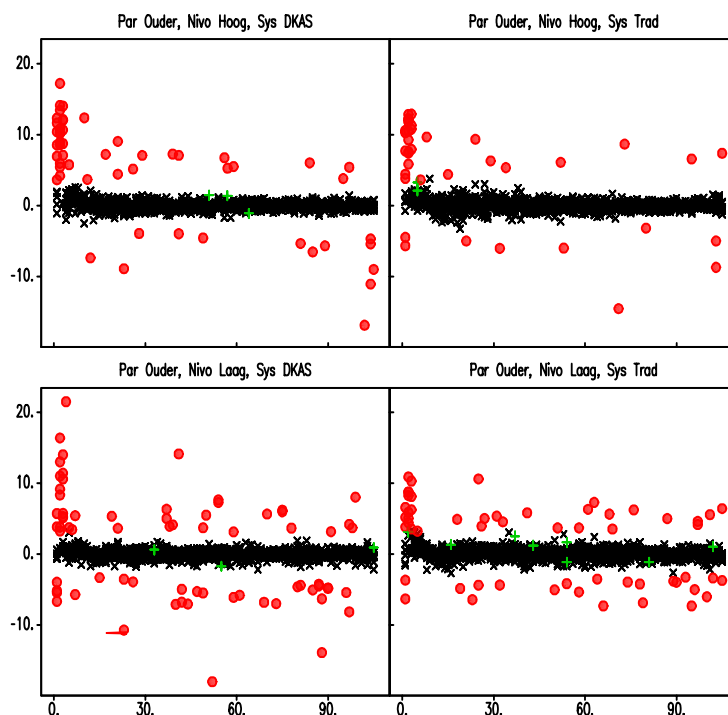
In de figuren 4.11 (vaarzen) en 4.12 (oudere koeien) zijn de voorspelfouten voor de verschillende proefgroepen weergegeven. Duidelijk te zien is dat de potentiële uitbijters grote afwijkingen van de voorspellingen zijn. De waarnemingen waarbij een geleidelijk groeiende afwijking is gesignaleerd, onderscheiden zich niet van de rest. Verder valt op dat potentiële uitbijters met name voorkomen aan het begin van de lactatie.

Figuur 4.11 Voorspelfouten (x), potentiële uitbijters (•) en overige afwijkingen (+) voor vaarzen. Onderscheid tussen: 1) linksboven: DKAS-H, 2) rechtsboven: TRAD-H, 3) DKAS-L en 4) TRAD-L. Op de X-as: lactatiedagen. Merk op dat de overige afwijkingen (+) vaak liggen in het gebied van de voorspelfouten (x) en daardoor vaak niet zichtbaar zijn in de figuur



² Omdat de variantie wordt geschat volgt e_t een Student t-verdeling, maar bij voldoende waarnemingen is het aantal vrijheidsgraden groot genoeg voor een normale benadering ($df > 15$).

Figuur 4.12 Voorspelfouten (x) , potentiële uitbijters (•) en overige afwijkingen (+) voor oudere dieren. Onderscheid tussen: 1) linksboven: DKAS-H, 2) rechtsboven: TRAD-H, 3) DKAS-L en 4) TRAD-L. Op de X-as: lactatiedagen



In bijlage 8 is het verloop van de voorspelvariantie weergegeven. Het betreft de mediaan³ van alle voorspelvarianties van een groep dieren per lactatieweek. De voorspelvariantie is niet constant in de tijd, maar verschilt ook tussen dieren. In paragraaf 4.5.2 wordt onder andere nader ingegaan op de verschillen tussen dieren.

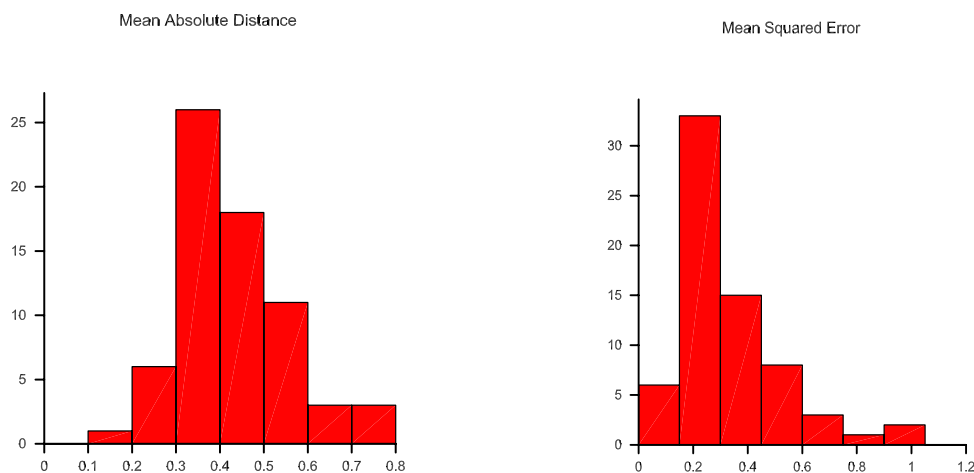
4.5.2 Voorspelfout

Als maat voor de voorspelfout wordt vaak genomen de gemiddelde kwadratische fout (MSE is mean squared error) of de gemiddelde absolute afwijking (MAD is mean absolute distance). Deze maten zijn per dier berekend, maar daarbij zijn de voorspelfouten van potentiële uitbijters buiten beschouwing gelaten, omdat deze ook bij de on-line aanpassing van het model worden genegeerd. Ook de afwijkingen in de eerste 14 dagen van de lactatie zijn buiten beschouwing gelaten, omdat er in die periode sprake is van systematische afwijking van het model (zie paragraaf 4.4 en bijlage 10). In bijlage 9 zijn de MSE en MAD per dier weergegeven. Gemiddeld over alle dieren is de MSE 0,33 (kg² melk) en de MAD 0,42 (kg melk). In figuur 4.13 is de verdeling van de MSE en de MAD weergegeven, waaruit blijkt dat er sprake is van behoorlijke verschillen tussen dieren.

Merk op dat dit ook gevolgen heeft voor de signalering van afwijkingen. Bij dieren met een geringe voorspelfout zullen afwijkingen van een bepaalde grootte eerder als potentiële uitbijter worden gesignaleerd dan bij dieren met een grotere voorspelfout. In dit opzicht werkt deze toepassing dus anders dan de traditionele managementsystemen, waarbij afwijkingen als uitbijter worden aangemerkt wanneer de afwijking in absolute of relatieve zin groter is dan een bepaalde constante waarde.

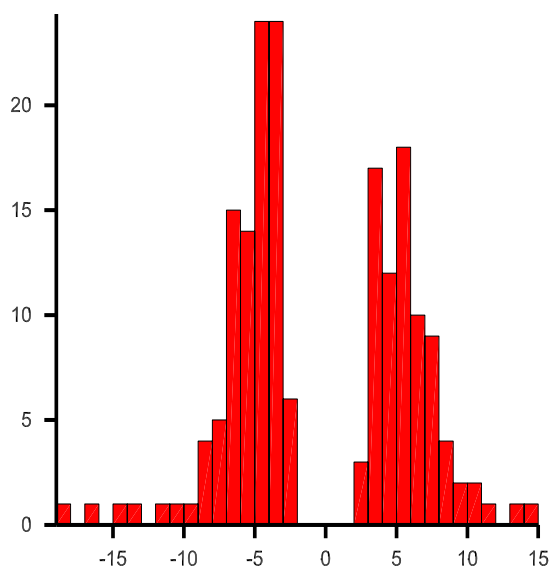
Uitgaande van MSE = 0,33 valt 95% van de waarnemingen binnen het interval $f_i \pm 1,96\sqrt{0,33} = f_i \pm 1,13$.

³ Bij weergave van gemiddelde per lactatiedag verstoren pieken het beeld.

Figuur 4.13 Verdeling van de gemiddelde absolute afwijking en gemiddelde kwadratische voorspelfout

4.5.3 Potentiële uitbijters

Van de potentiële uitbijters is een histogram gemaakt in figuur 4.14, waarbij de eerste twee weken van de lactatie buiten beschouwing zijn gelaten. In totaal gaat het om 179 (dat is 3,0%) van 5919 waarnemingen. Van de uitbijters heeft 1% een afwijking groter dan ± 15 kg melk; 6% een afwijking groter dan ± 10 kg en 52% een afwijking groter dan ± 5 kg melk. Het minimum van de absolute afwijking van de uitbijters is 2,5 kg melk.

Figuur 4.14 Histogram potentiële uitbijters. X-as: kg melk en Y-as: aantal uitbijters

In bijlage 11 is de verdeling van de normale afwijkingen, potentiële uitbijters en overige afwijkingen over respectievelijk lactatieweken, behandelingsgroepen en dieren weergegeven. De overige afwijkingen betreffen waarnemingen die zelf niet afwijkend waren, maar waarbij een geleidelijk groeiende afwijking van de voorspellingen is geconstateerd. Uit bijlage 11 blijkt dat er geen grote verschillen zijn in de kans op uitbijters tussen lactatieweken, behandeling en pariteit. Wel zijn er verschillen tussen dieren. Bij zes koeien werd geen enkele uitbijter gesignaleerd terwijl bij vijf koeien 7,8% of meer uitbijters voorkwamen.

4.5.4 Slotopmerkingen

Een belangrijk aspect bij de bestudering van afwijkingen is of er een relatie bestaat met factoren die niet in het model zijn opgenomen, zoals bijv. afwijkende melktijden, ziekte etc. Verder moet nagegaan worden of de

signalering van afwijkingen relevant is. Soms betreft het alleen registratiefouten, terwijl er niets met het dier aan de hand is. Ook moet niet alleen gekeken worden naar de individuele afwijkingen, het kan ook voorkomen dat er op koppelniveau zich afwijkingen voordoen.

5 Praktijktoeepassing

Een zogenaamd “Dynamisch krachtvoeradviesstelsel” houdt rekening met de individuele variatie in de respons van koeien op krachtvoer. De reactie van koeien, bijvoorbeeld via de melkgift, op wijzigingen van het krachtvoerniveau is voor elke koe anders.

Een dynamisch rekenmodel voorspelt de melkgift van morgen, gebaseerd op de productie van vandaag en van de afgelopen dagen. Tevens voorspelt zo’n model de respons van de koe op een wijziging van de krachtvoergift. Daarbij wordt uitgegaan van de zogenaamde krachtvoercoëfficiënt, die aangeeft hoeveel kg melk extra is te verwachten indien van een bepaald dier de krachtvoeropname met één kg/dag stijgt.

In de proef die in hoofdstuk 4 is beschreven, is bij 32 koeien drie maal per week een krachtvoeradvies berekend met behulp van een prototype dynamisch krachtvoeradvies. Daarbij was de hoogte van krachtvoercoëfficiënt bepalend. Indien de krachtvoercoëfficiënt hoger was dan 0,6 werd de krachtvoergift van de betreffende koe verhoogd met een halve kilo per dag. Indien de coëfficiënt lager was dan 0,5 werd de krachtvoergift verlaagd met een halve kilo per dag. Zo was er een direct verband tussen werkelijke melkgift en de krachtvoergift, en werd dus de efficiëntie van de koe in acht genomen. Dat laatste gebeurt niet bij bestaande “traditionele” krachtvoeradviessystemen, waarin met de normen voor de “gemiddelde” koe wordt gerekend, ongeacht de efficiëntie waarmee de individuele koe het (kracht)voer verbruikt.

Met een dynamisch krachtvoeradviesstelsel wordt dus individueel gevoerd, en niet onder- of overvoerd. Bijstelling van de krachtvoergift kan daarbij in principe dagelijks plaats vinden op basis van gegevens van de elektronische registratie van de melkgift, en niet, zoals momenteel in de praktijk gebruikelijk, na iedere drie- of vierweekse melkproductieregistratie.

Voorwaarde van het dynamisch stelsel is dat het robuust moet zijn. Dus als bijvoorbeeld de melkgift plotseling éénmalig afwijkt doordat de koe niet goed is uitgemolken of doordat de koe tochtig is, dan moet het krachtvoeradviesstelsel “intelligent” genoeg zijn om zulke afwijkingen te laten voor wat ze zijn en de krachtvoergift niet bijstellen.

Het dynamische model is niet uitsluitend bedoeld voor het berekenen van de krachtvoergift. Belangrijk is ook dat het model een “monitoringsfunctie” vervuld. Met andere woorden: onverwachte afwijkingen in de melkgift worden direct gesignaleerd en gemeld. Op basis van zo’n attentie kan de veehouder nagaan of er oorzaken voor de afwijkingen te vinden zijn, zoals bijvoorbeeld kreupelheid of tochtigheid van de betreffende koe. Deze monitoring functioneerde goed in de uitgevoerde proef (hoofdstuk 4). Door gebruik van het dynamisch adviesstelsel kwamen dieren bijvoorbeeld niet in de problemen als gevolg van pensverzuring. Hoge krachtvoergiften worden met dit stelsel immers uitsluitend bereikt bij dieren die op de verhoogde krachtvoergift blijven reageren met een stijging van de melkgift. Zo kon het voorkomen dat individuele dieren uiteindelijk zeer hoge krachtvoeropnames realiseerden van soms meer dan 20 kg per dag. Het gaat dan uiteraard bijna altijd om dieren die naast een hoge krachtvoeropname ook nog veel ruwvoer opnamen. De krachtvoer/ruwvoerverhouding leidde dan nog niet tot pensproblemen.

Gezien de wijze waarop het prototype van het dynamisch krachtvoeradvies functioneerde, is het zeker zinvol om verder te werken aan een in de praktijk toepasbaar model. Daarin ligt een rol voor het bedrijfsleven dat zich bezighoudt met de ontwikkeling van software voor (kracht)voerautomaten en van bedrijfsmanagementpakketten. Er zijn twee belangrijke voordelen voor de veehouder te realiseren:

- 3) De monitoringsfunctie van een dynamisch model verschaft de veehouder een attentiesysteem dat afwijkende waarden (bijvoorbeeld melkgiften) eerder opspoorde dan huidige attentiesystemen. Bovendien neemt het aantal onterechte meldingen af, omdat het stelsel rekening houdt met de mate van variabiliteit (in melkgift) van de afzonderlijke dieren uit de koppel.
- 4) Het dynamisch krachtvoeradvies houdt rekening met de individuele respons van dieren op het opgenomen krachtvoer en benut daarmee de verschillen tussen dieren voor wat betreft de efficiëntie waarmee het (kracht)voer wordt benut. Dit zal het voersaldo en de mineralenbenutting ten goede komen.

6 Conclusies en aanbevelingen voor verbetering

6.1 Conclusies

Een dynamisch krachtvoeradvies houdt rekening met de individuele respons van dieren op het opgenomen krachtvoer en benut daarmee de verschillen tussen dieren voor wat betreft de efficiëntie waarmee het (kracht)voer wordt benut.

De monitoringsfunctie van een dynamisch model verschaft de veehouder een attentiesysteem dat afwijkende waarden (in dit geval melkgiften) eerder opspoorst dan huidige attentiesystemen. Bovendien neemt het aantal onterechte meldingen af, omdat het systeem rekening houdt met de mate van variabiliteit (in melkgift) van de afzonderlijke dieren uit de koppel.

In onderzoek waarin een prototype dynamisch model is gebruikt bij 32 koeien bleek het model goed bruikbaar om schattingen te geven van zowel het basisniveau (van de melkgift) als de krachtvoercoëfficiënt. Zodoende is het mogelijk om goede voorspellingen te geven van de verwachte melkgift op korte termijn en voorziet het systeem in een tijdige signalering van afwijkingen.

6.2 Verbeterpunten

De modelparameters zijn niet constant gedurende de lactatie. Met name in het begin van de lactatie treden verschuivingen op. In de eerste dagen is er een stijging van de ruwvoeropname, een stijging van de krachtvoeropname en een snelle stijging van de krachtvoergift. Doordat de stijging van de krachtvoergift is opgenomen in het model, wordt de stijging van de melkgift daaraan toegeschreven, maar dat is gedeeltelijk het gevolg van strengeling van de processen die in het begin van de lactatie plaatsvinden. Dit leidt tot een overschatting van de krachtvoercoëfficiënt in het begin van de lactatie.

Verder is tijdens de eerste lactatiedagen geen nauwkeurige beginschatting te geven van de modelparameters (basisniveau en krachtvoercoëfficiënt). De systematische fout (bias) in de parameterschattingen aan het begin van de lactatie zou tot problemen kunnen leiden, wanneer daarop beslissingen worden gebaseerd. Echter, aan het begin van de lactatie is een krachtvoeradvies gebaseerd op de snelheid van het opstomen en is daarvoor nog geen schatting van de krachtvoercoëfficiënt noodzakelijk. De krachtvoergift wordt geleidelijk verhoogd tot 14 dagen na afkalven en pas vanaf dat moment is een beslissing nodig of de gift nog verder moet worden verhoogd dan wel verlaagd. Het valt daarom te overwegen om het krachtvoeradvies pas na 7 tot 14 dagen na afkalven op modeluitkomsten te baseren. Op die manier wordt uitgegaan van schattingen van de modelparameters, waarin de bias verwaarloosbaar is.

Het model blijkt in technisch opzicht goed te werken en de bias aan het begin van de lactatie lijkt geen onoverkomelijk bezwaar te zijn. Maar zowel het basisniveau als de krachtvoercoëfficiënt dalen geleidelijk tijdens de lactatie, er is dus wel sprake van een trend. In het model is geen systematische trend opgenomen, maar wordt de variatie van de parameters in de tijd stochastisch verondersteld. Wanneer de trend gering is valt deze moeilijk te onderscheiden van de stochastische variatie. Bij een hoge waarde van de zogenaamde discountfactors (deze factoren zeggen iets over de mate waarin de historie wordt meegenomen) wordt verondersteld dat de parameters in de tijd weinig variëren. Nu is voor het basisniveau de discountfactor gesteld op 0,9 en voor de krachtvoercoëfficiënt is deze factor gesteld op 0,98 (zie ook paragraaf 3.2.2). Deze instellingen zijn gebaseerd op adviezen uit de literatuur, maar het valt aan te bevelen om deze instellingen nader te valideren. Dat is mogelijk door verschillende instellingen te nemen en daarvoor een profile-likelihood op te stellen. Waarschijnlijk is het beter om de discountfactors iets lager in te stellen, waardoor variatie in de tijd sneller in de parameters wordt verdisconteerd. Het alternatief is om het model uit te breiden met een trend voor de krachtvoercoëfficiënt en / of voor het basisniveau. Dat betekent wel dat er meer parameters geschat zullen moeten worden, waardoor het model minder robuust wordt. Gezien de grootte van de variatie (observatie-variantie) en het behoorlijk grote aantal uitbijters is de verwachting dat dit zal leiden tot grotere onzekerheid over de modelparameters. Wat dit aangaat verdient een eenvoudig model met weinig parameters de voorkeur.

Verdere ontwikkeling van het model is nodig om het systeem operationeel te kunnen maken. Daarop wordt ingegaan in paragraaf 6.3. Tevens kan gedacht worden aan een aantal andere uitbreidingen en toepassingen. Suggesties daarvoor komen aan de orde in paragraaf 6.4.

6.3 Operationalisering

Voor het verder operationeel maken zijn drie aspecten van belang. In de eerste plaats moet gekeken worden naar de schatting van het krachtvoereffect. Het effect van krachtvoer is gebaseerd op de gemiddelde krachtvoeropname van de drie voorgaande dagen, waarbij de bijdrage van iedere dag gelijk is verondersteld. Het is mogelijk om in het model deze veronderstelling los te laten en voor de verschillende dagen afzonderlijk een coëfficiënt te schatten. Maar ook hiervoor geldt weer dat de toename van het aantal parameters waarschijnlijk zal leiden tot een toenemende onzekerheid. Een alternatief is om verschillende weging van de krachtvoeropname op voorgaande dagen te evalueren op basis van de zogenaamde "likelihood".

Hiervoor is opgemerkt dat er bij een toenemende krachtvoeropname sprake is van een afnemende meeropbrengst. Het is mogelijk om het model uit te breiden met een kwadratische term voor krachtvoeropname om zodoende ook de afnemende efficiëntie te kunnen schatten. Echter moet hierbij wel bedacht worden dat verhoging van de krachtvoergift in de tijd geleidelijk plaatsvindt en zodoende strengelt met andere termen in het model. Schatting van deze extra parameter zal dus waarschijnlijk ook niet eenvoudig zijn en het is de vraag of het nodig is omdat een geleidelijke daling van de efficiëntie ook nu al door het model wordt opgepakt.

Een tweede aspect betreft de regels voor het krachtvoeradvies. Bij de uitvoering van de proef is het advies gebaseerd op het economische aspect: zolang het effect van krachtvoer zo groot is dat de kosten van extra krachtvoer worden terugverdiend uit de meeropbrengst van de melk wordt het advies verhoogd. Het bleek dat vrijwel alle koeien op die wijze ad libitum (onbeperkt) krachtvoer konden opnemen. Het is de vraag of dit uit oogpunt van gezondheid en welzijn gewenst is. In plaats van een economische benadering kan ook gekeken worden vanuit een milieutechnische benadering. Een toenemende krachtvoeropname betekent een hogere mineralen input en het is de vraag of de efficiëntie van de mineralenbenutting wel gunstig blijft. Ook wat betreft eiwitbenutting kan het ongewenst zijn om zoveel krachtvoer te verstrekken. Deze aspecten zullen nader moeten worden bekeken. Het zal voor praktische situaties niet direct mogelijk zijn om deze aspecten in het model op te nemen, omdat de melksamenstelling niet dagelijks wordt bepaald.

Verder is voor schatting van de krachtvoercoëfficiënt van belang de wijze waarop de verhoging of verlaging wordt uitgevoerd. Het is gebleken dat een geleidelijke aanpassing kan strengelen met andere evt. aanwezige trends. De beste strategie uit het oogpunt van de schatting van het effect lijkt te zijn een stapsgewijze aanpassing, waarbij de stapgrootte niet te klein wordt genomen. Aanpassingen moeten ook niet te snel na elkaar plaatsvinden, mogelijk is wekelijks bijstelling van het advies een goede aanpak.

Een derde aspect betreft de schaal waarop het model werkt. Bij de huidige toepassing wordt gewerkt op etmaalbasis. Dat lijkt goed te werken voor het schatten van de krachtvoercoëfficiënt. Het is echter de vraag of het voor de signalering van afwijkende melkgiften niet gewenst is om te werken op basis van melkmalen. In dat geval kunnen ook de melktijden worden opgenomen in het model. De mogelijkheid valt niet uit te sluiten dat afwijkende melkgiften die nu zijn gesignaleerd in veel gevallen zijn gerelateerd aan een afwijkend melkinterval. Zeker wanneer het systeem wordt gebruikt in situaties waar gemolken wordt met een melkrobot is dit een belangrijk aspect.

Samenvattend zijn de aanbevelingen voor verdere operationalisering van het systeem:

1. Eventueel opnemen schatting vertraagd en/of kwadratisch krachtvoereffect
2. Bezinning op regels voor krachtvoeradvies
3. Model baseren op melkmalen

6.4 Andere uitbreidingen en toepassingen

Bij de huidige toepassing krijgen de dieren onbeperkt ruwvoer. Het is mogelijk om het model uit te breiden met schatting van het ruwvoereffect. Wanneer we de resultaten van dit experiment bekijken blijkt dat de ruwvoeropname gedurende de lactatie vrij constant is (figuur 4.3), dat geldt niet alleen voor het gemiddelde, maar ook voor de individuele dieren. In situaties waarin de opname van ruwvoer ad lib is en niet individueel kan worden ingesteld is schatting van de ruwvoerefficiëntie niet nodig. De hoogte van het basisniveau geeft hiervoor wel een indicatie. Bovendien zal schatting van het effect van ruwvoer moeilijk zijn als de opname constant is, ook dan is er sprake van een strengeling. Alleen bij systemen waarbij de ruwvoergift ook individueel wordt ingesteld is uitbreiding van het model met schatting van het effect van ruwvoeropname op de productie gewenst. Uitbreiding van het model is ook mogelijk door niet alleen te kijken naar de respons van de melkgift op de (kracht)voeropname, maar ook naar de respons van de melksamenstelling (zoals vet- en eiwitgehalte).

De monitoringsfunctie moet verder worden geoptimaliseerd. Een aspect dat daarbij van belang is betreft de interpretatie van de uitkomsten. Nu geeft het model parameterschattingen op individuele basis en wordt een afwijking gesignaleerd in vergelijking met de historie van het individu. Een andere methode is om de uitkomsten van het model van de verschillende individuen met elkaar te vergelijken. Een methodiek daarvoor moet nog worden uitgewerkt.

Samenvattend zijn de aanbevelingen voor verdere uitbreiding:

1. Schatting van ruwvoereffect
2. Respons van de melksamenstelling op (kracht)voeropname
3. Onderlinge vergelijking tussen individuen

Wat betreft andere toepassingen zijn er veel mogelijkheden te noemen voor de toepassing van dynamisch lineaire modellen. Binnen het veehouderij bedrijf zijn er veel gegevens die gedurende de tijd worden waargenomen om het verloop van het productieproces te volgen. Bij de hier beschreven toepassing gaat het alleen om melkgift, maar er kan ook gedacht worden aan andere kenmerken zoals bijv. temperatuur en geleidbaarheid van de melk. Of op kleinere schaal: het monitoren van de melksnelheid.

Ook kan het model gebruikt worden voor bijvoorbeeld de monitoring van melkleveranties om de productie op koppelniveau te bewaken. Of gegevens van de periodieke melkcontrole kunnen met een DLM worden geanalyseerd. En voor andere takken in de veehouderij of landbouw in bredere zin zijn eenvoudig meerdere voorbeelden te bedenken.

Kortom de mogelijkheden zijn legio. De methodiek van dynamisch lineaire modellen lijkt veel perspectief te bieden voor het monitoren van biologische processen in de landbouw. Kenmerkend voor die processen is dat er veel variatie is en dat zowel de omstandigheden als de producerende eenheid in de tijd voortdurend veranderen. Monitoring met dynamisch lineaire modellen kan uit onderzoeksoogpunt veel inzicht verschaffen over veranderingen die optreden en mogelijke factoren die dit veroorzaken. Voor de praktijk biedt monitoren met dynamisch lineaire modellen een goede mogelijkheid om veranderingen tijdig te onderkennen, zodat zo adequaat mogelijk kan worden gereageerd.

Bijlagen

Bijlage 1 Materiaal en methoden bij paragraaf 2.2

Voor de analyse is uitgegaan van model B1.1. Hierin is Y_{it} de melkgift van koe i op dag t , R de ruwvoeropname (kg ds·dag⁻¹) en K de krachtvoeropname (kg ds·dag⁻¹); d is het aantal dagen in lactatie.

$$Y_{it} = \{(\beta_0 + \varepsilon_{0i}) + (\beta_1 + \varepsilon_{1i})d_{it} + (\beta_2 + \varepsilon_{2i})d_{it}^2\} + \sum_{j=0 \dots 7} \alpha_j R_{i,t-j} + \sum_{j=0 \dots 7} \gamma_j K_{i,t-j} + \varepsilon_{rit} \quad (B1.1)$$

De eerste term in het model is het basisverloop van de melkgift, verondersteld is een kwadratische trend met randomcoëfficiënten, $\beta \sim MVN(\beta, \Sigma)$. De tweede en derde term staan voor effect van respectievelijk ruwvoer en krachtvoer op de melkgift. Verondersteld is dat deze respons vertraagd is: de productie op dag t hangt af van de voergift op dag t , dag $t-1$ tot en met dag $t-7$. Bij deze analyse gaat het met name om de coëfficiënten α en γ om na te gaan in hoeverre de respons vertraagd is. Merk op dat in dit model wordt verondersteld dat deze respons niet afhankelijk is van het dier. De laatste term is de residuele afwijking, $\varepsilon_r \sim N(0, \sigma_r^2)$.

Op basis van de parameterschattingen α_j en γ_j kan het relatieve belang van de voergift op dag t , dag $t-1$ tot en met dag $t-7$ worden bepaald en worden uitgedrukt in wegingscoëfficiënten κ . De wegingscoëfficiënten zijn in model B1.2 vast opgenomen, zodat het mogelijk werd om de effecten van krachtvoer en ruwvoer als randomcoëfficiënten in het model op te nemen.

$$Y_{it} = \{(\beta_0 + \varepsilon_{0i}) + (\beta_1 + \varepsilon_{1i})d_{it} + (\beta_2 + \varepsilon_{2i})d_{it}^2\} + (\alpha + \varepsilon_{\alpha j}) \sum_{j=0 \dots 7} \kappa_j R_{i,t-j} + (\gamma + \varepsilon_{\gamma j}) \sum_{j=0 \dots 7} \kappa_j K_{i,t-j} + \varepsilon_{rit} \quad (B1.2)$$

Beide modellen zijn in Genstat 5, Release 4.1 met REML aangepast (Genstat 5 Committee, 1997). De residuen zijn gecontroleerd op afwijkingen van normaliteit.

Bijlage 2 Resultaten bij paragraaf 2.2

De parameterschattingen en bijbehorende fouten voor model B1.1 (bijlage 1) staan in onderstaand overzicht.

Parameter		schatting	standaardfout
Constante	β_0	30,14	0,6839
Lineair	β_1	-5,307	1,020
Kwadratisch	β_2	12,73	2,818
Krachtvoer effect	γ_0	0,2936	0,07115
	γ_1	0,3783	0,07177
	γ_2	0,2376	0,07284
	γ_3	0,3506	0,07389
	γ_4	0,1091	0,07387
	γ_5	0,1650	0,07268
	γ_6	0,1178	0,07236
	γ_7	0,03807	0,07038
Ruwvoer effect	α_0	0,1860	0,02828
	α_1	0,2939	0,02835
	α_2	0,2603	0,02832
	α_3	0,2463	0,02815
	α_4	0,1063	0,02831
	α_5	0,1030	0,02798
	α_6	0,06398	0,02784
	α_7	0,03179	0,02806

De schattingen van de parameters voor de randomcomponenten zijn:

Restvariantie	σ_r^2	3,397			
Randomcoëfficiënten	Σ	3,244			intercept
		-1,083	5,881		lineair
		3,017	-9,749	45,68	kwadratisch

De residuen van het model bleken niet normaal verdeeld te zijn, er is sprake van een dubbele normale verdeling.

De parameterschattingen zijn:

σ_{r1}^2	1,3236
σ_{r2}^2	4,0462
μ_1	0,1189
μ_2	-1,1812
p_1	0,9086

Uit de parameterschattingen α_j en γ_j blijkt dat het effect van de voeropname op tijdstip t kleiner is dan het effect van de opname op de tijdstippen $t-1$, $t-2$, en $t-3$. Daarna verdwijnt het effect geleidelijk. Verder

blijkt er weinig verschil in patroon te zijn tussen ruwvoer en krachtvoer. Voor model B1.2 zijn de wegingscoëfficiënten daarom als volgt berekend, zodanig dat $\sum_j \kappa_j = 1$:

j	κ_j
0	0,16
1	0,22
2	0,20
3	0,18
4	0,09
5	0,07
6	0,05
7	0,03

De parameterschattingen voor model B1.2 (bijlage 1) staan in onderstaand overzicht:

Parameter		schatting	standaardfout
Constante	β_0	29,81	0,9033
Lineair	β_1	-5,473	1,016
Kwadratisch	β_2	11,68	2,457
Krachtvoer effect	γ	2,079	0,4732
Ruwvoer effect	α	1,207	0,1559

De schattingen van de parameters voor de randomcomponenten zijn:

Restvariantie	σ_r^2	2,815						
Randomcoëfficiënten	Σ	6,378						intercept
		-2,258	7,058					lineair
		-1,050	-9,765	40,19				kwadratisch
		-1,125	0,041	2,91	1,59			krachtvoer
		0,061	-0,071	0,45	0,13	0,16		ruwvoer

Ook voor de residuen van model B1.2 bleek er sprake te zijn van een dubbele normale verdeling. De parameterschattingen zijn:

σ_{r1}^2	1,2662
σ_{r2}^2	4,5619
μ_1	0,0454
μ_2	-0,8217
p_1	0,9477

Bijlage 3 Statistische analysemethode bij paragraaf 2.3

Voor de analyse is uitgegaan van model B3.1 om het effect van krachtvoeropname (K) en ruwvoeropname (R) op de melkgift (Y) te schatten.

$$Y_{it} = \{(\beta_0 + \varepsilon_{0i}) + (\beta_1 + \varepsilon_{1i})d_{it} + (\beta_2 + \varepsilon_{2i})d_{it}^2\} + \sum_{j=0 \dots 4} \alpha_j R_{i,t-j} + \sum_{j=0 \dots 4} \gamma_j K_{i,t-j} + \varepsilon_{rit} \quad (\text{B3.1})$$

Dit model is vergelijkbaar met model B1.1, met dit verschil dat nu een vertraagd effect tot vier dagen voor meting van de melkgift is nagegaan.

In praktijksituaties wordt de ruwvoeropname in de regel niet geregistreerd. Het is bekend dat de krachtvoeropname door verdringing van invloed is op de ruwvoeropname. Het verdringingseffect is geanalyseerd volgens model B3.2.

$$R_{it} = \{(\beta_0 + \varepsilon_{0i}) + (\beta_1 + \varepsilon_{1i})d_{it} + (\beta_2 + \varepsilon_{2i})d_{it}^2\} + \sum_{j=0 \dots 4} \gamma_j K_{i,t-j} + \varepsilon_{rit} \quad (\text{B3.2})$$

Tenslotte is model B3.3 gebruikt om alleen het effect van krachtvoeropname op melkgift na te gaan.

$$Y_{it} = \{(\beta_0 + \varepsilon_{0i}) + (\beta_1 + \varepsilon_{1i})d_{it} + (\beta_2 + \varepsilon_{2i})d_{it}^2\} + \sum_{j=0 \dots 4} \gamma_j K_{i,t-j} + \varepsilon_{rit} \quad (\text{B3.3})$$

De modellen B3.1, B3.2 en B3.3 gaan er vanuit dat er geen individuele verschillen zijn in de effecten van de voeropname. In de drie genoemde modellen worden voor de parameters wel dezelfde symbolen gebruikt, maar bedacht moet worden dat de betekenis niet hetzelfde is.

Bijlage 4 Resultaten statistische analyse bij paragraaf 2.3

De parameterschattingen en bijbehorende standaardfouten voor model B3.1 (bijlage 3) staan in onderstaand overzicht.

Parameter		schatting	standaardfout
Constante	β_0	23,70	1,261
Lineair	β_1	-0,6812	0,1630
Kwadratisch	β_2	0,02908	0,01801
Krachtvoer effect	γ_0	0,1478	0,03827
	γ_1	0,2082	0,03967
	γ_2	0,1986	0,04056
	γ_3	0,0461	0,03940 (n.s.)
	γ_4	-0,006414	0,03473 (n.s.)
Ruwvoer effect	α_0	0,08293	0,01977
	α_1	0,1415	0,02043
	α_2	0,1079	0,02033
	α_3	0,04821	0,01958
	α_4	-0,01884	0,01941 (n.s.)

De schattingen van de parameters voor de randomcomponenten zijn:

Restvariantie	σ_r^2	1,593			
Randomcoëfficiënten	Σ	11,26			intercept
		-1,25	0,335		lineair
		0,13	-0,032	0,003	kwadratisch

De melkgift op dag t hangt significant af van de krachtvoeropname op de dagen $t, t-1$ en $t-2$ en van de ruwvoeropname op de dagen $t, t-1, t-2$ en $t-3$.

De parameterschattingen en bijbehorende standaardfouten voor model B3.2 (bijlage 3) staan in onderstaand overzicht.

Parameter		schatting	standaardfout
Constante	β_0	19,61	0,5566
Lineair	β_1	-0,4369	0,1194
Kwadratisch	β_2	0,04261	0,01572
Krachtvoer effect	γ_0	-0,03468	0,04298 (n.s.)
	γ_1	-0,1940	0,04639
	γ_2	-0,009102	0,04733 (n.s.)
	γ_3	-0,06989	0,04609 (n.s.)
	γ_4	0,03132	0,04146 (n.s.)

De schattingen van de parameters voor de randomcomponenten zijn:

Restvariantie	σ_r^2	2,469	
Randomcoëfficiënten	Σ	5,556	intercept

De ruwvoeropname op dag t hangt significant af van de krachtvoeropname op dag $t - 1$.

De parameterschattingen en bijbehorende standaardfouten voor model B3.3 (bijlage 3) staan in onderstaand overzicht.

Parameter		schatting	standaardfout
Constante	β_0	30,69	0,9225
Lineair	β_1	-0,7920	0,1686
Kwadratisch	β_2	0,03581	0,01920
Krachtvoer effect	γ_0	0,1496	0,03884
	γ_1	0,1903	0,04030
	γ_2	0,1644	0,04112
	γ_3	0,01063	0,03983 (n.s.)
	γ_4	-0,01129	0,03544 (n.s.)

De schattingen van de parameters voor de randomcomponenten zijn:

Restvariantie	σ_r^2	1,652	
Randomcoëfficiënten	Σ	14,22	intercept
		-1,40	0,359
		0,15	-0,035 0,004
			kwadratisch

De melkgift op dag t hangt significant af van de krachtvoeropname op de dagen t , $t - 1$ en $t - 2$.

Bijlage 5 Eindresultaten 30 dieren bij paragraaf 3.3

Koenr.	Aantal waarn. buiten 95% bti	Aantal signale- ringen	Mean squared prediction error	Gemiddelde basisniveau	Standaard- afwijking basisniveau	Gemiddelde krachtvoer-coëfficiënt	Standaard-afw. Krachtvoer- coëfficiënt
1	13	3	1,308	38,44	1,22	0,432	0,165
102	8	4	1,704	32,10	1,18	0,633	0,167
335	12	1	1,184	30,99	0,98	0,377	0,127
349	8	4	1,065	30,31	0,97	0,759	0,124
383	6	7	3,136	33,95	1,30	0,486	0,161
526	8	4	1,300	25,97	1,21	0,683	0,168
585	7	2	1,585	33,05	1,11	0,458	0,145
672	12	1	1,174	30,31	1,04	0,474	0,154
686	10	1	1,538	36,04	1,33	0,839	0,175
719	10	5	1,537	30,13	1,07	0,442	0,139
851	14	5	1,034	31,01	1,19	0,592	0,138
897	11	4	0,900	29,69	1,07	0,515	0,126
996	11	3	4,928	23,85	1,17	0,574	0,176
1065	15	5	0,923	26,83	0,86	0,554	0,123
1069	12	5	1,169	31,10	1,06	0,415	0,152
1104	9	3	1,128	31,38	1,05	0,607	0,152
1105	11	1	0,597	27,26	0,78	0,420	0,102
1106	10	0	1,367	23,47	1,21	0,701	0,156
1134	8	1	0,683	25,00	1,01	0,460	0,130
1182	7	1	0,778	21,18	0,94	0,640	0,120
1288	7	1	1,121	25,39	1,14	0,376	0,145
1363	11	3	1,573	26,59	0,95	0,326	0,137
1380	5	3	2,364	20,91	1,04	0,683	0,123
1388	4	2	1,046	24,74	1,34	0,572	0,176
1396	8	3	0,900	24,77	0,95	0,545	0,136
1411	11	2	1,268	25,90	1,19	0,788	0,141
1412	8	2	0,710	23,02	0,96	0,553	0,124
1423	7	4	0,990	24,26	1,03	0,566	0,133
5600	7	1	1,460	29,77	0,95	0,866	0,134
5764	11	5	0,837	25,18	0,72	0,602	0,089

Bijlage 6 Samenstelling van voeders en rantsoenen bij hoofdstuk 4

De rantsoensamenstelling van de vier proefgroepen (DKAS-H, DKAS-L, TRAD-H en TRAD-L) is gegeven in tabel B8.1. Daarbij zijn de voederwaarde en chemische samenstelling gegeven per kilogram droge stof. Aanvullend is in tabel B8.2 een overzicht gegeven van de voederwaarde en samenstelling van de gebruikte voeders.

Tabel B8.1 Gemiddelde voederwaarde en samenstelling van het opgenomen rantsoen per proefgroep

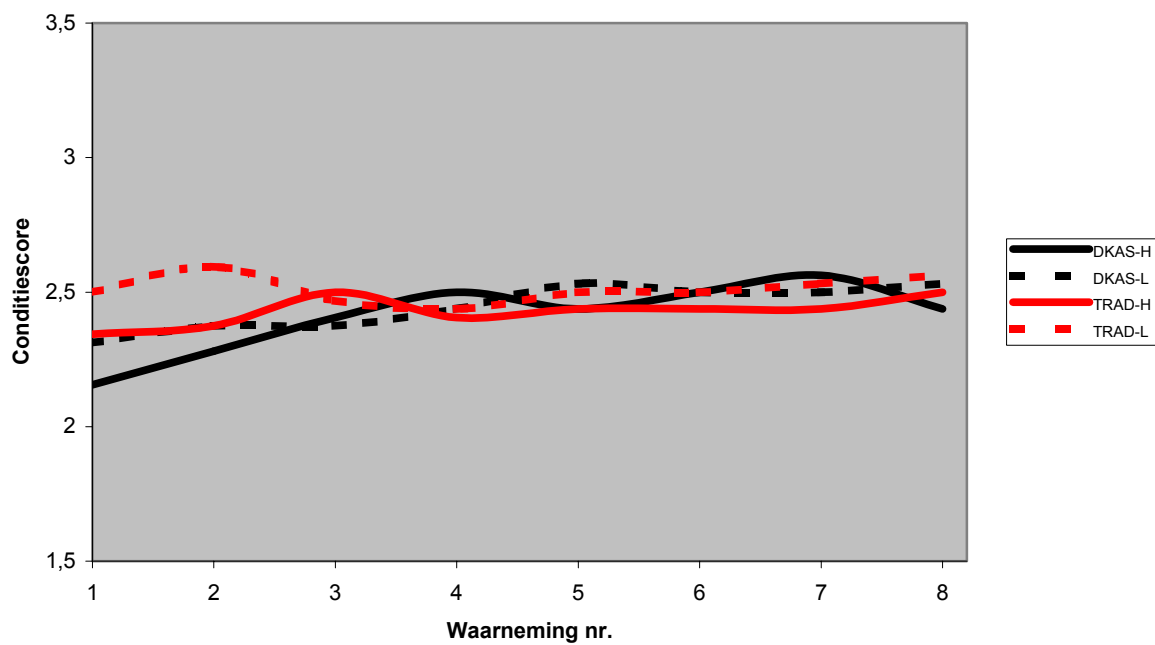
Per kg ds	DKAS-H	DKAS-L	TRAD-H	TRAD-L
VEM	993	927	979	905
DVE (g)	89	83	84	77
OEB (g)	12	11	9	9
VOS (g)	722	681	718	671
FOS (g)	554	538	547	530
Ruw eiwit (g)	157	151	148	143
Ruwe celstof (g)	159	185	169	197
Ruw as (g)	90	101	90	102
Suiker (g)	47	50	39	44
Zetmeel (g)	174	126	182	126
NDF (g)	394	453	390	460
ADF (g)	205	239	209	249
ADL (g)	26	35	25	35

Tabel B8.2 Voederwaarde en samenstelling per voerpartij

Partij	Begindatum	Einddatum	DS	NH3	RE	RC	RAS	SUI	ZET	NDF	ADF	ADL	VEM	DVE	OEB	VCOS	K	P	Ca	Mg	Na
			g/kg	frac									kgds ⁻¹	g/kg ds		%			g/kg ds		
Graskuil	11-sep-00	21-okt-00	458	8	158	252	132	66	-	467	274	21	864	72	31	77,2	32	3,5	7,6	1,6	2,2
Graskuil	22-okt-00	19-nov-00	546	6	169	273	114	53	-	502	292	20	889	82	30	77,5	42	4,1	5,3	1,4	0,8
Graskuil	20-nov-00	24-dec-00	597	5	171	279	108	55	-	517	303	21	894	86	28	77,3	41	4,0	5,4	1,3	0,7
Graskuil	25-dec-00	04-feb-01	384	9	174	256	127	26	-	455	267	35	886	72	48	78,3	38	3,6	7,6	1,8	2,9
Graskuil	05-feb-01	13-mrt-01	314	15	185	226	188	2	-	407	235	24	807	56	90	75,9	40	3,4	10,5	2,3	3,1
Graskuil	14-mrt-01	08-apr-01	449	8	121	257	112	88	-	476	279	20	872	66	-3	76,6	28	3,2	6,7	1,3	0,8
Graskuil	09-apr-01	06-mei-01	421	10	116	258	108	82	-	478	282	30	877	64	-4	76,7	28	3,2	6,7	1,2	0,6
Snijmaïs	11-sep-00	03-okt-00	304	-	72	210	53	-	290	391	236	23	913	46	-33	73,1	11	1,9	2,1	1,0	0,1
Snijmaïs	04-okt-00	27-okt-00	307	-	72	206	57	-	329	372	225	31	910	43	-29	73,2	11	2,4	1,7	1,0	0,1
Snijmaïs	28-okt-00	16-nov-00	298	-	70	200	57	-	353	377	222	18	924	42	-29	74,1	11	2,2	1,7	1,0	0,1
Snijmaïs	17-nov-00	01-dec-00	301	-	70	199	52	-	351	371	220	21	923	42	-30	73,7	12	2,1	1,6	0,9	0,1
Snijmaïs	02-dec-00	31-dec-00	311	-	69	174	49	-	347	340	198	12	987	49	-36	77,6	12	2,1	2,1	1,0	0,1
Snijmaïs	01-jan-01	22-jan-01	321	-	70	180	49	-	357	353	205	14	974	48	-34	76,8	11	2,3	1,9	1,0	0,1
Snijmaïs	23-jan-01	25-feb-01	317	-	76	172	50	-	346	344	196	13	987	51	-32	77,7	11	2,5	1,9	0,9	0,1
Snijmaïs	26-feb-01	20-mrt-01	316	-	76	188	54	-	300	372	215	17	958	51	-34	76,1	12	2,6	2,2	0,9	0,1
Snijmaïs	21-mrt-01	22-apr-01	326	-	72	176	48	-	347	347	202	16	978	49	-35	77,0	11	2,2	2,1	1,1	0,1
Snijmaïs	23-apr-01	06-mei-01	307	-	78	187	54	-	314	368	213	17	952	50	-31	75,7	12	2,5	2,1	0,9	0,1
Sojaschr.	18-sep-00	31-dec-00	872	-	474	82	70	23	11	160	110	5	1152	256	173	-	23	5,9	4,8	3,3	0,1
Sojaschr.	01-jan-01	06-mei-01	874	-	465	75	72	29	13	161	107	6	1161	252	169	-	24	7,2	4,7	3,4	0,2
Stro	11-sep-00	22-sep-00	925	-	40	417	97	-	-	798	496	77	425	3	-31	43,4	11	0,8	3,6	0,9	0,3
Stro	23-sep-00	03-dec-00	925	-	40	417	97	-	-	798	496	77	425	3	-31	43,4	11	0,8	3,6	0,9	0,3
Stro	04-dec-00	29-jan-01	927	-	42	400	114	-	-	788	492	80	416	7	-33	46,7	12	0,8	3,2	0,9	0,2
Stro	30-jan-01	06-mei-01	928	-	40	402	107	-	-	782	480	78	420	1	-30	42,6	12	0,9	3,0	0,8	0,1

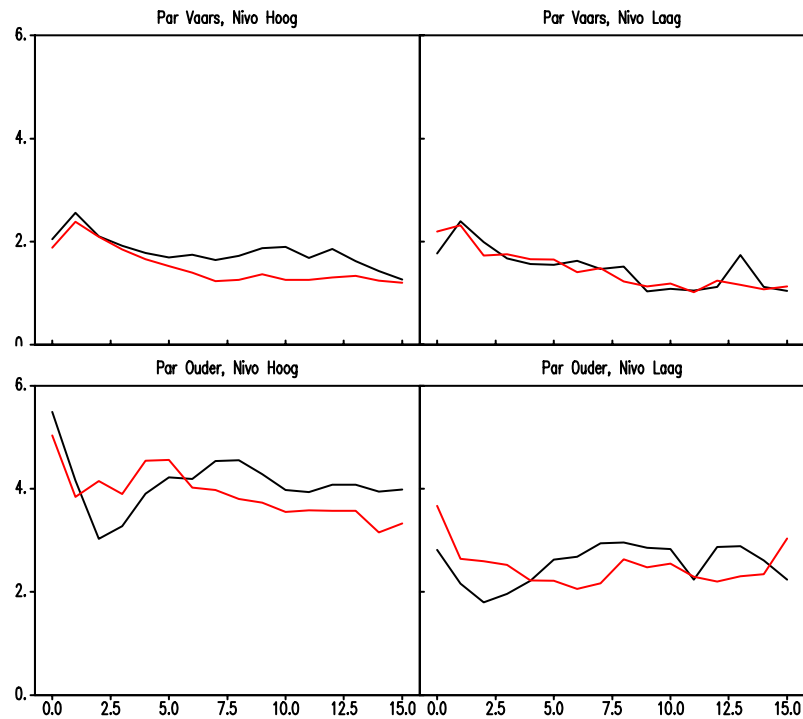
Tabel B8.3 Voederwaarde en samenstelling per partij krachtvoer (brok)

begindatum	einddatum	DS	VEM	DVE	OEB	Ca	K	Mg	Na	P	RAS	RC	RE	Rvet	Sui	ZET	NDF
		g/kg	kg ⁻¹														
<i>Lokbrok melkstal</i>																	
11-sep-00	06-mei-01	888	939	94	-7	8,3	19	5,8	3,6	4,2	90	132	161	47	135	44	398
<i>Brok via krachtvoerautomaat</i>																	
16-okt-00	12-nov-00	891	943	105	21	8,9	19	6,3	4,7	5,7	94	117	198	53	86	118	410
13-nov-00	10-dec-00	890	944	104	21	8,6	19	6,1	4,7	5,6	95	110	199	54	80	128	416
11-dec-00	07-jan-01	889	941	104	21	9,0	20	6,2	4,9	5,8	96	114	199	54	82	125	412
08-jan-01	04-feb-01	887	943	105	22	8,2	19	6,6	3,7	5,9	91	111	196	49	85	135	406
05-feb-01	04-mrt-01	888	945	105	21	7,9	20	6,0	4,3	5,3	92	97	195	47	84	140	414
05-mrt-01	01-apr-01	895	945	105	21	9,8	19	6,2	3,0	5,0	92	102	191	53	81	144	423
02-apr-01	29-apr-01	894	945	105	21	9,9	19	6,1	4,6	5,3	95	91	194	50	88	152	416

Bijlage 7 Conditiescoreverloop bij hoofdstuk 4**Figuur B7.1** Verloop van de gemiddelde conditiescore per proefgroep gedurende 17 proefweken. Eén maal per twee weken werd per proefdier de conditie gescoord.

Bijlage 8 Verloop van de voorspelvariantie bij paragraaf 4.5

Figuur B8.1 Verloop van de voorspelvariantie (Y-as, mediane waarde van alle dieren per groep) per proefweek (X-as). Systeem DKAS (zwarte lijn) en TRAD (rode lijn). Onderscheid tussen 1) linksboven: vaarzen op hoog energieniveau, 2) rechtsboven: vaarzen op laag energieniveau, 3) linksonder: oudere koeien op hoog energieniveau en 4) rechtsonder: oudere koeien op laag energieniveau



Bijlage 9 MSE en MAD per dier bij paragraaf 4.5**Tabel B9.1** Gemiddelde kwadratische voorspelfout (MSE) en gemiddelde absolute voorspelfout (MAD) per dier

Diernr.	MSE	MAD	Diernr.	MSE	MAD
1	0.4666	0.5536	102	0.1647	0.3074
158	0.2068	0.3416	397	0.6292	0.6419
468	0.4435	0.5106	482	0.1532	0.3072
526	0.7417	0.6965	672	0.1620	0.3137
686	0.3210	0.4385	719	0.3818	0.4903
769	0.2435	0.3596	794	0.4931	0.5009
897	0.4195	0.5330	939	0.1587	0.2645
1005	0.1885	0.3435	1010	0.2097	0.3591
1040	0.3486	0.4500	1065	0.2521	0.3861
1091	1.0131	0.7429	1104	0.1301	0.2682
1105	0.2329	0.3877	1106	0.2071	0.3245
1110	0.2621	0.3959	1134	0.2871	0.4209
1137	0.2111	0.3376	1171	0.1738	0.3281
1178	0.0435	0.1368	1182	0.2697	0.4008
1288	0.1959	0.3326	1291	0.5481	0.5683
1363	0.5248	0.5786	1370	0.1652	0.3332
1380	0.0911	0.2304	1396	0.2165	0.3640
1399	0.6588	0.6178	1405	0.2568	0.3870
1411	0.5008	0.5725	1412	0.3653	0.4629
1425	0.4369	0.5178	1435	0.2744	0.4128
1437	0.1431	0.2862	1458	0.3461	0.4623
1469	0.3114	0.4379	1574	0.2050	0.3446
1580	0.1791	0.3363	1626	0.1983	0.3274
1687	0.2191	0.3643	1691	0.2727	0.4121
1693	0.1945	0.3534	1698	0.2547	0.4082
1700	0.2058	0.3595	1710	0.1828	0.3215
1711	0.3555	0.4511	1715	0.1938	0.3587
1720	0.2502	0.4107	1722	0.4259	0.4904
1725	0.3197	0.4371	1726	0.1132	0.2563
1739	0.1666	0.3275	1740	0.1054	0.2405
1748	0.3707	0.4818	1752	0.5403	0.5634
1757	0.5944	0.5834	5405	0.3474	0.4520
5600	0.8430	0.7356	5707	0.5170	0.5071
5764	0.9118	0.7028	Mean	0.3277	0.4243

Bijlage 10 Afwijkingen die niet als potentiële uitbijter zijn gesignaleerd, bij paragraaf 4.5

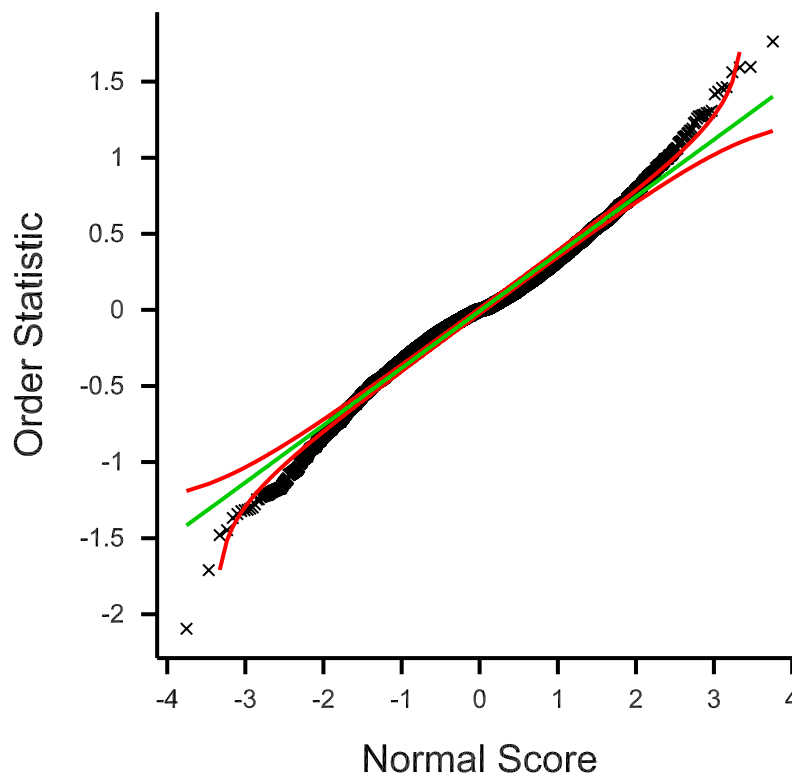
Controle van de afwijkingen is van belang om eventuele fouten van de modelformulering of onjuistheid van de modelveronderstellingen te signaleren. Voor alle dieren zijn daarom grafieken gemaakt waarin de waarnemingen t.o.v. de voorspellingen zijn weergegeven (deze zijn vanwege de veelheid niet aan dit rapport toegevoegd). Vanuit die grafieken is al goed na te gaan of het model de waarnemingen goed volgt. Uit die grafieken is gebleken dat het model de waarnemingen goed volgt. Alleen na het optreden van potentiële uitbijters blijkt dat er in de regel een grote aanpassing van de modelparameters nodig is en daar is in het model in voorzien door de automatische verlaging van de discount factors. Bij de controle van de afwijkingen, die hierna wordt beschreven, gaat het alleen om die afwijkingen die niet als potentiële uitbijter zijn gesignaleerd. Ook zijn bij deze controle de afwijkingen uit de eerste twee weken van de lactatie buiten beschouwing gelaten, omdat er in die periode sprake is van een systematische afwijking.

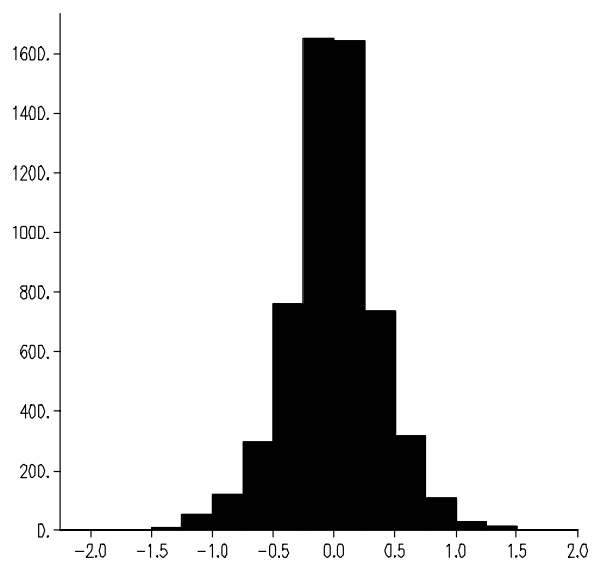
Van de afwijkingen is verondersteld dat ze normaal verdeeld en onderling onafhankelijk zijn.

Voor de controle op normaliteit zijn de afwijkingen eerst gestandaardiseerd, nl.: $u_i = e_i / \sqrt{Q_i}$ zodat de

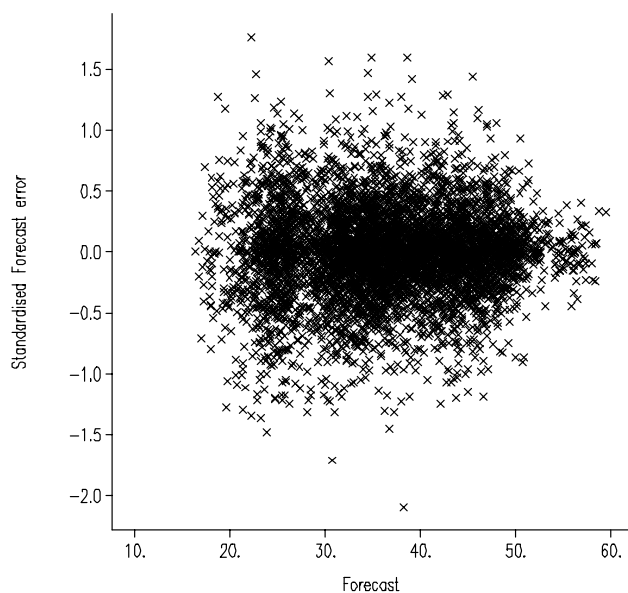
gestandaardiseerde afwijkingen standaard normaal verdeeld zijn: $u_i \sim N(0,1)$. In figuur B10.1 is een normaalplot en in figuur B10.2 een histogram van de gestandaardiseerde afwijkingen exclusief de potentiële uitbijters gegeven. Hieruit blijkt dat geringe afwijkingen meer voorkomen dan op grond van een normale verdeling mag worden verwacht. De kurtosis is 1,42 (s.e. = 0,065). Uit het oogpunt van voorspelling is dit gunstig, want het betekent dat er relatief meer kleinere afwijkingen zijn. Dit valt ook wel te verklaren uit het feit dat afwijkingen die zijn gesignaleerd als potentiële uitbijters zijn uitgesloten. In plaats van een complete normale verdeling is sprake van een getrunceerde normale verdeling.

Figuur B10.1 Normaal-plot gestandaardiseerde voorspelfouten excl. potentiële uitbijters. Afwijkingen (x), normaallijn (groen) en 95%-betrouwbaarheidsinterval van de afwijkingen (rood)



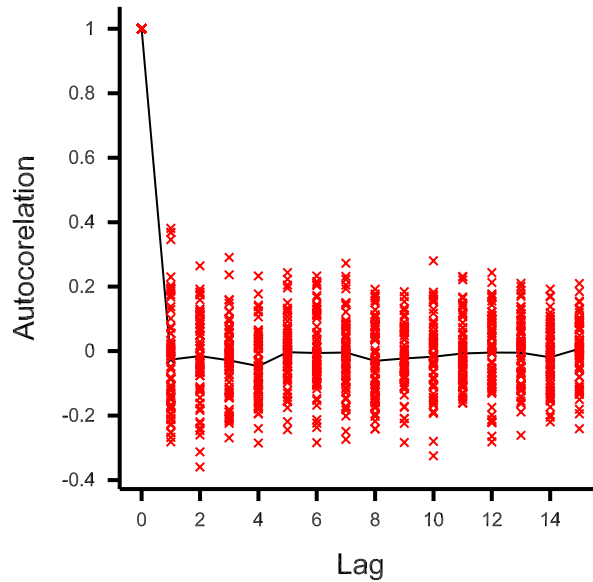
Figuur B10.2 Histogram gestandaardiseerde voorspelfouten excl. potentiële uitbijters

In figuur B10.3 zijn deze voorspelfouten uitgezet tegen de voorspellingen en daaruit blijkt dat er geen relatie is tussen de grootte van de voorspelfout en de hoogte van de voorspelling.

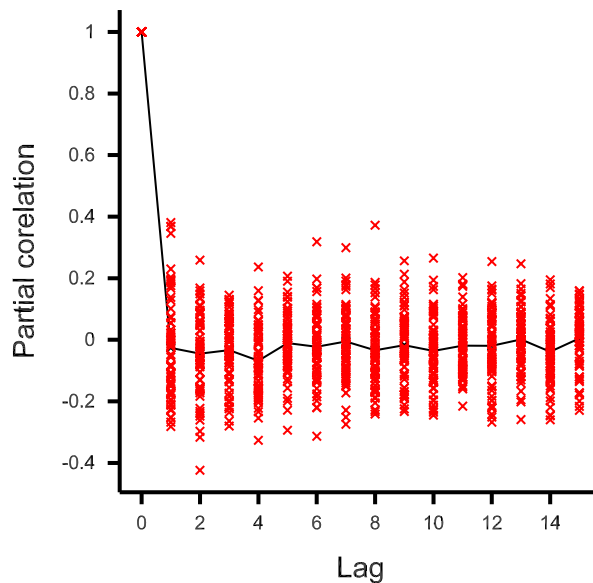
Figuur B10.3 Gestandaardiseerde voorspelfouten excl. potentiële uitbijters vs. voorspellingen

Voor de controle op onderlinge afhankelijkheid zijn per dier correlogrammen gemaakt. In de figuren B10.4 en B10.5 zijn de autocorrelatie en partiële correlaties per dier en gemiddeld over dieren weergegeven. Het blijkt dat de correlaties laag zijn en dat afhankelijkheid van de voorspelfouten te verwaarlozen is.

Figuur B10.4 Autocorrelaties, lijn is gemiddelde voor alle dieren, x per dier



Figuur B10.5 Partiële correlaties, lijn is gemiddelde voor alle dieren, x per dier



Bijlage 11 Verdeling van uitbijters, bij paragraaf 4.5**Tabel B11.1** Verdeling van uitbijters over lactatieweken

Lactatie- week	normale afwijk.		pot. uitbijters		overige sign.		totaal n
	n	%	n	%	n	%	
3	451	97.0	13	2.8	1	0.2	465
4	450	96.6	15	3.2	1	0.2	466
5	445	96.3	15	3.2	2	0.4	462
6	435	96.7	14	3.1	1	0.2	450
7	451	98.5	6	1.3	1	0.2	458
8	436	95.8	15	3.3	4	0.9	455
9	424	96.4	15	3.4	1	0.2	440
10	446	97.6	10	2.2	1	0.2	457
11	452	97.6	11	2.4	0	0.0	463
12	433	96.4	15	3.3	1	0.2	449
13	436	96.2	16	3.5	1	0.2	453
14	441	96.1	16	3.5	2	0.4	459
15	422	95.5	18	4.1	2	0.5	442
totaal	5722	96.7	179	3.0	18	0.3	5919

Tabel B11.2 Procentuele verdeling uitbijters over behandelingsgroepen

Groep	normaal	uitbijter	overig	totaal
DKAS	96.4	3.3	0.3	3003
Trad	96.9	2.7	0.3	2916
Vaars	96.6	3.1	0.3	1753
Ouder	96.7	3.0	0.3	4166
Hoog	97.6	2.2	0.2	2918
Laag	95.7	3.8	0.4	3001
totaal	96.7	3.0	0.3	5919

Tabel B11.3 Procentuele verdeling uitbijters over dieren

diernr.	normaal	uitbijter	overig	totaal
1	92.0	8.0	0.0	88
102	98.9	1.1	0.0	88
158	96.6	3.4	0.0	88
397	97.7	1.1	1.1	88
468	94.4	4.5	1.1	89
482	97.7	2.3	0.0	88
526	100.0	0.0	0.0	90
672	95.5	4.5	0.0	88
686	95.5	4.5	0.0	89
719	97.8	0.0	2.2	89
769	96.6	3.4	0.0	89
794	100.0	0.0	0.0	90
897	98.9	1.1	0.0	88
939	100.0	0.0	0.0	90
1005	96.7	3.3	0.0	90
1010	98.9	1.1	0.0	88
1040	98.9	1.1	0.0	89
1065	90.9	6.8	2.3	88
1091	98.9	0.0	1.1	88
1104	93.2	6.8	0.0	88
1105	95.5	4.5	0.0	89
1106	93.3	5.6	1.1	90
1110	97.8	2.2	0.0	90
1134	98.9	1.1	0.0	90
1137	89.8	9.1	1.1	88
1171	93.3	6.7	0.0	90
1178	90.0	7.8	2.2	90
1182	96.6	2.3	1.1	88
1288	97.8	2.2	0.0	90
1291	98.9	1.1	0.0	90
1363	97.8	2.2	0.0	90
1370	98.9	1.1	0.0	89
1380	94.4	5.6	0.0	90
1396	98.9	1.1	0.0	87
1399	97.7	2.3	0.0	88
1405	95.4	4.6	0.0	87
1411	98.9	1.1	0.0	89
1412	97.7	2.3	0.0	88
1425	100.0	0.0	0.0	87
1435	96.6	2.2	1.1	89
1437	95.4	4.6	0.0	87
1458	93.2	6.8	0.0	88
1469	95.5	4.5	0.0	88
1574	93.2	5.7	1.1	88
1580	97.7	2.3	0.0	87
1626	98.8	0.0	1.2	84
1687	96.7	2.2	1.1	90
1691	93.2	5.7	1.1	88
1693	97.8	2.2	0.0	90
1698	98.9	1.1	0.0	88
1700	94.4	5.6	0.0	89
1710	94.3	5.7	0.0	88
1711	100.0	0.0	0.0	90
1715	98.9	1.1	0.0	88
1720	97.6	2.4	0.0	84
1722	98.9	0.0	1.1	88
1725	97.7	2.3	0.0	88
1726	92.0	8.0	0.0	88
1739	96.6	3.4	0.0	89
1740	91.7	8.3	0.0	84
1748	95.6	4.4	0.0	90
1752	98.8	1.2	0.0	84
1757	100.0	0.0	0.0	88
5405	98.9	1.1	0.0	88
5600	98.9	1.1	0.0	87
5707	97.7	2.3	0.0	88
5764	97.7	2.3	0.0	88
Totaal	96.7	3.0	0.3	5919

Literatuur

- CVB, 2002. Tabellenboek Veevoeding 2002. Centraal Veevoederbureau, Lelystad.
- Dijkstra, J., 1993. Mathematical modelling and integration of rumen fermentation processes. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, Nederland, 221 p.
- Genstat 5 Committee, 1997. Genstat® 5 Release 4.1 Reference Manual Supplement. Numerical Algorithms Group, Oxford.
- Hijink, J.W.F. en A.B. Meijer, 1987. Het Koemodel. Publicatie nr. 50. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen, Paarden en Geiten, Lelystad.
- Pole, A., West, M. en J. Harrison, 1999. Applied Bayesian forecasting and Time Series Analysis. Chapman & Hall, Boca Raton.
- Straalen, W.M. van, 1995. Modelling of nitrogen flow and excretion in dairy cows. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, Nederland, 205 p.
- Tamminga, S., W.M. van Straalen, A.P.J. Subnel, R.G.M. Meijer, A. Steg, C.J.G. Wever en M.C. Blok, 1994. The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system. Livest. Prod. Sci. 40: 139-155.
- West, M. en J. Harrison, 1997. Bayesian Forecasting and Dynamic Models. Second Edition. Springer-Verlag, New York.
- Zom, R.L.G., G.J. Remmelink en G. van Duinkerken, 2001. Sturing melkureumgehalte op dierniveau via de voeding. Rapport 215. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Zom, R.L.G., J.W. van Riel, G. André en G. van Duinkerken, 2002. Voorspelling voeropname met Koemodel 2002. Praktijkrapport Rundvee 11. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Zom et al, 2003. Development of a model for the prediction of feed intake and simulation of production by dairy cows (4). Modelling of the partitioning of net energy in lactating cows (in voorbereiding).