

# Intern rapport



## Udredningsrapport om økonomisk foderoptimering i den enkelte besætning baseret på NorFor Plan

Søren Østergaard, Martin Weisbjerg, Ole Aaes, Nic Friggens, Troels Kristensen, Anders Ringgaard Kristensen, Lars Relund Nielsen, Dorthe Bossen



**Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet**

# Udredningsrapport om økonomisk foderoptimering i den enkelte besætning baseret på NorFor Plan

Rapporten er udarbejdet i Mælkeafgiftsfondsprojektet "Økonomisk foderoptimering i den enkelte besætning baseret på NorFor Plan".

Søren Østergaard <sup>1)</sup>, Martin Weisbjerg <sup>1)</sup>, Ole Aaes <sup>2)</sup>, Nic Friggens <sup>1)</sup>, Troels Kristensen <sup>1)</sup>, Anders Ringgaard Kristensen <sup>3)</sup>, Lars Relund Nielsen <sup>1)</sup>, Dorthe Bossen <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet  
Aarhus Universitet  
Blichers Allé 20  
Postboks 50  
8830 Tjele

<sup>2)</sup> Dansk Kvæg  
Udkærvej 15  
8200 Århus N

<sup>3)</sup> KU-Life  
Fiolstræde 22  
1171 København K

Interne rapporter indeholder hovedsagelig forskningsresultater og forsøgsopgørelser som primært henvender sig til DJF medarbejdere og samarbejdspartnere. Rapporterne kan ligeledes fungere som bilag til temamøder. Rapporterne kan også beskrive interne forhold og retningslinier for DJF.

Rapporterne koster i løssalg:  
Op til 50 sider: pr. stk. DKK 55,-  
Over 50 sider: pr. stk. DKK 85,-  
Over 75 sider: pr. stk. DKK 110,-

Henvendelse til:  
Det Jordbrugsvidenskabelige  
Fakultet,  
Aarhus universitet  
Postboks 50, 8830 Tjele  
Tlf.: 8999 1028  
[www.agrsci.dk](http://www.agrsci.dk)

Tryk: [www.digisource.dk](http://www.digisource.dk)



## Indholdsfortegnelse

<b>1.</b>	<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Baggrund, formål og procesbeskrivelse .....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Økonomisk optimering af foderrationen i relation til NorFor – behov og tilgange..</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Model for økonomisk optimalt foderniveau udviklet til FE-systemet.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>Anvendelse af nuværende NorFor Plan til foderplanlægning .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Strategies for Regulating Feed Intake with In-line Measurements.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Bedriftsmæssige hensyn ved planlægning af foderniveauet.....</b>	<b>26</b>
<b>3.5</b>	<b>Kan en modeltype som NorFor Plan danne grundlag for beslutninger om foderniveauet på besætningsniveau? Hvis ikke, hvad gør vi så? .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6</b>	<b>Matematiske metoder til økonomisk optimering i relation til foderplanlægning ...</b>	<b>37</b>
<b>3.7</b>	<b>Indsatsområder for udvikling af beslutningsstøtte til optimalt foderniveau i regi af NorFor .....</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion og konklusion for anbefalede prioriteringer i forhold til udvikling af et nyt værktøj til økonomisk optimering af foderniveauet.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Diskussion af indlæggene i afsnit 3.1 til 3.6.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Identificerede indsatsområder .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3</b>	<b>Anbefalet prioritering for fremtidig indsats.....</b>	<b>49</b>



## 1. Sammendrag

I Danmark har der været en særlig tradition i forbindelse med foderplanlægningen, idet vi har fokuseret på fodringsøkonomien frem for blot at fokusere på at forsyne koen i forhold til forventede livsytringer. De tidligere udviklede værktøjer har således været baseret på økonomiske principper om et aftagende merudbytte ved øget input af foder. Den stadigt stigende fokus på effektivisering i malkekvægsbesætningerne og udviklingen i retning af mere svingende priser på især foder og mælk gør imidlertid den økonomiske tilgang til foderplanlægningen endnu mere aktuell end tidligere.

NorFor Plan kan imidlertid ikke inddrage de økonomiske sammenhænge på den enkelte bedrift og dermed optimere fodringsøkonomien i den enkelte besætning. Modeltypen og kompleksiteten af NorFor Plan gør det umuligt at anvende de tidligere modeller til NorFor Plan. Desuden er de tidligere modeller baseret på data, hvor produktionsniveauet var væsentligt lavere end i dag.

I 2008 blev der med støtte fra mælkeafgiftsfonden gennemført et udredningsarbejde i projektet "Økonomisk foderoptimering i den enkelte besætning baseret på NorFor Plan". Udredningen er gennemført ved brug af ekspertvurderinger fra projektdeltagere og workshops. Ekspertene har bidraget med udregninger indenfor deres kompetenceområde i relation til økonomisk optimalt foderniveau. Disse udregninger er præsenteret og diskuteret ved 3 workshops. Ved workshoppen blev der opstillet en liste over relevante fremtidige indsatsområder for at imødekomme de identificerede behov. På baggrund af diskussioner ved workshop på tværs af indsatsområderne, blev indsatsområderne grupperet og prioriteret med henblik på anbefaling af den fremtidige indsats på området. Følgende indsatsområder er identificeret:

1. Modeller for substitution mellem kraftfoder og grovfoder ved ad libitum fodring med grundfoder
2. Konsekvenser af fodring i en periode på produktionen i en efterfølgende periode. Mellem forskellige laktationsafsnit og mellem laktationer.
3. Foderbudgettering med brug af Norfor. Ved foderbudgettering er det en væsentlig del af opgaven at allokere de kendte foderbeholdninger hen til de dyregrupper (kvier, goldkøer, højtydende, ..) på en optimal måde. Norfor kan vurdere hele rationer under hensyn til vekselvirkninger mellem fodermidler.
4. Nye generelle produktionsfunktioner og ny model for optimalt foderniveau baseret på forbedrede metoder til at beregne ydelseskapaletet vha. besætningens egne data, hvor det fundne foderniveau (og ydelsesniveau) bruges som input ved foderplanlægning med NorFor Plan.
5. Planlægning baseret på produktionsfunktioner specifikke for den enkelte besætning. Ved løbende at opdatere denne produktionsfunktion med sammenhørende data for input (foder) og output (produktion) indsamlet i besætningen bliver det muligt at optimere foderniveauet ud fra netop de sammenhænge, der gælder i besætningen.
6. Optimering/justering af foderniveauet på individ-niveau (eller mindre gruppe) med kort tidshorisont.

Gennem udredningsarbejdet er ovenstående indsatsområder prioriteret efter i hvilken rækkefølge det anbefales at iværksætte aktiviteter for at imødekomme behovene:

Prioritet 1: Indsatsområde 4 suppleret med de nødvendige bidrag fra indsatsområderne 1, 2 og 6.

Prioritet 2: Indsatsområde 5

Prioritet 3: Indsatsområde 3

Prioritet 4: Indsatsområderne 1, 2 og 6 gennemført i fuldt omfang.

## 2. Baggrund, formål og procesbeskrivelse

### Baggrund

I Danmark har der været en særlig tradition i forbindelse med foderplanlægningen, idet vi har fokuseret på fodringsøkonomien frem for blot at fokusere på at forsyne koen i forhold til forventede livsytringer. De tidligere udviklede værktøjer har således været baseret på økonomiske principper om et aftagende merudbytte ved øget input af foder. Den stadigt stigende fokusering på effektivisering i malkekvægsbesætningerne gør den økonomiske tilgang til foderplanlægningen endnu mere aktuell i dag end tidligere.

NorFor Plan kan imidlertid ikke inddrage de økonomiske sammenhænge på den enkelte bedrift og dermed optimere fodringsøkonomien i den enkelte besætning.

Modeltypen og kompleksiteten af NorFor Plan gør det umuligt at tilpasse de tidligere modeller til NorFor Plan. Den stadigt stigende fokusering på effektivisering i malkekvægsbesætningerne gør imidlertid den økonomiske tilgang til foderplanlægningen endnu mere aktuell end tidligere. Hovedformålet med dette udredningsarbejde er derfor at opstille en anbefaling for udvikling af et beslutningsstøtteværktøj, der – baseret på NorFor Plan – kan tilbyde en økonomisk optimering af fodringen på besætningsniveau.

De økonomiske perspektiver af at udvikle et nyt værktøj er vurderet vha. modellen udviklet til FE-systemet. I modellen udviklet af Østergaard et al. (2003) til beregning af optimalt foderniveau (FE) findes det optimale foderniveau, der hvor marginalværdien af mælk og vægtændring bliver lig med marginalomkostninger ved at øge foderrationens energiindhold med 1 ekstra foderenhed. Dette er vist ved typiske forudsætninger i fig. 1, idet det optimale foderniveau her er 20 FE. Af figuren ses konsekvenserne af ikke at vælge det optimale foderniveau. Eksempelvis er tabet cirka 1 krone pr. ko dagligt, hvis der i eksemplet vælges et foderniveau på 21 FE i stedet for 20 FE. I den nuværende situation uden et beslutningsstøtteværktøj til at optimere foderniveauet skønnes et tab af mindst denne størrelsesorden realistisk i mindst 25 procent af besætningerne. Skønnet er behæftet med stor usikkerhed! Det forventede resultat og mål er, at projektet kan forfine dette skøn og samtidig anviser et projekt til at udvikle et beslutningsstøtteværktøj til økonomisk optimering af foderrationen i den enkelte besætning.

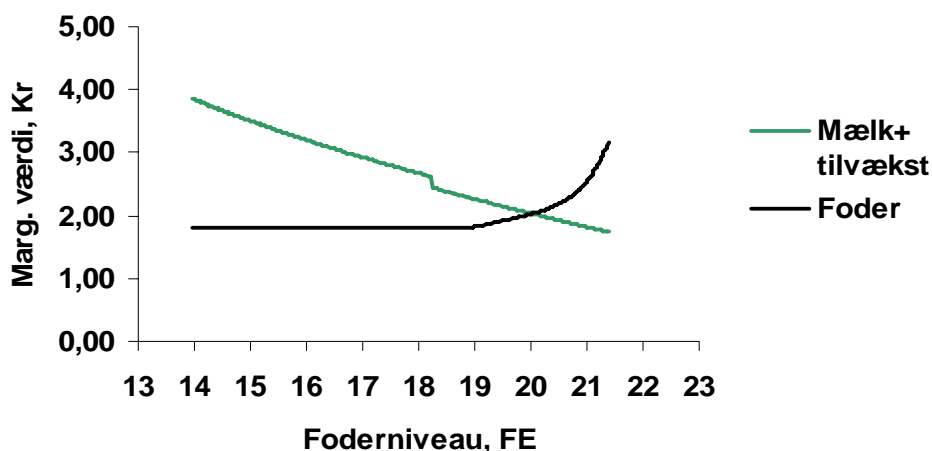


Fig. 1 Marginalværdi af mælk og vægtændring og marginalomkostning ved at øge foderniveauet med en ekstra FE i foderrationen til en malkekvægsbesætning.



### **Procesbeskrivelse**

Udredningen er gennemført ved brug ekspertvurderinger fra projektdeltagere og workshops. Ekspertter har bidraget med udregninger indenfor deres kompetenceområde i relation til økonomisk optimalt foderniveau. Disse udregninger er præsenteret og diskuteret ved 3 workshops. Ved workshoppene blev der opstillet en liste over relevante fremtidige indsatsområder for at imødekomme de identificerede behov. På baggrund af diskussioner ved workshop på tværs af indsatsområderne blev indsatsområderne grupperet og prioriteret med henblik på anbefaling af den fremtidige indsats på området.

Denne rapport afspejler udredningsarbejdet. Afsnit 3 indeholder udredningerne på de enkelte kompetenceområder. Afsnittet afsluttes med den besluttede liste med indsatsområder. Afsnit 4 indeholder en opsummering af diskussionen på tværs af kompetenceområderne. Afsnittet afsluttes med anbefaling af den fremtidige indsats på området.

### **3. Økonomisk optimering af foderrationen i relation til NorFor – behov og tilgange**

#### **3.1 Model for økonomisk optimalt foderniveau udviklet til FE-systemet**

*Søren Østergaard, AU-DJF*

##### **Indledning**

Planlægning af økonomisk optimal fodring af malkekøer involverer mange beslutninger på en kvægbedrift. På grund af klimaets og andre ukendte forholds påvirkning i vækstsæsonen, samt usikkerhed om priser på andre fodermidler adskillige måneder forud, gøres kun en begrænset indsats mht. detaljeringsgraden af den foderplan, som først skal bruges efter vækstsæsonen. Derfor udarbejdes først et foderbudget, som umiddelbart før den pågældende fodringssæson afløses af en detaljeret foderplan. Der er tale om en hierarkisk beslutningsproces, hvor ukendte faktorer og beslutninger truffet på ét tidspunkt fastsætter nogle af rammerne for de følgende beslutninger, som til sidst fører til detailfoderplanen og den praktiske udfodring.

I det følgende beskrives en model for optimalt foderniveau til brug ved udarbejdelse af detailfoderplanen for besætningens højtydende køer. Modellen blev udviklet til FE-systemet før NorFor projektet blev igangsat. En detaljeret beskrivelse er givet af Østergaard et al. (2004).

##### **Modellens forudsætninger**

Modellen bygger på følgende forudsætninger:

- Prisforudsætninger samt foderbeholdningernes mængde og kvalitet er kendte
- Der fodres efter ædelyst og fodringsprincipperne er strategifodring med kraftfoder eller fodring med fuldfoder
- Grovfoderet: Fordøjeligheden af organiske stof er mindst 75 % og fylden pr. FE er under 0,65
- Foderniveauet bestemmes for perioden 3 til 24 uger efter kælvning for en typisk besætningsgruppe med 35 % førstekalvskøer og køer af stor race opstaldet i løsdrift
- Mælkekvota indgår ikke i beregningerne, dvs. der optimeres pr. ko
- Produktionsfunktioner fra store danske produktionsforsøg og tilhørende forudsætninger (Kristensen et al., 2003; Kristensen og Ingvarstsen, 2003).

##### **Maksimering af udbyttefunktionen**

Det økonomisk optimale foderniveau beregnes som det antal FE pr. ko dagligt, der maksimerer det økonomiske udbytte pr. ko. Det findes som det foderniveau, hvor det marginale økonomiske udbytte af produceret mælk og tilvækst er lig med de marginale omkostninger på foderforbrug (prisen for en ekstra FE). Som mælkepris anvendes den forventede afregning, inklusiv eventuel efterbetaling, omregnet til kr. pr. kg EKM. Prisen på tilvækst er kompliceret at bestemme sikkert, bl.a. fordi den er forskellig for køer, der udsættes og køer, der bliver i besætningen. I det følgende regnes med en værdi pr. kg tilvækst på 4 gange mælkeprisen jævnfør Østergaard et al. (2003).

##### **Prisen på en ekstra FE i rationen (marginalfoderenhedsprisen)**

Foderniveauet øges ved at øge andelen af kraftfoder. Koen vil dermed optage mindre grovfoder da den har en begrænset foderoptagelseskapacitet. Marginalfoderenhedsprisen er værdien af det ekstra tilskuds foder minus værdien af den reducerede grovfodermængde, når det totale foderniveau øges netop én FE. I det anvendte foderoptagelsessystem antages foderoptagelseskapaciteten målt i fyldeenheder at blive gradvis mindre, når rationens samlede fylde pr. FE

bliver mindre end 0,35 (Kristensen og Ingvarsten, 2003). Det skyldes, at foderoptagelsen gradvist skifter fra fysisk til fysiologisk regulering. Det har væsentlig betydning for substitutionsforholdet mellem kraftfoder og grovfoder. Marginalfoderenhedsprisen bliver derfor højere, når rationens fylde pr. FE bliver mindre end 0,35. Hvis eksempelvis grovfoderets fylde pr. FE er 0,50, tilskudsfoderets fylde pr. FE er 0,19 og grovfoderet koster 1,00 kr. pr. FE og tilskudsfoderet 1,50 kr. pr. FE, så kan prisen for en ekstra FE beregnes til 1,81 kr., når rationens fylde pr. FE er større end 0,35, mens prisen for en ekstra FE bliver 2,43 kr., når rationens samlede fylde er mindre end 0,35 (Østergaard et al., 2003).

### **Mælk og tilvækst ved en ekstra FE**

Af mælkeproduktionsfunktionen fra Kristensen et al. (2003) kan udledes, at den marginale ydelsesstigning ved en ekstra FE ( $EKM'_{FE}$ ) afhænger af grovfoderets fordøjelighed i procent (FK), besætningens ydelseskapacitet (Y) udtrykt som korrigeret årsydelse i kg EKM og foderniveauet i FE pr. dag ( $FE_R$ ):

$$EKM'_{FE} = (3,472 - 0,006 FK) (1,37 - 0,00005 Y) - 2 (0,1243 - 0,0007 FK) FE_R (1,37 - 0,00005 Y)^2,$$

Funktionen udtrykker, at marginalværdien falder med stigende foderniveau, men stiger med stigende ydelseskapacitet og fordøjelighed af grovfoderet.

Marginaltilvæksten ved en ekstra FE afhænger af den marginale fodereffektivitet, den marginale ydelsesstigning samt energibehovet til mælk og tilvækst. Af en nyudviklet fodereffektivitetsfunktion beskrevet af Kristensen et al. (2003) fremgår, at den marginale fodereffektivitet ved en ekstra FE falder, når rationens fylde per FE øges og grovfoderets fordøjelighed falder.

### **Besætningens ydelseskapacitet**

Besætningens ydelseskapacitet er en vigtig forudsætning for modellen. Tallet angives i kg EKM pr. årsko og udtrykker en blanding af miljø og genetik. Til at findes værdien for en given besætning bruges forudgående ydelse korrigeret for fodring, sygdom og udskiftning i den pågældende periode. Eventuelt kan det være baseret på raske 3. kalvskøers ydelse 1 til 24 uger efter kælvning med korrektion for foderniveau. Ved at gange denne værdi med 250 fås en tilnærmet værdi for besætningens ydelseskapacitet pr. årsko (Østergaard et al., 2003). Det er vigtigt ikke at bruge besætningens målsætning, da modellen skal bruge værdien til at beskrive køernes respons på øget foderniveau.

### **Eksempler på brug af modellen**

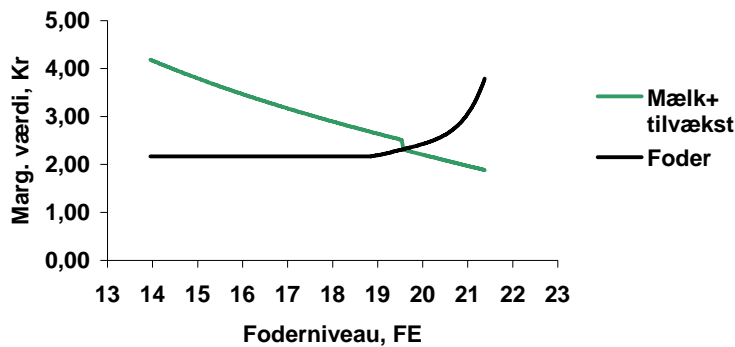
Modellen er implementeret i et Excel regneark. Et eksempel på anvendelse af modellen er vist i figur 1.

## INPUT

FK	80
EKM, kr	2,60
Ykap	9500
FF <sub>T</sub>	0,19
FF <sub>A</sub>	0,50
Kr <sub>T</sub>	1,80
Kr <sub>A</sub>	1,20

## OUTPUT

FE <sub>R</sub>	19,6
FE <sub>A</sub>	10,4
FE <sub>T</sub>	9,2
EKM, kg	33,2
DTV, kg	0,002
Fodereff. %	93,2
Marg. eff. %	56,6
FF/FE	0,36



Figur 1. Eksempel på beregning af optimalt foderniveau.

Som input til modellen i eksemplet i figur 1 er angivet:

- Fordøjelighed af grovfoderet organiske stof: FK = 80
- Mælkeprisen i kr. pr. kg: 2,60
- Besætningens ydelseskapaletet i kg EKM pr. år: 9500
- Tilskudsfoderets fylde pr. FE: 0,19
- Grovfoderets fylde pr. FE: 0,50
- Prisen for tilskudsfoder i kr. pr. FE: 1,80
- Prisen for grovfoder i kr. pr. FE: 1,20

Outputtet fra modeller er:

- Optimalt foderniveau i FE pr. dag: 19,5
- Grovfoder i rationen i FE: 10,5
- Tilskudsfoder i rationen i FE: 9,1
- Dagsydelse i kg EKM: 33,2
- Daglig tilvækst i kg: 0,110
- Fodereffektivitet i procent: 93,2
- Marginalfodereffektivitet i procent: 56,8
- Rationen fylde pr. FE: 0,36

Outputtet kan bruges til at vurdere, om det af modellen fundne optimale foderniveau er acceptabel ud fra andre hensyn. Det kan fx være forbruget af grovfoder, den daglige tilvækst eller fylden pr. FE.

Figuren viser marginaludbyttekurven (mælk og tilvækst) og marginalomkostningskurven (marginalfodereffektiviteten) begge som funktion af foderniveauet. Der, hvor de to kurver skærer hinanden, findes det optimale foderniveau som værdien på x-aksen.

Modellen giver højere optimalt foderniveau når:

- Marginaludbyttet stiger
- Marginalfoderenhedsprisen falder

Marginalfoderenhedsprisen falder når:

- Mere fyldende ædelystfoder (Pga. der skal bruges mindre tilskudsfoder)
- Lavere pris for tilskudsfoder
- Højere pris for grovfoder
- Højere ydelseskapaletet (foderoptagelseskapaletet) (Pga. grovfoderet udgør en større andel)

Marginaludbyttet stiger når

- Højere ydelseskapaletet
- Højere fordøjelighed af grovfoder
- Højere mælkepris

Hvis hver enkelt input variabel øges med 10 % i forhold til forudsætningerne i figur 1, så får det følgende virkning på det optimale foderniveau:

- Fordøjelighed af grovfoderet organiske stof: +3 %
- Mælkeprisen i kr. pr. kg: +3 %
- Besætningens ydelseskapaletet i kg EKM pr. år: +5 %
- Tilskudsfoderets fylde pr. FE: -1 %
- Grovfoderets fylde pr. FE: +1 %
- Prisen for tilskudsfoder i kr. pr. FE: -3 %
- Prisen for grovfoder i kr. pr. FE: +2 %

#### *Eksempel med højt og lavt foderniveau*

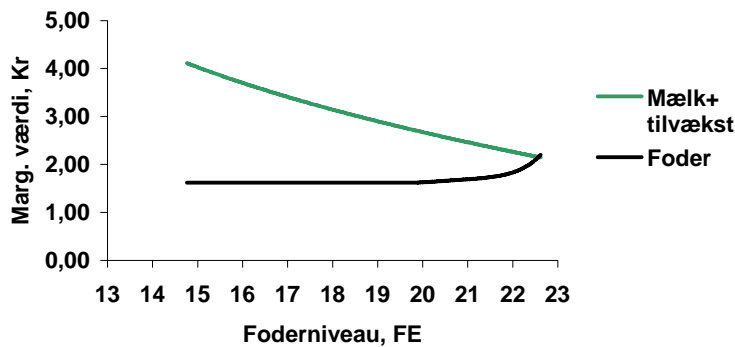
Ved at kombinere de forudsætninger, der medfører højt foderniveau ses en stor samlet effekt. I eksemplet i figur 2, ses således et foderniveau, der er øget fra 19,5 til 22,3 FE når ydelseskapaleteten øges til 11.000 og prisen for tilskudsfoder og grovfoder sættes til hhv. 1,50 og 1,30 kr. pr. FE.

## INPUT

FK	80
EKM, kr	2,60
Ykap	11000
FF <sub>T</sub>	0,19
FF <sub>A</sub>	0,50
Kr <sub>T</sub>	1,50
Kr <sub>A</sub>	1,30

## OUTPUT

FE <sub>R</sub>	22,6
FE <sub>A</sub>	8,2
FE <sub>T</sub>	14,3
EKM, kg	38,8
DTV, kg	-0,054
Fodereff. %	90,0
Marg. eff. %	52,2
FF/FE	0,30



Figur 2. Eksempel på modelberegning, som resulterer i et højt foderniveau.

Hvis der i stedet forudsættes et ydelsesniveau på 7.500 og priser på tilskudsfoder og grovfoder på hhv. 2,20 og 1,20, så bliver foderniveauet på 16,4 FE.

I praksis vil variablerne i nogen grad være afhængige. Eksempelvis vil højere fordøjelighed typisk forekomme i kombination med lavere fylde pr. FE.

### Differentieret foderniveau mht. paritet og ydelsesniveau

Det af modellen beregnede foderniveau er et fælles niveau for alle køer i besætningen. Modellen giver ikke umiddelbart mulighed for at beregne separat for køer med forskellige laktationsnumre og ydelsesniveauer. Kristensen et al. (2003) finder at: ”Den bedre fodereffektivitet hos køer med højere ydelse skyldes således udelukkende, at de højtydende køer optager en større mængde foder og dermed en større mængde energi end lavtydende køer, og at de udnytter energien i dette foder med samme effektivitet på trods af den større foderoptagelse. Tilsvarende gælder tilsyneladende for større, ældre køer sammenlignet med mindre, unge køer.” Det er på den baggrund foreslået at differentiere således, at fylden pr. FE i rationen holdes konstant, som det automatisk vil være tilfældet ved fodring med samme fuldfoderration til alle køer i besætningen. Den marginale foderudnyttelse (ændringen i FE udnyttet til livsytringer ved stigende foderniveau) og fodereffektiviteten (udnyttet foder i procent af foderoptaget) bliver dermed ens, når fylden pr. FE i rationen er ens. Ved rationer, der har en lavere fylde pr. FE end 0,35, vil der dog gradvist kunne blive en afvigelse. Med udgangspunkt i et fælles bestemt foderniveau kan foderniveauet til førstekalvs og øvrige køer beregnes tilnærmelsesvis ved at multiplicere med hhv. 0,87 og 1,07. Hvis der fodres separat med kraftfoder skal der tildeles omkring 0,5 FE ekstra kraftfoder pr. 1.000 kg højere ydelseskapaletet.

### Betydning af suboptimalt foderniveau

Af kurverne i figur 1 ses konsekvenserne at være et tab på 1,0 kr. dagligt pr. ko ved at vælge et foderniveau der er 1,0 til 1,5 FE for højt. En forskel i kraftfoderprisen fra 1,80 til 1,50 kr. pr. FE resulterer i et foderniveau der er 1,3 FE højere og altså et tab på 1,0 kr. pr. ko dagligt i

forhold til at have besluttet det optimale foderniveau for prisen på 1,8 kr. pr. FE (øvrige forudsætninger som i figur 1). Der er et stigende økonomisk tab pr. FE afvigelse jo større afvigelsen er.

### **Anvendelse af modellen i praksis**

Baseret på erfaringerne fra afprøvninger af foderplanlægningsværktøjer blev den præsenterede metode foreslået anvendt til at bestemme et udgangspunkt for det optimale foderniveau. Med dette udgangspunkt kan den endelige foderplan (herunder foderniveauet) udarbejdes som en trinvis proces med inddragelse af relevante praktiske forhold, hensyn til næringsstofindhold og specielle biologiske forhold knyttet til aktuelle fodermidler. Den økonomiske betydning af en finjustering på fx. 1 FE for det beregnede optimale foderniveau vil som vist ofte være begrænset i forhold til betydningen af faktorer, der ikke inddrages i optimeringen. For en mere detaljeret fremstilling af ovenstående henvises til Østergaard et al. (2003).

### **Referencer**

Kristensen, V. F., Ingvarsen, K. L., 2003. Forudsigelse af foderoptagelsen hos malkekøer og ungdyr. I: Hvelplund, T. og Nørgaard, P. (red.), Kvægets ernæring og fysiologi, bind 1, Næringsstofomsætning og fodervurdering. DJF rapport, Husdyr nr. 53. 511-557.

Kristensen, V. F., Weisbjerg, M. R., Børsting, C. F., Aaes, O., Nørgaard, P., 2003. Malkekoens energiforsyning og produktion. I: Strudsholm, F. og Sejrsen, K. (red.), Kvægets ernæring og fysiologi, bind 2, Fodring og produktion. DJF rapport, Husdyr nr. 54. 73-108.

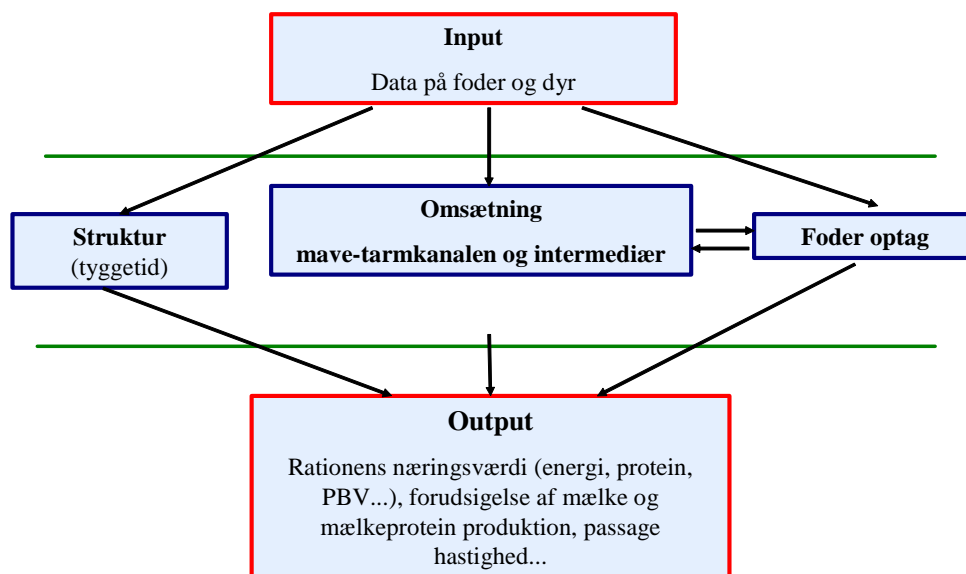
Østergaard, S., Kristensen, T., Aaes, O., Kristensen, V. F., Jensen, M., Clausen, S., 2003. Planlægning af økonomisk optimal fodring af malkekøer. I: Strudsholm, F. og Sejrsen, K. (red.), Kvægets ernæring og fysiologi, bind 2, Fodring og produktion. DJF rapport, Husdyr nr. 54. 371-407.

### 3.2 Anvendelse af nuværende NorFor Plan til foderplanlægning

*Martin Riis Weisbjerg og Ole Aaes*

#### NorFor Plan

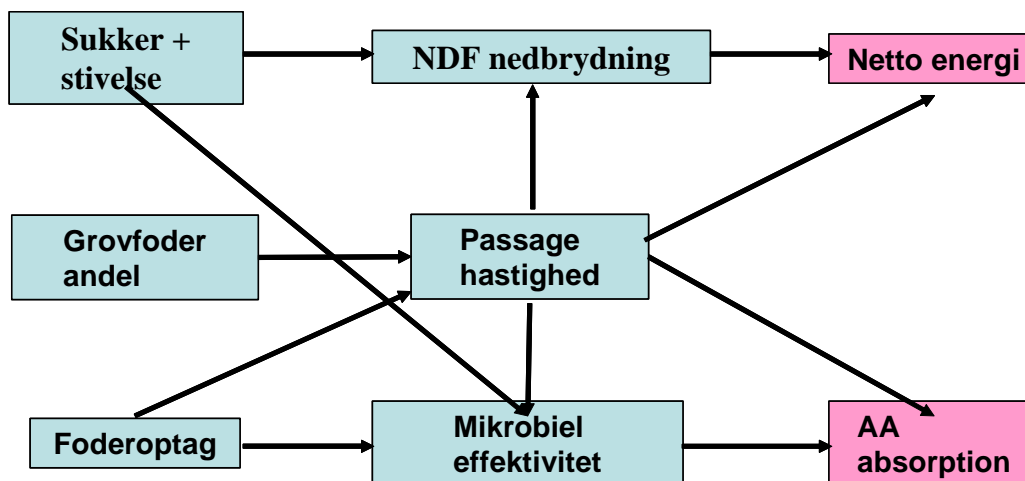
NorFor Plan er et system til rationsoptimering, som er introduceret i Sverige, Norge, Island og Danmark i 2007. En oversigt over NorFor Plan er vist i Figur 1. Modellen består af 3 submodeller, en semi-mekanistisk model, der beregner næringsstofforsyningen og energi- og proteinværdi, en foderoptagelses model og en model, der beregner den fysiske strukturværdi baseret på tyggetid.



Figur 1. Oversigt over strukturen i NorFor Plan omfattende 3 submodeller.

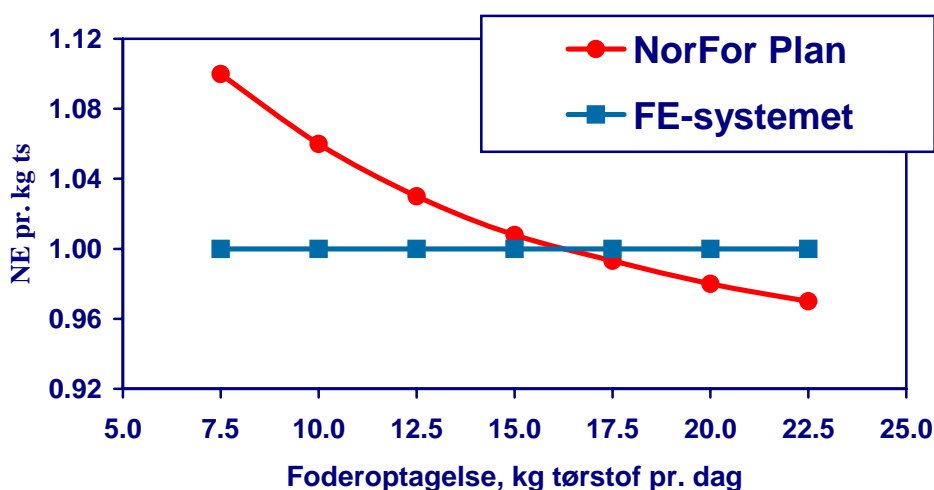
En grundlæggende ændring, som er sket med NorFor Plan set i forhold til klassisk energivurdering, er at systemet ikke længere er additiv, således tager NorFor Plan hensyn til væsentlige vekselvirkninger mellem næringsstoffer og foderniveau. Beregning af rationens indhold af nettoenergi og forsyning med AAT afhænger af foderniveau, grovfoder andel, indhold af letfordøjelige kulhydrater, og tager hensyn til disses betydning for NDF fordøjeligheden, passagehastighed mm. De væsentligste vekselvirkninger er vist i Figur 2.



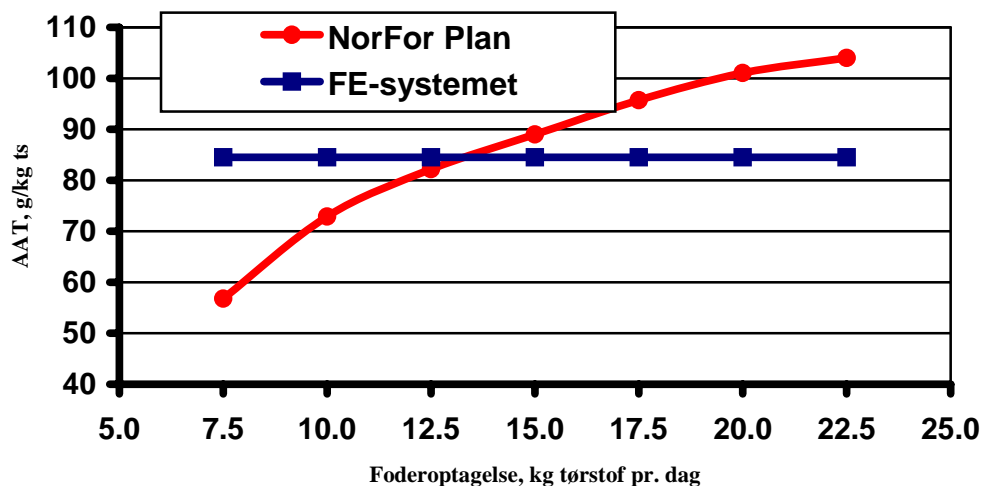


Figur 2. Oversigt over nogle af de væsentligste vekselvirkninger i NorFor Plan

I Figur 3 og 4 er der vist eksempler på nogle af de effekter, som hensyntagen til vekselvirkninger i NorFor Plan har på energiværdi og proteinværdi. Der fremgår af Figur 3, hvorledes energiværdien pr. kg tørstof i NorFor reduceres med stigende foderniveau, hvor det i FE systemet er konstant. I FE systemet blev der tidligere taget hensyn til betydningen af foderniveau ved en forventning om en faldende fodereffektivitet, dog uden at der her blev taget hensyn til rationssammensætning. I Figur 4 vises det, hvorledes proteinværdien (AAT) påvirkes af foderniveau. Igen ses det, at AAT indholdet (g/kg tørstof) i vores tidligere AAT/PBV system er konstant uafhængig af foderniveau, mens AAT indholdet stiger kraftigt med øget foderniveau i NorFor Plan, overvejende pga. øget effektivitet i den mikrobielle syntese. I NorFor Plan flyttes fokus således fra det enkelte fodermiddel til rationen, og NorFor Plan giver en mulighed for bedre at beskrive, hvad der sker i mave-tarmkanalen, og de effekter som foderniveau og rationssammensætning har på energi og proteinværdi.



Figur 3. Foderniveauets påvirkning af den relative netto energi (NE) værdi pr. kg rationstørstof (ration med 50 % kraftfoder på tørstof basis).



Figur 4. Foderniveauets betydning for proteinværdien (g AAT pr. kg rationstørstof). AAT værdien afhænger af såvel mikrobielt protein som unedbrudt foderprotein (ration med 50 % kraftfoder på tørstof basis) (Volden, 2001).

NorFor modellen er overvejende baseret på nordiske forsøgsdata og fodervurderings-traditioner såsom det nordiske proteinvurderingssystem til drøvtyggere (AAT/PBV). Det er således muligt at bygge videre på det eksisterende erfaringsgrundlag.

NorFor Plan er baseret på viden om 1) kemisk sammensætning af fodermidlerne; 2) koens tørstof optagelse; 3) nedbrydning og absorption i mave-tarmkanalen; 4) mikrobiel syntese i vommen og i blind-tyktarm; og 5) effektiviteten af udnyttelsen af absorberede næringsstoffer.

NorFor Plan betyder således:

- At AAT værdien øges med øget foderniveau, og afhænger af andelen af letfordøjelige kulhydrater;
- At øgningen i AAT værdi er større for kulhydratrige kraftfodermidler sammenlignet med proteinrige kraftfodermidler;
- At nettoenergiindholdet (NEL) reduceres med øget tørstofoptagelse, og denne effekt er større for grovfoder end for kraftfoder, pga. den større NDF-mængde der påvirkes.

NorFor Plan forventes således at forbedre såvel energi- som proteinvurderingen, idet modellen integrerer effekter af øget foderniveau og ændret rationssammensætning (hurtigt vs. langsomt forgærbare kulhydrater) på såvel fordøjeligheden af cellevægskulhydrater i vommen som effektiviteten af den mikrobielle syntese.

### Energivurdering

NorFor Plan vurderer indholdet af nettoenergi baseret på modellens beregnede tilsyneladende fordøjeligheder. Tilsyneladende fordøjede mængder af næringsstofferne transformeres derefter til nettoenergi ved anvendelse af energifaktorer fra det hollandske energivurderingssystem (Van Es (1978), hvor der først beregnes omsættelig energi ud fra fordøjede næringsstoffer, og efterfølgende nettoenergi baseret på omsættelig energi. Nettoenergibehovet til vedligehold, vækst, foster og mælkeproduktion er baseret på klassiske energivurderingssystemer.

### Protein vurdering

Modellen, som NorFor Plan bygger på (Volden, 2001) var oprindeligt tænkt som en forbedring af det nordiske AAT/PBV proteinvurderingssystem, ved at give effekten af kulhydratforgæringen i vommen en mere central rolle. Modellen forudsiger flowet af N gennem mave-

tarmkanalen og udskillelsen i mælk, urin og fæces. Modellen beskriver forgæringen og fordøjelsen af protein (aminosyrer og ikke protein N), fedt og fedtsyrer, NDF, stivelse og restkulhydrater i vommen, i tyndtarmen, og i blind-tyktarm, og angiver udnyttelsen af absorbere- de aminosyrer til vedligehold og mælkeproduktion. Nedbrydningen i vommen og dermed energiforsyningen til mikrobiel syntese beregnes ud fra næringsstofferne nedbrydnings- og passagehastigheder.

### **Forudsigelse af tørstof optagelse**

Ved fodring efter ædelyst er det afgørende at kunne forudsige dyrenes foderoptagelse. I NorFor Plan er der en foderoptagelsessubmodel, som er baseret på fylde systemet (Kristensen & Ingvarsen, 2003), men med væsentlige modificeringer, således beregnes fylden i NorFor ud fra NDF koncentrationen, organisk stof fordøjelighed og forgæringsprodukter i ensilage. Det er imidlertid ikke et rent additiv system, idet andelen og mængden af stivelse og sukker i rationen har betydning for grovfoderets fylde. Således vil en høj stivelses- og/eller sukkerandel ("dårligt vommiljø") øge fylden mens en høj stivelses- og/eller sukkermængde ("højt" foderniveau) reducerer fylden. Derudover korrigeres grovfoderets fylde ud fra grovfoderets basisfylde. Det betyder, at for grovfoder med en basisfylde over 0,48 nedjusteres fylden og ved meget letfordøjeligt (lav basisfylde) grovfoder opjusteres fylden. Korrektionen gælder ikke for grovfodermidler med en basisfylde under 0,35.

I den nuværende version af NorFor er effekten på grovfoder med lav basisfylde for kraftig, dette ændres når de nye formler implementeres i NorFor d. 2. februar 2009

Modellen beregner en fylde for rationen, og indeholder 'normer' for foderoptagelseskapa- citeten baseret på dyreoplysningerne mælkeydelse, paritet og størrelse defineret ved en vægt. Ved rationsplanlægning beregnes foderoptagelsen, således at optagelsen af fyldeenheder sva- rer til kapaciteten (køen fyldes op). Foderoptagelseskapa- citeten afhænger af opstaldning, og er større i løsdrift end i bindestald.

### **Fysisk struktur**

Fysisk struktur og den relaterede tyggetid beregnes ligeledes i en submodel. I Norfor Plan be- regnes strukturværdien som total tyggetid, med basis i det oprindelige tyggetidssystem be- skrevet af Nørgård (2003). I NorFor modellen er der sket betydelige modificeringer. Tyggein- deks beregnes her som summen af ædeindeks og drøvtygningsindeks. Ædeindeks er proportional med NDF koncentrationen og en partikelstørrelsesfaktor, og drøvtygningsindeks afhænger ud over NDF koncentrationen og partikelstørrelses faktor også af en hårdhedsfaktor, der beskrives ved forholdet mellem ufordøjelig NDF (iNDF) og total NDF (Nørgaard et al., 2008). Tyggetidssubmodellen er således et rent additiv system.

### **Nye væsentlige parametre i NorFor Plan**

Følsomhedsanalyser har vist, at det er nogle få foderkarakteristika, der har afgørende betyd- ning for energiværdien i NorFor Plan. De væsentligste er ufordøjelig NDF (iNDF), nedbryd- ningshastigheden af NDF, og opløseligheden af protein. Der er udviklet metoder, således at disse parametre kan estimeres på grovfoderprøver fra praktisk landbrug for de mest alminde- lige grovfodertyper.

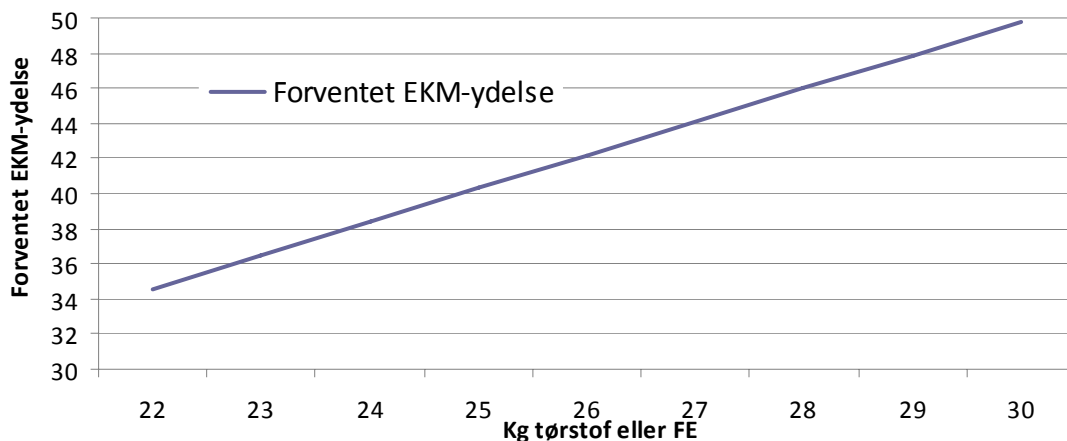
## Optimering af foderniveau

### Respons på energi, NorFor Plan vs. FE systemet

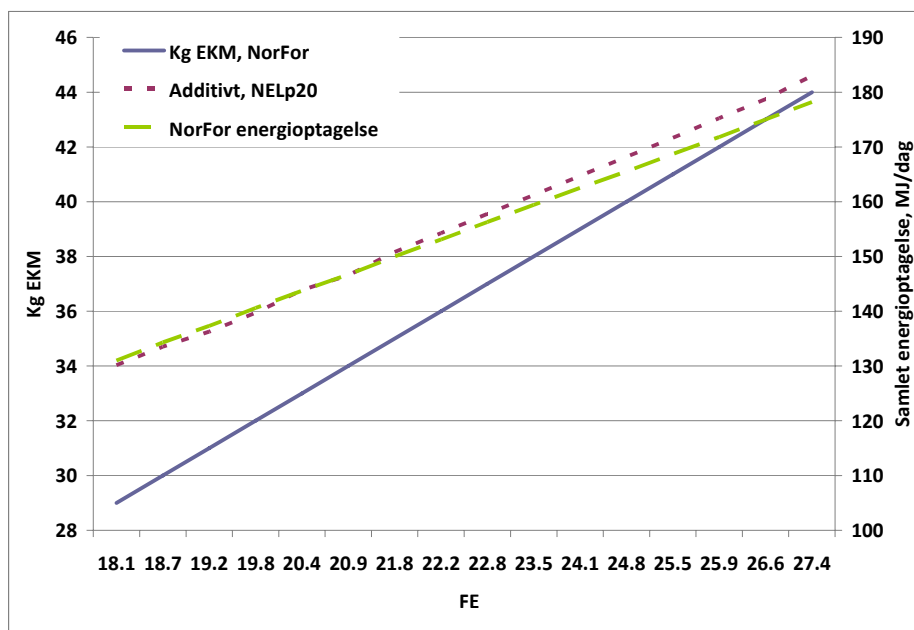
I Norfor Plan bliver rationens nettoenergi (NEL) beregnet ud fra rationens næringsstofsammensætning, foderniveau og faktorer ved dyret, så som størrelse. Det betyder som vist i figur 3, at øget foderoptagelse reducerer nettoenergi til laktation (NEL), på grund af øget passagehastighed, øget stivelse: NDF-forhold, reduceret cellulolytisk aktivitet og reduceret NDF-fordøjelighed. Derfor kunne man i princippet godt forvente, at NorFor Plan kunne optimere foderniveauet i en given besætning.

Ser man på, hvad der sker ved at øge foderniveauet i modellen, fremgår det imidlertid, at marginaludbyttet af at øge med 1 kg tørstof (1 FE) er meget forskellig i NorFor og i FE-systemet. Figur 5a viser, at ved at øge foderniveauet fra 22 kg ts. til 30 kg ts., reduceres energien kun med 3 % pr. kg ts. Det betyder, at det 30. kg tørstof kun har 13 % mindre energi end det 22. kg tørstof. Modellen vil således forvente en mælkeydelse, der er ca. 15 kg EKM højere ved 30 kg ts. end ved 22 kg ts. I Figur 5b er konsekvensen af øget energioptag under fyldebegrænsning, hvor fylden fastholdes ved at øge kraftfoder/grovfoderforholdet, vist for mælkeydelse og energioptag. Her ses ligeledes et meget begrænset fald i energiværdi ved øget foderniveau, således giver en øgning fra 19,4 til 25,5 kg tørstof/dag (18,1 til 27,4 FE/dag) kun en reduktion på godt 3 % i forhold til den additivt beregnede  $NEL_{p20}$ .

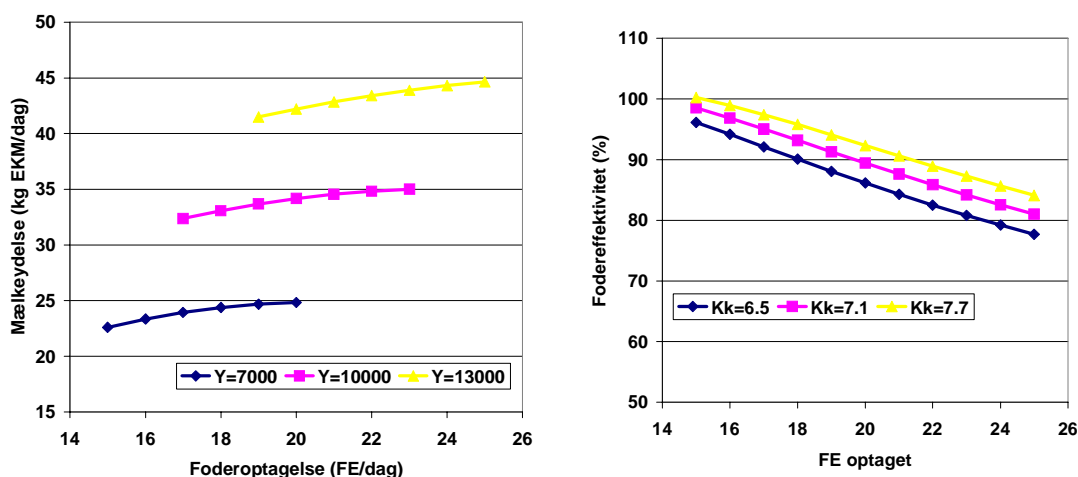
Ser man derimod på FE-modellens reaktion på øget foderniveau, viser det en meget lille forøgelse af den forventede mælkeydelse ved at øge fodertildelingen med 1 FE, og denne øgning i mælkeydelse aftager kraftigt med øget foderniveau (Figur 6a).



Figur 5a. Forventet stigning i mælkeydelsen ved stigende foderniveau i NorFor Plan ved øgning af energioptagelsen ved ration med konstant sammensætning (øget foderoptagelseskapacitet/fylde).



Figur 5b. Forventet stigning i mælkeydelsen ved stigende foderniveau i NorFor Plan, opnået ved øget kraftfoder-grovfoderforhold. Grovfoderandelen reduceres fra 77 til 35 %, total fylde holdes konstant. Energioptagelsen i MJ/dag vist i forhold til additivt (NEL<sub>p20</sub>).



Figur 6- a,b. Forventet ydelsesrespons (a) og fodereffektivitet (b) ved øget foderniveau i FE systemet (Weisbjerg & Kristensen, 2005; Kristensen et al., 2003).

Forskellen på de to modeller ligger i, at FE-modellen finder værdien af at øge med 1 FE i en given besætning med et givet potentiale, som er en kombination af management, foderkvalitet og køernes normalniveau i besætningen. Potentialet kalder vi ydelsespotentialet, eller forventet ydelsesniveau.

I NorFor Plan vil en forøgelse med 3,14 NEL altid give en forventet ydelsesstigning på 1 kg EKM. Årsagen er, at modellen opererer på tværs af "ydelsespotentialerne", hvilket kan illustreres ved at binde de optimale foderniveauer vist i Figur 6a sammen. Konsekvensen er, at NorFor kan optimere den fodersammensætning, der netop giver energi til at dække behovet til det opgivne ydelsesniveau, mens FE-modellen optimerer indsatsen på et "ydelsespotentiale", og derefter optimerer rationen.

Figur 5a og Figur 6a er dog ikke fuldstændig sammenlignelige, idet NorFor Plan i Figur 5a placerer al øgning i nettoenergioptag i mælkeproduktion, mens Fe systemets forudsigtelse af

mælkeproduktion i Figur 6a indbefatter en forventet øget tilvækst ud over den viste øgning i mælkeproduktion. I Figur 6b er den forventede fodereffektivitet, hvor der tages hensyn til alle livsytringer, i FE systemet angivet for 3 foderoptagelseskapaciteter, der svarer til et ydelsespotentialer på 7.500, 9.500 og 11.500 kg mælk. Til sammenligning med ovennævnte respons i NorFor Plan for henholdsvis det 22. og 30. kg ts, kan der ud fra FE systemets formelværktøj for fodereffektivitet (Weisbjerg & Kristensen, 2005; Kristensen et al., 2003) beregnes et samlet produktionsrespons. Inden for et ydelsespotentialer på 9.500 har det 30. FE kun  $0,378/0,491 = 77\%$  af værdien af det 22. FE. Hvis vi derimod sammenligner det 22. FE på et ydelsespotentialer på 7.500 med den 30. FE på et ydelsespotentialer på 11.500, har det 30. FE en værdi på  $0,401/0,452 = 0,89$ , hvilket er sammenligneligt med de 13 % reduktion vist ovenfor for NorFor Plan.

### **Respons på protein, NorFor Plan vs. FE systemet**

I 551. Beretning blev der præsenteret produktionsfunktioner, der ud over energi også inkluderede korrigeret råfedt og fordøjeligt råprotein (Thyssen, 1993). Fordøjeligt råprotein er siden afløst af AAT/PBV proteinvurderingssystemet, hvor der er angivet normer for henholdsvis PBV og AAT. Ved forsyning over normerne forventes der ingen yderligere produktionsrespons, mens der er angivet forventet reduktion i EKM og proteinydelse ved reduktion i AAT under normen, samt for foderoptagelse, EKM og proteinydelse ved reduktion af PBV under normen (Madsen et al., 2003).

I NorFor estimeres ligeledes AAT (aminosyrer absorberet i tarmen) og PBV (proteinbalancen i vommen). AAT og PBV i NorFor beskriver det samme som i AAT/PBV systemet, men størrelsesordenen er væsentlig forskellig. I NorFor styres såvel AAT som PBV ved 'normer', således er der for AAT en nedre norm, mens der for PBV er såvel nedre som øvre norm.

Ud over den nedre AAT norm beregnes der ligeledes en AAT balance, der er baseret på AAT forsyningen i forhold til AAT behovet til vedligehold, tilvækst, foster samt mælk. For AAT balancen kan der lægges en øvre og nedre 'norm'.

NorFor beregner forventet mælkemængde alene baseret på energiværdien.

Men derudover beregnes forventet mælkeproteinproduktion baseret på AAT til rådighed korrigeret for en effektivitet. Effektiviteten er baseret på en andengradsfunktion af forholdet mellem AAT og NEL til rådighed for mælkeproduktion (til rådighed efter at vedligehold, tilvækst, foster (samt for AAT også ekstra mobilisering/deponering) er dækket). Responset er imidlertid meget begrænset, og vil ved det nuværende respons ikke have betydning for optimalt foderniveau.

Dette betyder samlet, at der ingen forventning er om ydelsesrespons i EKM på ekstra protein i NorFor systemet, hvis normerne er overholdt, og NorFor giver således heller ikke et bud på, hvilken reduktion der sker i produktionen, hvis normen ikke overholdes.

### **Respons på fedt, NorFor Plan vs. FE systemet**

I norm-værktøjet tilhørende FE systemet var der en forventning om et øget ydelsesrespons ved øget fodring med fedt (Børsting et al., 2003; Strudsholm et al., 1999). Der antages her, at responset på fedttilskud er proportional med ydelsen, men antagelsen er imidlertid meget sparsomt dokumenteret. Et nyere dansk forsøg kunne ikke påvise denne proportionalitet (Weisbjerg et al., 2008).

Når forsøg, og især danske forsøg, giver store positive udslag på fedttilskud ud over, hvad øgningen i energioptaget kan forklare, betyder det, at energivurderingen undervurderer værdien af tilskudsfedt. Forskellige energivurderingssystemer vurderer fedt i forhold til stivelse forskellig, f.eks. er forholdet mellem fedt og stivelse 1,97 i det danske FE system (Weisbjerg og

Hvelplund, 1993), 2,24 i det amerikanske NRC system (NRC, 2001) og 2,58 i det hollandske VEM system (Van Es, 1978).

Det høje energiindhold i fedt skyldes fedtsyreindholdet, mens ikke-fedtsyredelen i bedste fald har energiværdi som kulhydrat. Derfor vil energiværdien af foderfedt være proportional med fedtsyreandelen. I forbindelse med indførelsen af NorFor systemet kommer kravet til deklarationen af kraftfoderblandinger til at omfatte fedtsyreindholdet, dvs. der her tages hensyn til variationen i fedtsyreindhold i råfedtet. Ligeledes vil vurderingen af fedtsyrer i forhold til stivelse blive ændret, idet energiværdien af fordøjede næringsstoffer i NorFor systemet beregnes vha. de hollandske værdier (Van Es, 1978). Således skulle man umiddelbart forvente at energiværdien af fedt 'skrues op' i forhold til stivelse i NorFor. I Tabel 1 er der lavet sammenligninger for fedtkvaliteter med henholdsvis 85 og 95 % fedtsyrer i råfedt.

Tabel 1. Beregnede standardværdier for energiværdi

	FE	NorFor
Forhold energifaktor ford. fedt/ford. kulhydrat	1,97	2,58
Fedt 85 % FS	2,82 FE/kg ts	18,23 MJ NELp20/kg ts
Fedt 95 % FS	2,82 FE/kg ts	19,73 MJ NELp20/kg ts
Byg	1,11 FE/kg ts	7,16 MJ NELp20/kg ts
Forhold - fedt 85 %FS/byg	2,54	2,55
Forhold - fedt 95 %FS/byg	2,54	2,76

Tabel 1 viser, at der ingen ændring sker i vurderingen af fedt i forhold til byg (stivelse) ved overgang fra FE til NorFor for fedtvarer med 85 % fedtsyrer, mens meget fedtsyre rige fedtvarer får en lille opvurdering i forhold til byg.

Baggrunden for dette, på trods af at energifaktoren af det fordøjede råfedt/fedtsyrer øges, må skyldes følgende:

Det hollandske system (og alle andre klassiske energivurderingssystemer) arbejder på råfedt basis, dvs. energiværdierne er tilpasset råfedt, og ikke fedtsyrer. Da glycerol i glycerider bliver analyseret som en del af råfedtet, vil energifaktoren også omfatte glyceroldelen (og evt. andre fraktioner i fedtet). I NorFor sker der imidlertid en fraktionering i glycerol og fedtsyredel, og det er kulhydratfaktoren 14,2 MJ ME/kg, der anvendes på fordøjet 'ikke fedtsyre råfedt = glycerol mm', mod 37,7 MJ ME/kg for 'fordøjet fedt'. Ud over at glyceroldelen 'falder ud' i den endelige energiberegning, som nok må betegnes som en 'uhensigtsmæssighed' i NorFor modellen, er der også en betydelig lavere fordøjelighed i NorFor end de 95 % tilsyneladende fordøjelighed for rent fedt, der anvendes i FE systemet. Dette skyldes til dels, at 'tilsyneladende fordøjelighed' af fedt estimeres meget højere hos får end hos køer (Weisbjerg et al., 1991), og i FE systemet var basis tilsyneladende fordøjeligheder målt på får på vedligehold. Tilsyneladende fordøjelighed af fedt, som den angives i NorFor vil ikke være sammenlignelig med klassisk tilsyneladende råfedt fordøjelighed, da 'ikke fedtsyre' delen som nævnt ovenfor 'trækkes fra nævneren', mens det endogene bidrag i fæces, der korrigeres for er mikrobielt råfedt (inkl. 'ikke fedtsyre' råfedt) syntetiseret i blind- og tyktarm.

Dette betyder samlet, at NorFor i den nuværende version tager hensyn til fedtkvaliteten målt som fedtsyreindhold, hvilket er et betydeligt fremskridt. Men NorFor skruer ikke værdien af fedt op i forhold til FE systemet, hvorfor der stadig skal forventes et positivt respons udover

den forventede mælkeydelse som NorFor angiver, nogenlunde som angivet i danske normer (Strudsholm et al., 1999) ved øgning af fedtsyreniveauet op 4,5-5 % af rationstørstof.

### **Vekselvirkning mellem fedt- og proteinniveau og optimalt energiniveau**

Fedt- og proteinniveauet bør fastsættes ud fra en økonomisk vurdering. Hvorvidt energiniveauet kan optimeres uafhængig af fedt- og proteinniveauet er ikke umiddelbart indlysende. Et øget fedttilskud vil, med vores nuværende fyldebaserede foderoptagelses system, medføre et forventet højere energi-optag, som potentielt ville kunne medføre et øget optimalt foderniveau. Men typisk medfører fedttilskud en reduceret tørstofoptagelse, således at energioptaget påvirkes minimalt (Weisbjerg et al., 2008). For fedtniveau må det derfor antages, at der vil være en meget begrænset vekselvirkning til optimalt energiniveau.

For protein vil der ved opfyldelse af proteinnormerne ikke kunne forventes nævneværdig vekselvirkning til optimalt energiniveau. Hvis prisen på protein eller miljørestriktioner skulle medføre fodring af malkekøer væsentligt under de nuværende normer for AAT og/eller PBV, kan der forventes betydelige vekselvirkninger, men her er vores viden endnu for begrænset til at kunne kvantificere disse vekselvirkninger. Nye forsøg (upublicerede) med meget lave proteinniveauer tyder på, at den negative effekt af lav PBV på foderoptagelsen var mindre end tidligere forsøg med lav PBV (Madsen, 2003), hvilket måske skyldes at grovfoder med lav PBV i dag er majsensilage, hvor det tidligere var helsædsensilage med lavere fordøjelighed. For proteinniveau må det således konkluderes, at der ikke pt. er vidensgrundlag til at inkorporere en vekselvirkning mellem optimalt energiniveau og proteinniveau.

### **Konklusion**

NorFor Plan kan i den nuværende version ikke anvendes til forudsigelse af optimalt foderniveau, idet systemet forudsiger energiværdi og mælkeproduktion givet et bestemt foderoptag (springer på tværs af ydelsespotentialer), selv om der nu er tilføjet en foderoptagelsesmodel. Der er i NorFor plan ingen produktionsrespons i mælkeydelse på proteinforsyning, men normer, der skal overholdes. På mælkeprotein er der en produktionsrespons, men responset er så minimalt, at det ikke har betydning for estimering af økonomisk optimalt foderniveau. NorFor Plan skruer ikke, som det ellers kunne forventes ud fra anvendte energifaktorer, op for værdien af foderfedt. Derfor må der stadig forventes en positiv effekt, ud over det NorFor Plan angiver, af øget fedtfodring op til 4,5-5 % fedtsyrer i rationstørstof. Der er ikke pt. vidensgrundlag til at kvantificere eventuelle vekselvirkninger mellem optimalt energiniveau og fedt og/eller proteinniveau.

### **Referencer**

- Børsting, C.F., Hermansen, J. & Weisbjerg, M.R. 2003. Fedtforsyningens betydning for mælkeproduktionen. I: Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 2 – Fodring og produktion. Ed.: F. Strudsholm & K. Sejrsen. DJF rapport nr. 54. 133-151.
- Madsen, J., Misciatelli, L., Kristensen, V.F. & Hvelplund, T. 2003. Proteinforsyning til malkekøer. Bind 2 – Fodring og produktion. Ed.: F. Strudsholm & K. Sejrsen. DJF rapport nr. 54. 113-131.
- Kristensen, V.F., & Ingvarsen, K.L. 2003. Forudsigelse af foderoptagelse hos malkekøer og ungdyr. I: Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 2 – Fodring og produktion. Ed.: F. Strudsholm & K. Sejrsen. DJF rapport nr. 54. 511-564.
- Kristensen, V.F., Weisbjerg, M.R., Børsting, C.F., Aaes, O. & Nørgaard, P. 2003. Malkekoens energiforsyning og produktion. I: Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 2 – Fodring og produktion. Ed.: F. Strudsholm & K. Sejrsen. DJF rapport nr. 54. 73-112.



- NorFor, 2005. Parameters, calculations & cow recommendations in the feed ration calculator. Unpublished working Paper, 53 pp.
- NRC 2001 Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 381 pp
- Nørgaard, P. 2003. Tyggetid som mål for foderets fysiske struktur. I: Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 2 – Fodring og produktion. Ed.: F. Strudsholm & K. Sejrsen. DJF rapport nr. 54. 489-509.
- Nørgaard, P., Nadeau, E., Volden, H., Randby, Å., Aaes, O. & Mehlquist, M. 2008. A new structure evaluation system for diets fed to dairy cows. In: ed: Hopkins, A., Gustafson, T., Bertilsson, J., Dalin, G., Nilsson-Linde, N., Spörndly, E. Biodiversity and Animal Feed. Future challenges for grassland production. Grassland Science in Europe, 13, 762-764.
- Strudsholm F, Aaes O, Madsen J, Kristensen VF, Andersen HR, Hvelplund T, & Østergaard S 1999 Danske Fodernormer til Kvæg. Landsudvalget for Kvæg. Rapport Nr. 84, 47 pp.
- Thyssen, I. 1983. Alternative fremgangsmåder ved optimering af foderrationer. I: Optimale foderrationer til malkekoen. Foderværdi, foderoptagelse, omsætning og produktion. Ed: Østergaard, V. & Neiman-Sørensen, A. 551 Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 17.1-17.28.
- Van Es, A.J.H. 1978. Feed evaluation for ruminants. I. The systems in use from May 1977 onwards in The Netherlands. Livest. Prod. Sci. 5:331-345.
- Volden, H. 2001 Utvikling av et mekanistisk system for vurdering av fôr til drøvtyggere, AAT-modellen. I: Fôropptag og fôrmiddelvurdering hos drøvtyggere. Fagseminar 18.-19. september 2001. Quality Hotell Halvorsbøle, Jevnaker. 30s.
- Weisbjerg MR & Hvelplund T 1993 Bestemmelse af nettoenergiindhold ( $FE_K$ ) i råvarer og kraftfoderblandinger. Forskningsrapport nr. 3, Statens Husdyrbrugsforsøg. 39 pp.
- Weisbjerg, M.R. & Kristensen, V.F. 2005. Udnyttelsen af energien i foderet forringes, når koen får mere foder. KvægInfo nr. 1453. 5 pp.
- Weisbjerg M.R., Wiking, L., Kristensen, N.B., and Lund, P., 2008. Effects of supplemental dietary fatty acids on milk yield and fatty acid composition in high and medium yielding cows. J. Dairy Research, 75, 142-152.
- Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T., Frandsen, J., Højland Frederiksen, J. & Aaes, O., 1991. Estimering af råfedts fordøjelighed hos drøvtyggere baseret på fodermidlernes indhold af råfedt. 804. Medd., Statens Husdyrbrugsforsøg. 6 pp.

### 3.3 Strategies for Regulating Feed Intake with In-line Measurements

Nic Friggens

In recent years there has been a substantial increase in on-farm measuring technology. The commercial launch of Herd Navigator, a system which makes automated real-time in-line measurements in milk ([www.herdnavigator.com](http://www.herdnavigator.com)), in 2008 is an example of the types of monitoring information that can be expected to become available on modern farms. This system already measures two indicators that have value for nutritional management: urea and beta-hydroxybutyrate, a ketone body. Two classes of in-line measurements can be envisaged, these are nutritional diagnostics and feed intake predictors.

#### Nutritional diagnostics

The idea with nutritional diagnostics is to assess one or another aspect of the cow's metabolic status. More precisely, what is usually being measured is the extent to which the cow's metabolic status is being compromised. As can be seen in Table 1, there exist a number automated technologies that can provide information, especially concerning the energy status of the cow. This is also an area that is experiencing substantial research interest and so we can confidently expect this list to expand. The value of this type of information lies in the fact that it allows time profiles of repeated measurements and so each cow can become her own control. The drawback is that none of these measurements alone provides a particularly sensitive or complete descriptor. For example, BHB indicates when a cow has ketosis which is usually associated with excessive mobilisation of body lipid but some cows can have excessive mobilisation without developing ketosis. Further, BHB is not a sensitive indicator of mobilisation in general since it is only produced in large amounts when the livers coping ability is exceeded (baseline levels are also feed type dependent).

The real potential of these nutritional diagnostics will be realised when they are combined. It has recently been shown that reasonably accurate assessment of energy balance can be achieved by combining milk measures (Figure 1). However, this is an area where more work is needed in order to create robust nutritional diagnostics.

Table 1: In-line indicator technologies that exist today for measuring aspects of metabolic status. Some are still only prototypes.

Indicator	Medium	Descriptor of
BHB	milk	excessive energy mobilisation
Urea	milk	? if used alone. Protein:energy if combined with others
Progesterone	milk	herd energy status?
fat	milk	energy balance
protein	milk	protein:energy ratio if combined with others
liveweight		energy balance
condition score		energy balance
rumination	rumen	acidosis/off feed
time spent eating		acidosis/off feed

### **Feed intake predictors**

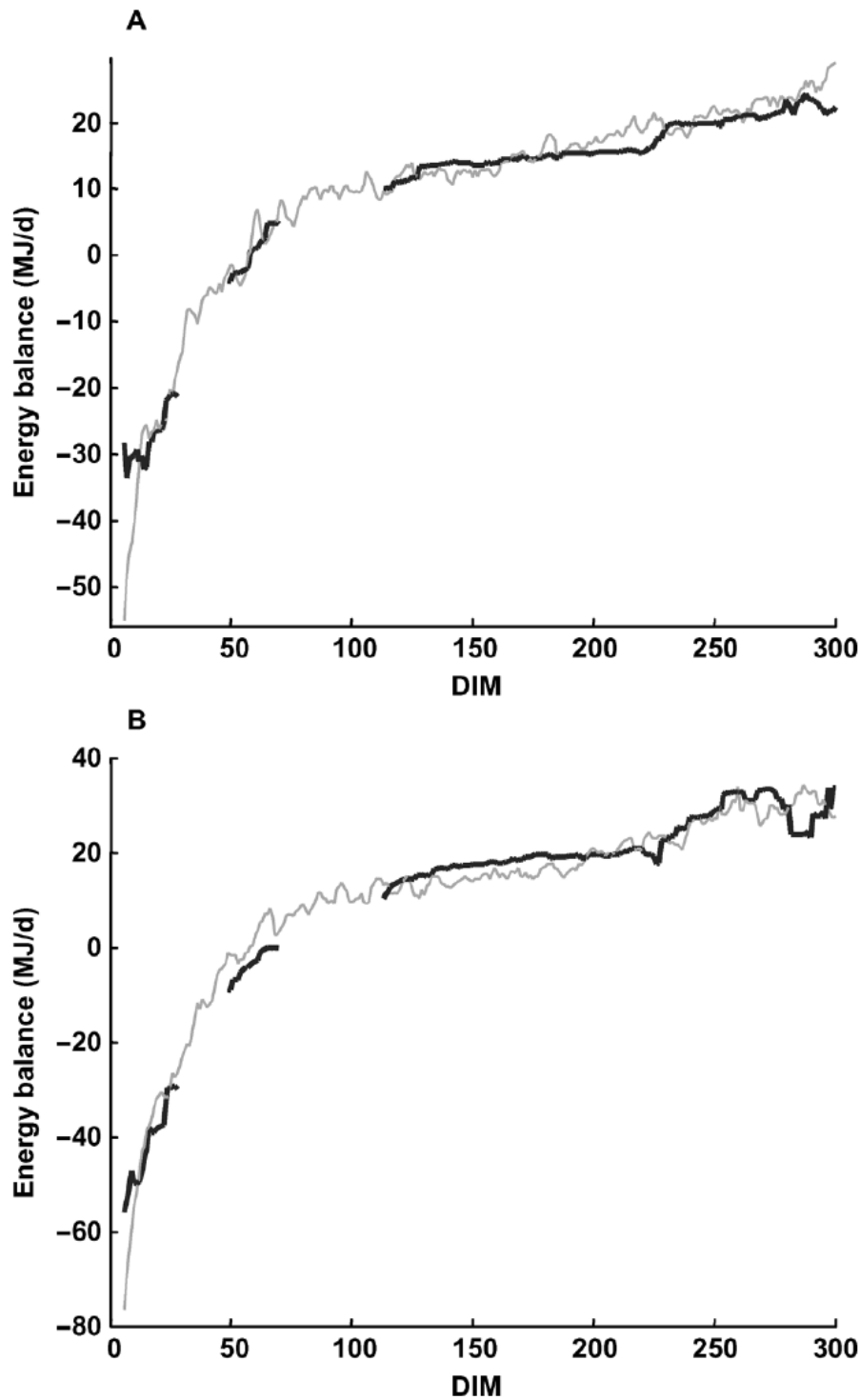
Traditionally, animal nutrition has focused on the question “if I feed ‘x’ can I predict the productive outcome?” This of course important but it is radically different from the approach offered by the current generation of in-line indicators. Using these, the question becomes “if I measure what comes out can I predict how much the animal ate?” Further, given that these indicators measure the status of the cow relative to its homeostatic optimum, then the outcome is a prediction of intake relative to that which is optimal *for that cow*. This is not necessarily the same as intake relative to some book derived norm.

If in-line indicators can reliably measure energy balance then because we also know milk yield we can predict intake. The key issue is the accuracy of such measures. We have shown that the accuracy of energy balance predictions for individual cows is currently substantially poorer than for group means. It is not yet known to what extent the accuracy can be improved.

### **Individual versus group level tools**

In-line measurements offer the potential to examine the time profiles through lactation of a given indicator. At the level of the individual these will most likely be useful as nutritional diagnostics (see above) with the cow’s previous time profile acting as her own control level. Although this can present a challenge in very early lactation where there is at the same time the highest frequency of problems and the poorest prior, this approach has been shown to work in the field. With respect to using in-line measurements to adjust feeding at the individual level there are two challenges. First, this necessitates the hardware to manage individual feeding on-farm. This is not currently widespread although the option of having parallel concentrate delivery systems in the milking parlour is not infeasible. The second and greater challenge is that we are currently not able to reliably predict – at the individual level – the partition of nutrients in response to an increment or feed supplement. This remains one of the big challenges in nutritional science.

At the group level, i.e. aggregating data measured on individuals, in-line systems offer the potential to establish herd profiles and then to be able to isolate types of cow that deviate from the herd profile. An example of this could be the isolation of those cows that are affected by subclinical rumen acidosis. This would be expected to show up in altered milk fat production and in energy balance. Once isolated, the cause could then be deduced from the make up of the group; are these all cows of a particular parity or of exceptionally high milk production potential etc. Obviously, such analyses could be performed the other way round grouping cows by particular characteristics to then see if these groups differ in their in-line profiles. The same applies to between herd comparisons. If applied with thought, it seems to me that this approach may allow us to establish whether a group/herd of cows is being limited by the quality of the feed or by the production potential of the group/herd.



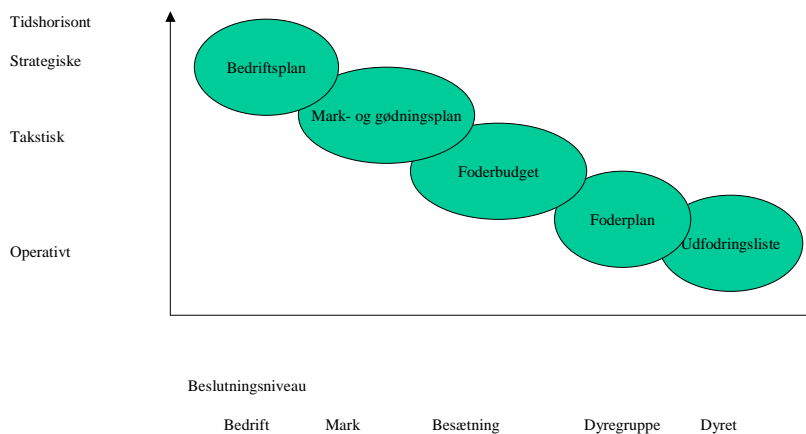
**Figure 5.** Predicted (thin line) and actual (thick line) energy balance based on group mean data using partial least squares regression model 18 for Danish Holsteins in A) parity 1 and B) parity 2 relative to DIM. Actual energy balance was calculated from changes in BW and BCS.

### 3.4 Bedriftsmæssige hensyn ved planlægning af foderniveauet

*Troels Kristensen*

Kan planlægningen af foderniveauet - baseret på NorFor - til malkekøerne og foderrationens optimering ses uafhængigt af de øvrige planer og beslutninger på bedriften?

Mængden og typen af foder som anvendes på bedriften kan ses som et resultat af den overordnede plan for bedriften, se figur 1. Mest udpræget ud fra valg af produktionsform – konventionelt eller økologisk, men også ud fra en række andre forhold.

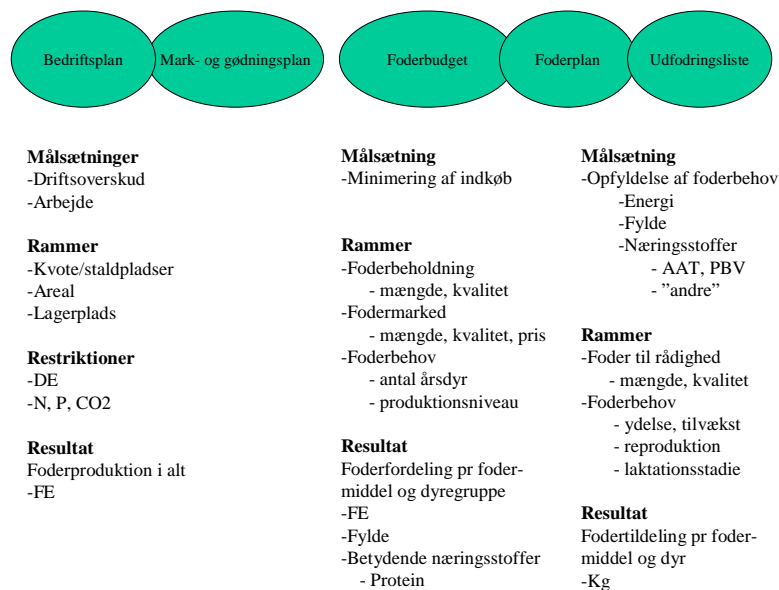


Figur 1. Illustration af sammenhæng mellem de forskellige planer på kvægbedriften i forhold til deres tidshorisont og beslutningsniveau.

Bedriftsplanen angiver de overordnede mål og rammer for produktionen som er en kombination af landmandens mål og de restriktioner som fra omgivelserne er lagt på produktionen som f.eks. antal staldpladser, mælkekvote, DE i henhold til miljøgodkendelse og på sigt andre mål som CO<sub>2</sub> udledning. På det taktiske niveau udmøntes det i bedriftens markplan, med tilhørende gødningsplan, som ud fra forventninger til udbytte og kvalitet af de forskellige afgrøder planlægges således at de overordnede mål indfries.

Set i forhold til besætningens fodring er der et helt afgørende skel mellem beslutninger før afgrøden høstes og efter at afgrøderne er høstet. Før høst er det forventninger til produktionen af foder som er opstillet under den usikkerhed som afgrødeproduktionen er underlagt mht. de årlige vækst- og høstbetingelser.

Efter høst er fodermængderne og kvaliteten kendte således at der kan opstilles et foderbudget, dog med den usikkerhed der er i opmålinger og foderanalyser. Baseret herpå kan der løbende udarbejdes foderplaner og udfodringslister.



Figur 2. Målsætning, rammer og resultatparametre afhængig af forskellige planlægningsredskaber på kvægbedriften

Set ud fra en fodringsvinkel er i figur 2 vist målsætninger, de mest betydende rammer og restriktioner samt resultatmål som er karakteristiske for de forskellige planer, fra bedriftsplan til foderplan. På bedrifts- og mark- og gødningsplans niveau er det ud fra overordnede rammer som kvote/staldpladser, at der sker en planlægning som primært er målrettet produktionen af foder i form af energi (FE), og uden nogen opdeling i, hvilke besætningsgrupper foderet er tiltænkt. På bedrifter med en høj selvforsyningsgrad vil det dog være nødvendigt at lave en mere detaljeret beregning af foderrationen på niveau med det som er skitseret for foderbudgettet, men i de fleste tilfælde vil der være et så stort behov for indkøb, at egenproduktionen helt overvejende styres ud fra andre hensyn end den endelige foderration. Økonomi og hensyntagen til de miljøorienterede restriktioner er typisk det styrende for valg af foderafgrøder i denne fase, idet der typisk anlægges en overordnet tilgang til effekter heraf på besætningens sammensætning og produktionsniveau.

Ideelt set vil foderplanlægningen direkte skulle afspejle beslutningerne på bedrifts- og markniveau, men i realiteten vil der ofte være større eller mindre afvigelser mellem det planlagte og den opnåede foderproduktion, hvorfor beslutninger efter høst – foderbudget, foderplan og udfodringsliste – kan ses som en selvstændig proces. Foderbudgetteringen har som mål at lave en overordnet fordeling af fodermidlerne til dyregrupperne og fastlægge behovet for supplerende indkøb. Disse beregninger kræver ideelt at foderværdien af de enkelte fodermidler i forskellige kombinationer og til forskellige dyregrupper er kendte. Da alle omkostninger til produktionen af eget foder er afholdt bliver målsætningen at minimere udgifterne til indkøb af supplerende foder under antagelse af et givet behov.

Fastlæggelsen af behovet kan ske enten ud fra normer eller produktionsfunktioner for de enkelte dyregrupper. Østergaard et al. (2003) har beskrevet en metode til optimering af foderniveauet i tidlig laktation, men der er her ingen direkte sammenhæng til foderbudgettering. Thysen (1985) har i FE systemet beskrevet en model til prioritering af det hjemmeavlede foder og behov for supplerung med indkøb til de forskellige grupper af dyr i besætningen, baseret på optimering af produktionsfunktioner til køer i tidlig laktation og faste behov til de øvrige dyregrupper. Test af modellen viste sig meget følsom overfor fodermidlernes variation i fylde, samt et behov for at indlægge "straffunktioner" på enkelte fodermidler, hvor produktionsværdien er fundet afvigende fra standard energiindholdet. Det sidste forhold skulle i princippet være løst via den rationsbaserede foderværdiberegning i NorFor.

Ved en samtidigt fastlæggelse af foderniveau og fordeling af foder til alle dyregrupperne skal der ikke ske en fastlæggelse af grovfoderprisen, men udelukkende af mængde til rådighed og kvalitet. Når foderniveauet optimeres separat til de enkelte dyregrupper sker prisfastsættelse af grovfoderet ud fra en forventet forsyning set på bedriftsniveau, se f.eks. Kristensen et al. (1984). Der anvendes derfor formodninger om andel af grovfoder i rationen før foderniveau og rationen optimeres. Ved typiske variationer i forsyning med grovfoder fandt Kristensen et al. (1984) af det optimale foderniveau til køer i tidlig laktation var i intervallet fra 14,7 til 16,7 FE, svarende til en variation på 6 % omkring det gennemsnitlige optimale foderniveau. En tilsvarende effekt på foderniveauet forårsaget af mælkeprisen vil kræve en prisændring på ca. 15 %, hvilket understreger betydningen af grovfoderprisen for fastlæggelsen af det optimale foderniveau.

På rationsniveau konkluderer Kristensen & Hansen (1989) at betydningen af finjusteringer i rationen ofte overskygges af mere praktiske hensyn som f.eks. opfodringsrækkefølge af forskellige partier og arbejdsbesparelse ved at anvende færre typer af fodermidler samtidigt. Det er derfor vigtigt at optimeringsværktøjet understøtter dialogen mellem landmand og rådgiver, ved at kunne vise konsekvenser af forskellige rationer og foderniveauer på det økonomiske resultat.

### **Konklusion**

Ud fra ovennævnte er der behov for at udvikle et element i foderplanlægning som sikrer en mere specifik beregning af værdien af forskellige rationer til alle dyregrupper samtidigt som grundlag for at prioritere fodermidlerne optimalt, både ud fra biologiske og praktiske hensyn, for at sikre det størst mulige økonomiske afkast på bedriftsniveau.

### **Referencer**

- Kristensen, T., Kristensen, E.S., Thysen, I., Hindhede, J. 1984. Fremgangsmåde ved økonomisk optimering af malkekoens foderration. 571 Beretning, SH, Kap 4, 66-85.
- Kristensen, T., Hansen, J.P. 1989. Forenklet foderplan til malkekøer og planlægning heraf ved konsekvensberegning på PC. 661 Beretning, SH, Kap 5, 92-112.
- Thysen, I. 1985. Matematiske modeller til optimering af foderrationer i malkekvægsbesætninger. Ph.d. afhandling, KVL.
- Østergaard, S. Kristensen, T., Aaes, O., Kristensen, V.F., Jensen, M., Clausen, S. 2003. Planlægning af økonomisk optimal fodring af malkekøer. DJF Rapport Husdyrbrug nr. 54, Kap 16, 371-405.

### 3.5 Kan en modeltype som NorFor Plan danne grundlag for beslutninger om foderniveauet på besætningsniveau? Hvis ikke, hvad gør vi så?

Anders Ringgaard Kristensen, Institut for Produktionsdyr og Heste, KU LIFE, oktober 2008

#### Hvorfor bygger vi modeller?

Der kan grundlæggende være mindst tre forskellige årsager til at vi bygger modeller:

- **Systemforståelse:** Fordi vi ønsker at opnå en dybere forståelse af et system.
- **Datafiltrering:** Fordi vi ønsker at ”filtrere” væsentlig information ud af de data, vi registrerer.
- **Optimering:** Fordi vi ønsker at optimere beslutninger.

Hvert formål har sine egne metoder og modeltyper.

#### Systemforståelse

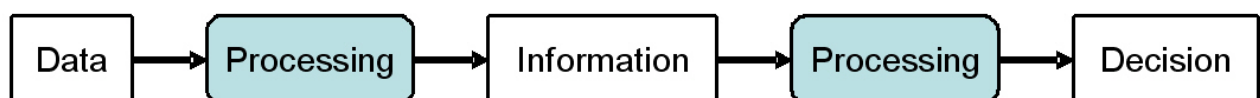
Dette formål er kendetegnet ved ønsket om at opbygge en fælles forståelsesramme for et system. En model opbygget med dette formål for øje vil søge at beskrive alle de mekanismer og vekselvirkninger, der kendetegner systemet. Ved at opbygge en sådan model, kan vi sandsynliggøre, at vi forstår systemet, og gennem modelbygningsprocessen bliver det klart, hvor der eventuelt mangler viden.

Der er i reglen tale om forskellige former for simuleringsmodeller, eksempelvis differentialligningsmodeller som NorFor, probabilistiske modeller som de hollandske TACT modeller (Jalvingh, 1993), eller det kan være egentlige Monte Carlo simuleringsmodeller som eksempelvis SimHerd (Østergaard et al. 2000). Nogle gange er der tale om deterministiske modeller (hvor variation og usikkerhed ignoreres). Det er typisk tilfældet med modeller baseret på differentialligninger. Probabilistiske modeller og specielt Monte Carlo modeller kan derimod tage højde for variation og usikkerhed.

NorFor modellen hører efter min opfattelse klart hjemme i denne kategori. Der er tale om en deterministisk model baseret på differentialligninger, og dens styrke er, at den repræsenterer fysiologers og ernæringsforskernes forståelse af foderomsætningen i en malkeko.

#### Datafiltrering

Ved datafiltrering forstås, at ofte meget store datamængder bearbejdes og reduceres til en form, der kan danne direkte grundlag for beslutninger. Resultatet af bearbejdningen betegnes som ”Information”. Figur 1 illustrerer hele vejen fra data til beslutning, og datafiltrering er altså første halvdel af denne vej.



Figur 1. Vejen fra data til beslutning kan opdeles i stykket fra data til information og stykket fra information til beslutning (Kristensen et al. 2008a). Begge dele kræver omfattende bearbejdning.

Formålet med datafiltrering er typisk produktionsovervågning, hvor vi ønsker at følge besættningens tilstand over tid. Der fokuseres ofte på estimation af såkaldte ”change points”, hvor en produktionsegenskab pludselig forringes, og der er behov for indgriben. Andre formål kan



være, at vi ønsker løbende at estimere en sammenhæng (produktionsfunktion) på besætningsniveau, eller at vi ønsker at kunne udarbejde konkrete prognoser for produktionen.

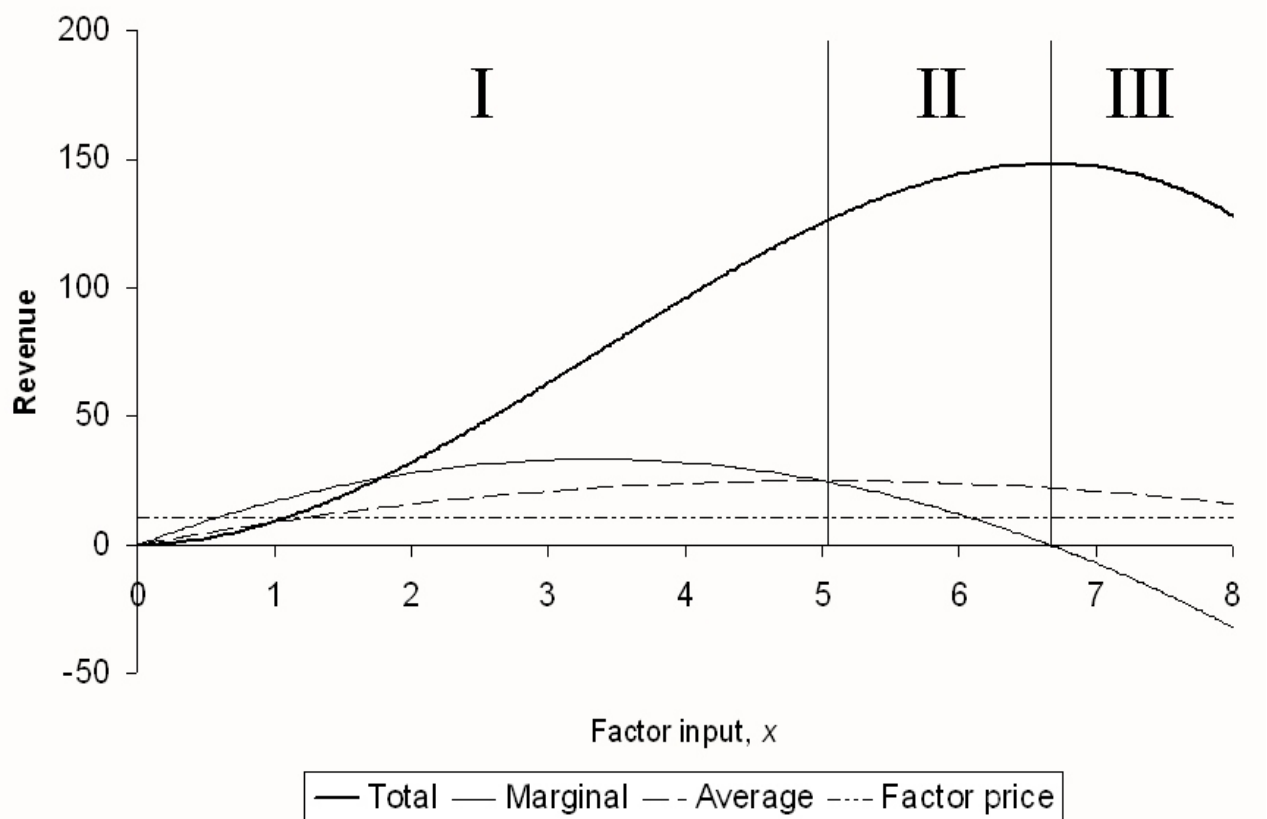
De modeltyper, der benyttes, omfatter dels klassiske metoder fra statistisk kvalitetskontrol ("control charts" og lignende metoder) og dels Bayesianske modeller af forskellig art. Sidstnævnte kan enten være Bayesianske net (se f.eks. Jensen & Nielsen, 2007) eller state space modeller (f.eks. Dynamiske Lineære Modeller med Kalman filtrering som beskrevet af West & Harrison, 1997).

### Optimering

Dette formål omfatter i Figur 1 anden halvdel af vejen (fra information til beslutning). Målet er simpelthen at optimere beslutningerne under skyldig hensyntagen til den til rådighed værende information, herunder den variabilitet og usikkerhed, informationen er behæftet med.

Der er mange modeltyper og metoder at vælge imellem. Én af de enkleste er den neoklassiske produktionsteori, der lå til grund for optimering af foderniveauet i det eksisterende system. Der er tale om en deterministisk tilgang baseret på marginalbetragtninger som illustreret i Figur 2. Variabilitet og usikkerhed ignoreres.

Andre modeltyper i denne kategori er lineær programmering, dynamisk programmering og beslutningsgrafer (se Kristensen et al., 2008b, for en oversigt). Under inddragelse af systematiske søgerutiner kan også simuleringsmodeller benyttes.



Figur 2. Optimering af indsatsniveauet (f.eks. foderniveauet) under anvendelse af den neoklassiske produktionsteori (Kristensen et al. 2008a). Optimum findes hvor det marginale udbytte er lig med den marginale omkostning (faktorprisen).

## Det gamle system til fodringsplanlægning

### Beskrivelse

Vi vil igen referere til Figur 1, hvor de forskellige elementer kan beskrives således:

**Data** er de enkelte ydelseskontrolleringer.

**Processing** (1. bearbejdning) omfatter udregning af besætningens gennemsnitlige ydelsesniveau efter nogenlunde følgende principper:

- Der beregnes (standardiserede) totalydelse for hver ko.
- Gennemsnittet på tværs af køer beregnes.
- Der korrigeres evt. for hidtidig fodring.

**Information** er besætningens ydelseskapacitet.

**Processing** (2. bearbejdning) omfatter to trin:

- Det optimale foderniveau bestemmes ved hjælp af den neoklassiske produktionsteori som beskrevet i Figur 2.
- Sammensætning af en omkostningsminimeret foderration ved hjælp af lineær programmering.

### Beslutning:

- Foderniveau.
- Foderrationens sammensætning.

### Vurdering

Den hidtidige metode er kendetegnet ved, at den ignorerer variabilitet og usikkerhed, idet der forudsættes fuld viden om produktionsfunktioner samt køernes og foderets egenskaber. Der er ikke indbygget feedback fra produktionen, ligesom der ikke er nogen læring indbygget.

Hertil kommer, at der er tale om en statisk tilgang, der forudsætter øjeblikkelig og fuld respons på enhver ændring.

Sammenlignet med NorFor systemet er det dog en klar fordel, at der rent faktisk indgår en optimering af foderniveauet.

## Beslutninger under usikkerhed

### Vidensgrundlag

Rationelt set bør beslutninger baseres på en kombination af generel viden og kontekstspecifik viden.

Den generelle viden omfatter, hvad man kan læse sig til i forskningsrapporter og lærebøger. I det konkrete tilfælde omfatter den forhold som:

- Hvilke fodermidler egner sig til malkekøer i forskellige situationer?
- Hvilke egenskaber ved foderet og foderrationen er det relevant at inddrage?
- Hvordan er den generelle sammenhæng mellem fodring og produktion (mælk og tilvækst)?

Den kontekstspecifikke viden omfatter, hvad der knytter sig til det konkrete beslutningsproblem, herunder forhold som:

- Hvilke grovfodermidler haves til rådighed i hvilke mængder?
- Hvad er disse fodermidlers egenskaber?
- Hvilke indkøbte fodermidler er til rådighed på markedet?
- Hvordan reagerer lige præcist denne besætning på foderet?

Det er væsentligt at gøre sig klart, at al viden er behæftet med usikkerhed, og udfordringen, når der skal træffes beslutninger, er at kombinere de to former for viden på en konsistent måde under samtidig hensyntagen til usikkerhederne.

En forhåndsformodning vil være, at den generelle viden er fortræffeligt repræsenteret i Nor-For, hvorimod integration af den kontekstspecifikke viden og usikkerheden vil blive vanskelig.

### **Usikkerhed**

For fodringsplanlægningsproblemet anses de væsentligste usikkerhedsaspekter at være:

#### **Fodermidlernes karakteristika:**

- Hvad er det sande "næringsstofindhold"?
- Hvor præcist er det "nødvendigt" at kende det? Usikkerheden kan reduceres ved bedre/dyrere analyser – hvor langt skal man gå?

#### **Køernes respons på fodringen:**

- Forholdene varierer fra besætning til besætning

Den "gamle" produktionsfunktion fra begyndelsen af firserne (Thyssen, 1983) havde følgende form

$$f(x_1, x_2, x_3) = c_0 + c_{11}x_1^2 + c_{22}x_2^2 + c_{33}x_3^2 + c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_{12}x_1x_2 + c_{13}x_1x_3 + c_{23}x_2x_3,$$

hvor mælkeydelsen er beskrevet som funktion af foderrationens indhold af energi, protein og fedt. Ved at tilføje et residualled, der udtrykker den tilfældige variation kan variabiliteten inddrages, så den faktiske mælkeydelse  $Y$  bliver

$$Y = f(x_1, x_2, x_3) + e,$$

hvor, f.eks.,  $e \sim N(0, s^2)$ .

Tilføjjelsen af residualledet repræsenterende variabiliteten er en væsentlig forbedring, men vi ignorerer stadig den betydelige usikkerhed om rationens sande indhold af energi, protein og fedt, ligesom usikkerheden om den sande værdi af produktionsfunktionens parametre (c-koefficienterne) ignoreres.

### **Modellering af usikkerheden**

For nemheds skyld vil vi nu forenkles problemet til kun at omfatte to fodermidler (ensilage og kraftfoder) og vi vil kun modellere energiindholdet (dvs. foderniveauet). Produktionsfunktionen kan dermed forenkles til

$$Y = f(x_1) + e = c_{11}x_1^2 + c_1x_1 + c_0 + e.$$

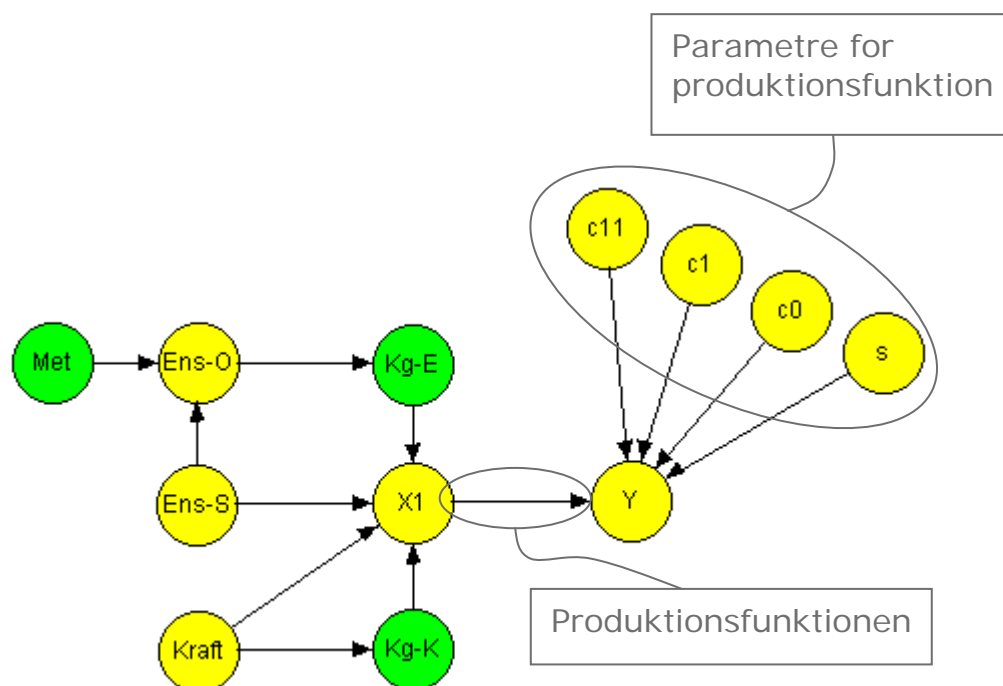
Vi vil illustrere problemet ved hjælp af en grafisk model, hvor gule knuder repræsenterer stokastiske variable (med kendt eller ukendt værdi), og grønne knuder repræsenterer beslutninger, vi træffer. Variablene er forbundet med retningsorienterede kanter (pile).

En pil ind i en gul knude betyder, at værdien af den pågældende variabel afhænger af den variabel, som pilen udgår fra. Afhængigheden er typisk stokastisk, så et sæt af pile definerer en sandsynlighedsfordeling for den variabel, pilene går ind i.

En pil ind i en grøn knude betyder, at når beslutningen træffes, er værdien af den variabel, pilen udgår fra, kendt. Beslutninger kan altså (som i virkeligheden) kun træffes på grundlag af kendte variable.

Vi vil i vores model tage højde for de i foregående underafsnit nævnte usikkerheder. Vi vil antage, at vi kender kraftfoderets energiindhold med sikkerhed, hvorimod vi for ensilagens vedkommende skelner mellem et observeret energiindhold, hvis præcision afhænger af den valgte analysemetode. Når vi beslutter mængden af ensilage og mængden af kraftfoder i foderrationen baseres disse beslutninger på det observerede energiindhold i ensilagen og det kendte indhold i kraftfoderet. Den færdige foderrations koncentration afhænger derimod af ensilages sande energiindhold. Vi tager på den måde hensyn til usikkerheden om fodermidlernes (ensilagen) egenskaber.

Med hensyn til køernes respons (mælkeydelse) afhænger den af produktionsfunktionen, hvilket vil sige energitildelingen og de fire parametre  $c_{11}$ ,  $c_1$ ,  $c_0$  og residualspreddingen  $s$ . Den endelige grafiske model er vist i Figur 3.



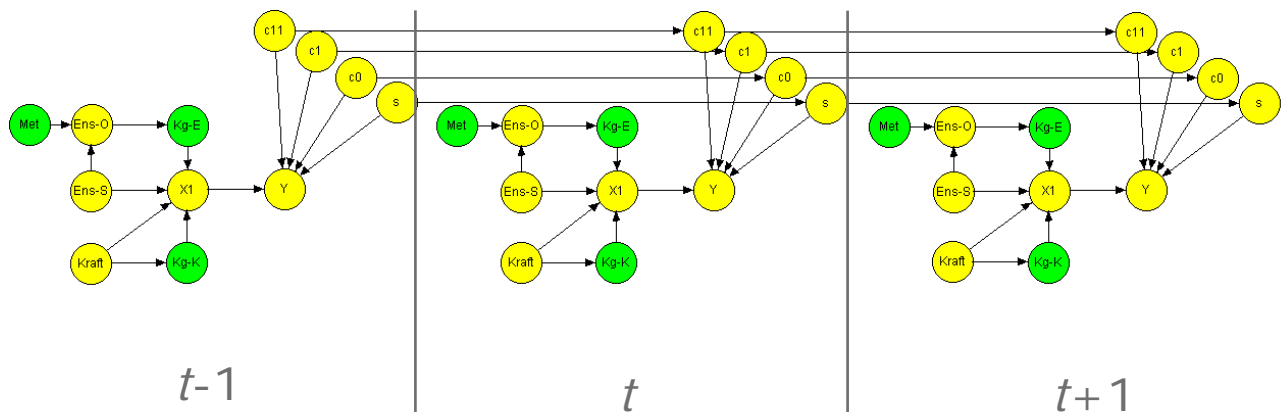
Figur 3. En grafisk model for det forenkledede fodringsproblem under hensyntagen til usikkerhed med hensyn til ensilagens energikoncentration og foderniveauets effekt på mælkeydelsen. Grøn knude: Beslutning; gul knude: Stokastisk variabel (kendt eller ukendt). Met = Analysemetode; Ens-O: Observeret energiindhold, ensilage (FE/kg); Ens-S: Sand energiindhold, ensilage (FE/kg); Kraft: Kendt energiindhold, kraftfoder (FE/kg); Kg-E: Kg ensilage tildelt; Kg-K: Kg kraftfoder tildelt; X1: Foderrationens (sande) energiindhold (FE); Y: Mælkeydelse (kg);  $c_{11}$ ,  $c_1$ ,  $c_0$ ,  $s$ : Parametre i produktionsfunktionen.

En fremgangsmåde for operationalisering af en model som i Figur 3 kræver på landsniveau, at produktionsfunktionens 4 parametre estimeres med forventede værdier og spredninger på

grundlag af samhørende observationer af variablene "Met", "Ens-O", "Kg-O", "Kg-E" og "Y".

I den enkelte besætning benyttes de estimerede landsparametre (med spredninger) som à priori værdier. På baggrund af samhørende observationer i besætningen opnås opdaterede besætnings-specifikke parametre for produktionsfunktionen, der således estimeres på besætningsniveau. Den besætnings-specifikke produktionsfunktion benyttes til optimering af foderniveauet.

Efterhånden som der foreligger flere observationer i besætningen forventes det, at præcisionen øges. Læringen over flere perioder er søgt skitseret i Figur 4.



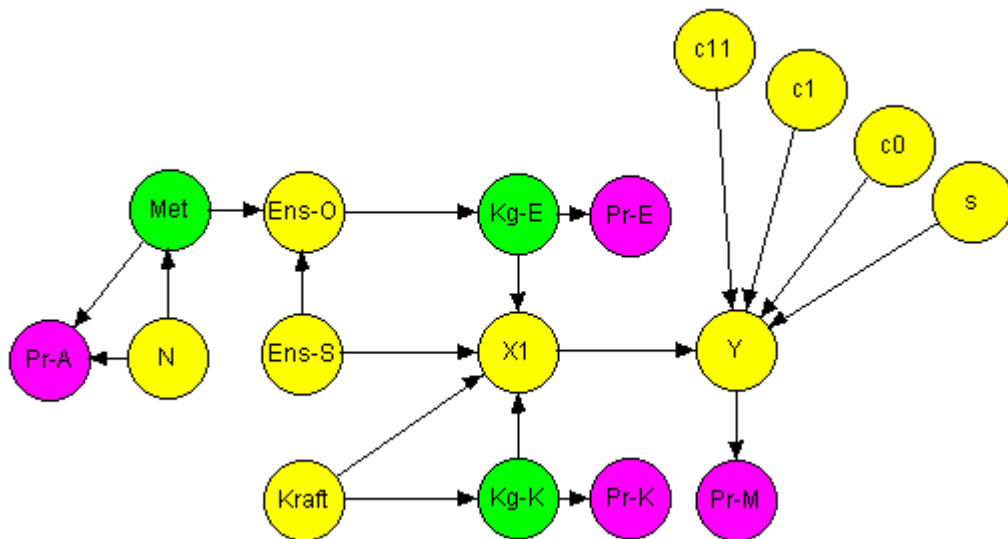
Figur 4. Læring på besætningsniveau over tid illustreret med tre perioder. Der må forventes at skulle være stor autokorrelation for produktionsfunktionens parametre.

I forhold til figuren er det dog sandsynligt, at den konkrete foderration blot skal være repræsenteret af estimeret middelværdi og spredning for ratioens sande energiindhold (så de konkrete fodermidler kobles ud).

De metodemæssige muligheder for estimation af en besætnings-specifik produktionsfunktion over tid omfatter teknikker som dynamiske Bayesianske net (se Jensen & Nielsen, 2007), state space modeller (se West & Harrison, 1997) eller Markov Chain Monte Carlo estimation.

### Repræsentation som en beslutningsgraf

Tilføjes nytteknuder (omkostninger og udbytter) til Figur 3, fås en beslutningsgraf (se Jensen & Nielsen, 2007), som vist i Figur 5. En sådan beslutningsgraf kan optimeres ved hjælp af kendte algoritmer, men da disse algoritmer desværre er ganske beregningstunge, er det tvivlsomt, om en direkte løsning ved hjælp af beslutningsgrafer er mulig i praksis, når der skal tages hensyn både til mange fodermidler og mange egenskaber.



Figur 5. Beslutningsgraf, hvor omkostninger og udbytter er tilføjet som lilla knuder. Endvidere er besætningsstørrelsen (N) tilføjet. Forklaring: Pr-A: Analyseomkostning pr. ko; Pr-E: pris pr. kg. ensilage; Pr-K: pris pr. kg. kraftfoder; Pr-M: pris pr. kg. mælk.

### Konklusion

Der er i de foregående afsnit præsenteret to forskellige metoder, nemlig

- En datafiltreringsteknik med henblik på estimation af en besætnings-specifik produktionsfunktion for sammenhængen mellem foderniveau og mælkeydelse under hensyntagen til usikkerhed om foderets sande energiindhold. Teknikken blev illustreret som et dynamisk Bayesiansk net, men der er også andre muligheder.
- En beslutningsstøttemodel (beslutningsgraf), der simultant sammensætter en foderration, optimerer foderniveauet og optimerer brugen af analyser.

Hvor datafiltreringsteknikken er hovedbudskabet i dette notat, anses beslutningsgrafen for mere tvivlsom, idet problemet forventes at blive for komplekst.

Datafiltreringsteknikken er beskrevet under forudsætning af, at de væsentligste usikkerheder vedrører fodermidlernes egenskaber og den besætnings-specifikke respons.

Da NorFor ikke uden videre kan tage højde for disse usikkerheder (og endvidere ignorerer variabiliteten) konkluderes, at NorFor næppe er egnet til optimering af foderniveauet. I stedet foreslås en fremgangsmåde, hvor samhørende værdier af observerede fodermiddelkarakteristika og mælkeydelse bruges til at lære den besætnings-specifikke sammenhæng.

NorFor forventes at kunne benyttes som et redskab, der kan sammenfatte en given foderrations egenskaber, når det ønskede foderniveau er kendt.

### Referencer

- Jalvingh, A.W. 1993. *Dynamic livestock modelling for on-farm decision support*. PhD thesis. 161 pages. Department of Farm Management. Wageningen Agricultural University.
- Jensen, F.V. & T.D. Nielsen. 2007. *Bayesian Networks and Decision Graphs*. Second Edition. 447 pages. Springer, New York
- Kristensen, A. R., E. Jørgensen & Nils Toft. 2008a. *Herd Management Science. I. Basic concepts*. 1st edition, 140 pages. SI books. Copenhagen.

Kristensen, A.R., E. Jørgensen & N. Toft. 2008b. *Herd Management Science II. Advanced topics*. 1st edition, 233 pages. SI books. Copenhagen.

Thyssen, I., 1983. Alternative fremgangsmåder ved optimering af foderrationer. I: Østergaard, V., Neimann-Sørensen, A. (Red.), *Optimale foderrationer til malkekoen. Foderværdi, foderoptagelse, omsætning og produktion*. Vol. 551 of *Report from the National Institute of Animal Science*. Ch. 17, pp. 17.1–17.28.

West, M. & J. Harrison. 1997. *Bayesian Forecasting and Dynamic Models*, 2nd Ed, 680 pages. Springer, New York.

Østergaard, S., J.T. Sørensen & A.R. Kristensen. 2000. A stochastic model simulating the feeding-health-production complex in a dairy herd. *Journal of Dairy Science* 83, 721-733.

### 3.6 Matematiske metoder til økonomisk optimering i relation til foderplanlægning

Af Lars Relund Nielsen

Forskellige matematiske modeller er i det sidste århundrede blevet brugt i relation til foderplanlægning. I de følgende afsnit vil der blive givet et overblik over forskellige optimeringsmetoder, som kan bruges i relation til foderplanlægning, samt deres fordele og ulemper.

#### Lineær programmering (LP)

Lineær programmering er en matematisk metode til optimering af en lineær funktion (kaldet objekt-funktionen) af kontinuerte variable under begrænsning af en mængde af lineære uligheder af variab-lerne. Metoden kan dateres tilbage til 1947 se f.eks. Dantzig (1982). Ordet "Programmering" henviser her ikke til computer programmering, men til den matematiske beskrivelse af modellen, der kaldes et "LP program", som blev brugt længe før computere terminologien blev brugt.

LP var den første metode brugt til at bestemme den økonomiske optimale foderration (Waugh, 1951). Metoden kan illustreres ved følgende meget simplificerede eksempel.

Lad  $x$  betegne mængde af ensilage med pris på 1 kr og  $y$  mængden af kraftfoder med en pris på 2 kr i en foderblanding. Følgende ernæringsmæssige krav skal være opfyldt: 1) Der skal mindst være 80 enheder af næringsstof 1, hvor  $x$  indeholder 1 og  $y$  1 enhed pr. kg. 2) Der skal mindst være 1600 enheder af næringsstof 2, hvor  $x$  indeholder 8 og  $y$  40 enheder pr. kg. 3) Der skal mindst være 160 enheder af næringsstof 3, hvor  $x$  indeholder 30 og  $y$  8 enheder pr. kg. Desuden har vi en begrænset mængde af ensilage og fuldfoder til rådighed nemlig 80 og 40 kg respektivt.

Skrives problemet op matematisk fås ligningerne (1)-(7). Objektfunktionen (1) minimerer omkost-ningerne til indkøb af foder under bibetingelse af at de ovenstående krav skal være opfyldt (2)-(6). For eksempel beskriver ulighed (3), at vi mindst skal have 1600 enheder af næringsstof 2 i fodret.

$$\min \quad x + 2y \quad (1)$$

$$\text{ubb} \quad x + y \geq 80 \quad (2)$$

$$8x + 40y \geq 1600 \quad (3)$$

$$30x + 8y \geq 1600 \quad (4)$$

$$x \leq 80 \quad (5)$$

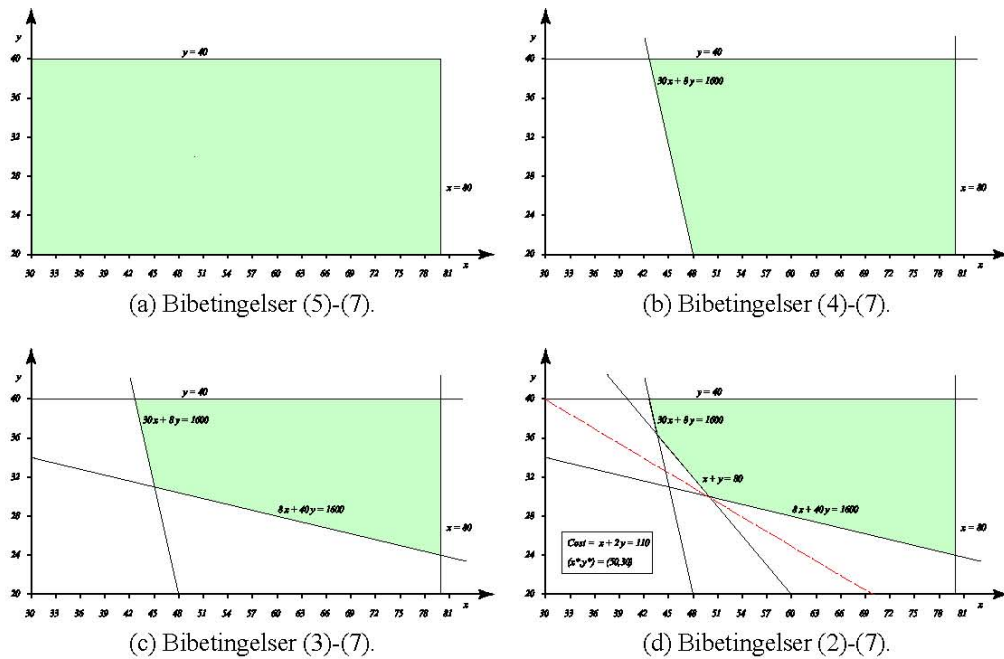
$$y \leq 40 \quad (6)$$

$$x, y \geq 0 \quad (7)$$

Hver bibetingelse deler  $(x,y)$ -rummet op med en ret linie og fælles mængden af bibetingelserne dan-ner et konvekst brugbart område (se Figur 1a-1d). Den optimale løsning findes hvor niveau kurven for objektfunktionen er størst (den stiplede linie i Figur 1d). Bemærk at den optimale værdi af  $x$  og  $y$  ligger i et hjørne, hvilken er en general egenskab for LP modeller.

Af nyere artikler, der bruger LP til at optimere foderrationer kan nævnes: Tedeschi, Fox, Chase, and Wang (2000) der finder den ration med mindst omkostning ved brug af "Cornell Net Carbohydrate and Protein" systemet. Da dette system ligesom NorFor er ikke-lineært udføres en iterativ optimering,





Figur 1: Løsningsrummet for foderration problemet givet forskellige bibetingelser. Den niveau kurve der har størst funktionsværdi er vist med en stiplede linie.

hvor først protein og energi for hver fodertype beregnes v.h.j.a. Cornell systemet, herefter bruges LP til at beregne mængden af den forskellige fodertyper i rationen. De nye mængder indsættes herefter i Cornell systemet, og hvis protein og energi niveauerne ikke er de samme, gentages proceduren. Wang, Fox, Cherney, Chase, and Tedeschi (2000) udvider modellen i Tedeschi et al. (2000) til at omfatte hele farmen, så at optimale foderrationer for alle dyregrupper bestemmes. Tozer (2000) bruger LP til at bestemme optimal mængde protein for forskellige vægtklasser af køer og Neal, Neal, and Fulkerson (2007) bestemmer optimal allokering af afgrøder på marker så den optimale foderration kan opnås. Tilsidst kan nævnes at Munford (1996) beskriver hvordan LP kan bruges iterativt til at løse to ikke-lineære foder problemer.

Der er både fordele og ulemper ved at bruge LP i forbindelse med foderplanlægning. Fordele ved LP er, at problemer med mange tusinde variable kan løses meget hurtigt via en af de mange gennemtestede LP solvere, der allerede er udviklet, samt at alverdens besætningsbegrænsninger kan tilføjes modellen. Af ulemper kan nævnes, at LP forudsætter additive sammenhænge mellem variablerne, dvs. at vi forudsætter, at der ingen vekselvirkninger er. I NorFor Plan er systemet ikke additiv, f.eks. reduceres energiværdien pr. kg tørstof i NorFor med stigende foderniveau, hvorimod at det i LP modellen antages konstant. Som beskrevet i ovenstående litteratur kan dette problem dog løses ved at betragte LP problemer iterativt, desuden kan ikke-lineære sammenhænge ofte approximeres med en stykvis lineær funktion. En anden ulempe er at parametrene en LP model er deterministiske. Vi kan derfor ikke repræsentere usikkerhed i f.eks. priser direkte i modellen, men ved at betragte stokastiske LP modeller kan problemer med usikkerhed på parametrene også løses. Dette kræver dog at fordelingen for en parameter er diskret.

## Heltals programmering (HP)

Heltalsprogrammering er en afart af LP, hvor det antages at variablerne kun må tilhøre en delmængde af de hele tal. Heltalsprogrammering har vist sig særdeles effektiv til at løse kombinatoriske problemstillinger, hvor man stiller spørgsmål såsom: Skal ko nummer  $i$  have foderration  $j$  til tid  $t$ ? I dette tilfælde defineres en binær variabel  $y_{ijt}$  som er lig 1 hvis svaret er ja og nul ellers. HP kan også let kombineres med LP, dvs. man kan løse et lineært optimeringsproblem, hvor der både optræder kontinuerte og heltals variable.

En mulighed fodermodel med heltallige variable kunne være en model, hvor vi har en begrænset mængde af foderrationer at vælge imellem. Via NorFor kan nogle parametre for hver ration beregnes. Disse kan bruges i HP problemet, som beregner hvilke foderrationer, der skal bruges hvornår. Mulige variable i en sådan model kunne være

- a)  $x_{ijt}$ : Antal enheder af foder  $j$  til ko  $i$  på tid  $t$ .
- b)  $y_{ijt}$ : Ko  $i$  får foder  $j$  til tid  $t$ .
- c)  $z_{jt}$ : Mængden af foder  $j$  der skal købes til tid  $t$ .

## Ikke-lineær programmering (ILP)

Disse modeller omfatter optimeringsproblemer, hvor der optræder ikke-lineære ligninger i bibetingelserne eller i objektfunktionen. Variablerne er som regel kontinuerte, men kan også være heltallige.

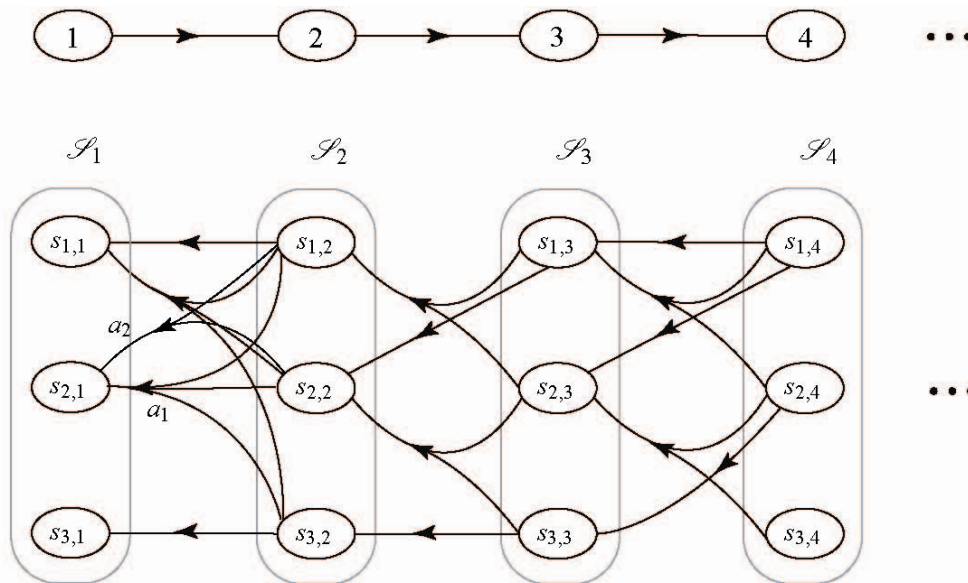
Generelt kan objektfunktionen have flere lokale optima, hvilket kan betyde at man ikke finder det globale optimum når problemet løses. Hvis problemet dog tilfredsstillende bestemte egenskaber kan det garanteres at et globalt optimum er fundet. Ofte er disse egenskaber ikke opfyldt eller for svære at tjekke. Løsning af ikke-lineære problemer er derfor opbygget omkring heuristikker der på avancerede måder søger efter det globale optimum. En sådan heuristik er formodentlig brugt til at finde den optimale ration i NorFor.

## Dynamisk programmering (DP)

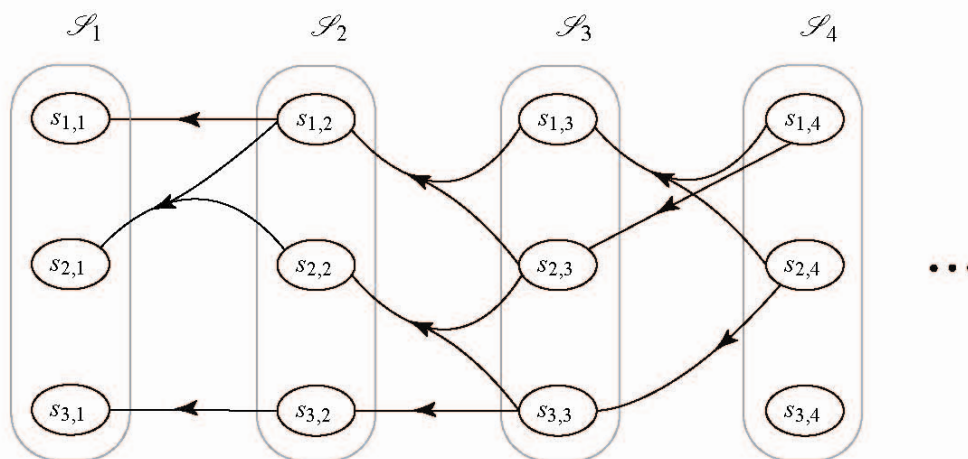
Dynamisk programmering (DP) blev introduceret af Bellman (1957) i hans bog med titlen "Dynamic Programming". DP er en numerisk metode til løsning af sekventielle beslutningsproblemer. Et andet synonym ofte brugt for DP er en Markov beslutningsproces (Howard, 1960).

DP kan illustreres som følger: Antag at vi betragter et system over en endelig eller uendelig tidshorizont opdelt i diskrete tidstrin som vist øverst i Figur 2a. Til tid  $t$  observerer vi systemets tilstand dvs. en af knuderne tilhørende mængden  $\mathcal{S}_t$  i Figur 2a. For eksempel kunne tilstandene  $s_{1,t}$  beskrive en højt ydende ko, tilstandene  $s_{2,t}$  beskrive en gennemsnitlig ydende ko og tilstandene  $s_{3,t}$  beskrive en lavt ydende ko.

Givet en tilstand må vi træffe en beslutning. Den valgte beslutning påvirker overgangssandsynligheden for den tilstand vi observerer til næste tidstrin. Dette er illustreret i Figur 2a v.h.j.a. hyperkanter. Hyperkant  $a_1$  beskriver en mulig beslutning givet tilstand  $s_{2,1}$ , f.eks. at give koen en normal foderblanding. En overgang til tilstand  $s_{1,2}$ ,  $s_{2,2}$  og  $s_{3,2}$  vil ske med forskellige sandsynligheder. Hyperkant  $a_2$  beskriver en anden mulig beslutning, f.eks. at give koen en forbedret foderblanding eller en større mængde. Her er en overgang til tilstand  $s_{1,2}$  og  $s_{2,2}$  kun mulig.



(a) Tilstand rummet for tidstrin 1-4 (knuder) og mulige beslutninger (hyperkanter).



(b) En strategi der specificerer hvilken beslutning der skal tages for hver mulig tilstand.

Figur 2: En Markov beslutningsprocess illustreret v.hj.a. en orienteret hypergraf.

Afhængigt af tilstanden og den trufne beslutning modtager vi en øjeblikkelig belønning. Den forventede sum af alle belønninger fra og med det nuværende trin indtil slutningen af planlægningshorisonten udtrykkes ved en værdifunktion, f.eks. totale diskonterede indtægter. Sammenhængen mellem værdifunktionens værdi i nuværende og følgende trin udtrykkes ved et sæt af rekursive ligninger. En optimal strategi kan nu beregnes ved baglæns tidstrin for tidstrin at beregne den optimale beslutning i hver tilstand (Howard, 1960; Kristensen and Jørgensen, 2000). Herved opnås en optimal strategi, som beskriver hvilken beslutning, der skal tages for hver mulige tilstand. Dette er illustreret i Figur 2b, hvor netop en beslutning er tilknyttet hver knude/tilstand.

DP egner sig godt til at beskrive den enkelte kos tilstande og er ofte blevet brugt til at model-

lere udskiftning af malkekoen (Bar, Tauer, Bennett, Gonzalez, Hertl, Schukken, Schulte, Welcome, and Grohn, 2008; Vargas, Herrero, and van Arendonk, 2001). Disse modeller har ikke eksplicit haft beslutning om hvilken foderblanding der skal bruges, men hvis overgangssandsynligheder givet en beslutning om en foderblanding kan beregnes, kan beslutninger af denne type også bruges i modellen. Herved kan optimalt foderniveau for den individuelle ko beregnes.

DP er derimod ikke god til at tage hensyn til, at vi egentlig ønsker at optimere foder forbrug på besætningsniveau. DP modellen på individ niveau tager ikke hensyn til besætningsbegrænsninger såsom begrænset mængde af ensilage eller grovfoder mm. Man kunne formulere en DP model for hele besætningen, men i praksis vil denne model være for omfattende til at kunne løses. Der er dog gjort forsøg på at kombinere LPs muligheder på besætningsniveau og DP's muligheder på individ niveau. Polimeno, Rehman, Neal, and Yates (1999) bruger LP til at beregne optimal foderration for hver potentiel vægtændring gennem laktationen og herefter DP til at bestemme de optimale vægtændringer gennem laktationen.

## **Multikriterie optimering**

I de foregående afsnit har objektfunktionen været at maksimere profitten eller minimere omkostningerne i relation til foder planlægning, men hvad nu hvis man har flere kriterier man ønsker at optimere samtidig? Denne form for optimering betegnes multikriterie optimering.

Multikriterie optimering kan være relevant, hvis man f.eks. ønsker at minimere omkostninger til foder, men samtidig ønsker at minimere miljømæssige konsekvenser af fodring (f.eks. udskilningen af fosfor eller nitrogen). Ofte er disse to kriterier modstridende, en lav omkostning på foder kan give højere miljøkonsekvenser og omvendt. Dette er illustreret i Figur 3 fra dit Bailleul, Rivest, Dubeau, and Pomar (2001), hvor foderrationen under hensyntagen til omkostninger og nitrogen optimeres inden for svineproduktion. Figuren viser løsningerne, hvor et kriterie ikke kan mindskes uden at gøre det andet større. På x-aksen beskrives udskillelsen af nitrogen og på y-aksen omkostningerne til foder. Begge kriterier ønskes minimeres. Bemærk hvis vælger den løsning der giver mindst omkostninger (løsning A), fås en høj udskillelse, hvis vi derimod vælger løsning B, øger vi kun omkostningerne lidt, men får et højt fald i udskillelse.

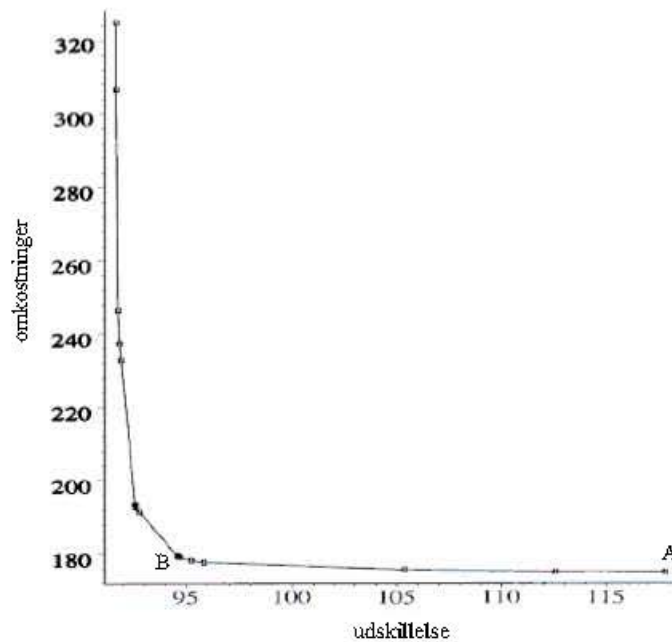
Pomar, Dubeau, Letourneumontminy, Boucher, and Julien (2007) betragtede den samme model under hensyntagen til fosfor. Indenfor kvæg bruges fire kriterier, omkostning til foder og tre miljømæssige kriterier i Castrodeza, Lara, and Pena (2005).

## **Bayesianske net (BN) og Influensdiagrammer (ID)**

Et Bayesiansk net er en probabilistisk grafisk model, der repræsenterer et sæt af variable og deres probabilistiske afhængigheder. Et BN beskrives v.h.j.a. et acyklisk netværk, hvor knuderne repræsenterer variable, og kanterne afhængigheder. BN kan bruges til at estimere værdier af de stokastiske variable i netværket.

Tilføjes beslutnings- og nytteknuder (omkostninger og udbytter) til et BN, fås et influensdiagram. ID kan bruges til at finde optimale beslutninger under usikkerhed.

Et eksempel på et BN og ID er vist i afsnittet "Kan en modeltype som NorFor-plan danne grundlag for beslutninger om foderniveauet på besætningsniveau?". Her bruges et BN til at estimere en produktionsfunktion for sammenhængen mellem foderniveau og mælkeydelse, og et ID til at optimere



Figur 3: Ikke dominerede løsninger i kriterierummet fra dit Bailleul et al. (2001). Begge kriterier ønskes minimeres.

foderniveauet.

Kendte algoritmer kan bruges til at løse disse modeller, men i praksis kan kun problemer med få variable løses. Dette er nok den største ulempe ved influensdiagrammer, til gengæld er ID utrolig gode til at beskrive afhængig- og usikkerheder mellem variable.

## Konklusion

De ovenstående beskrevne matematiske metoder, som kan bruges i relation til foderplanlægning, har alle fordele og ulemper.

LP er god til at håndtere tusinder af variable og optimere under mange forskellige begrænsninger. HP som kan kombineres med LP kan håndtere kombinatoriske spørgsmål. Gode løsningsalgoritmer eksisterer i begge tilfælde, og LP/HP er derfor god til at løse foderplanlægningsproblemer, for hele besætningen samlet. ILP kan ikke håndtere så mange variable som LP/HP, men dog relativt mange i forhold til ID. Mange forskellige løsningsalgoritmer findes, der kan finde nær optimale løsninger. LP/HP og NLP betragter ikke usikkerhed direkte, men LP/HP modeller kan udvides til at inkludere usikkerhed. Dette må formodes urealistisk for ILP. DP derimod er god til at beskrive usikkerheder mellem variable og sekventiel beslutningstagen. Til gengæld er metoden kun anvendelig på individ niveau og tager derfor ikke hensyn til besætningsbegrænsninger, hvilket også gælder for ID. ID kan modellere både usikker- og afhængigheder mellem variable på en avanceret måde, men kun få variable kan håndteres. Hvis miljømæssige kriterier også skal betragtes, vil multikriterie optimeringsmodeller være naturlige at bruge.

Hvilke modeltyper der skal bruges, afhænger meget af hvilke fokusområder, som vælges. Generelt

anbefales det at starte med simple modeller, som gøres mere avancerede efterhånden. Usikkerhed kan modelleres for variable med stor mulig variation eller med stor økonomisk betydning. En anden vigtig forudsætning for at modellen skal være præcis, er at parametrene i modellen estimeres for netop den besætning, der betragtes.

## Litteratur

- D. Bar, L. W. Tauer, G. Bennett, R. N. Gonzalez, J. A. Hertl, Y. H. Schukken, H. F. Schulte, F. L. Welcome, and Y. T. Grohn. The cost of generic clinical mastitis in dairy cows as estimated by using dynamic programming. *J. Dairy Sci.*, 91(6):2205–2214, June 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0573>.
- R. Bellman. *Dynamic Programming*. Princeton University Press, 1957.
- C. Castrodeza, P. Lara, and T. Pena. Multicriteria fractional model for feed formulation: economic, nutritional and environmental criteria. *Agricultural Systems*, 86(1):76–96, October 2005. doi: 10.1016/j.agsy.2004.08.004.
- G.B Dantzig. Reminiscences about the origins of linear programming. *Operations Research Letters*, 1(2):43–48, 1982.
- P. Jean dit Bailleul, J. Rivest, F. Dubeau, and C. Pomar. Reducing nitrogen excretion in pigs by modifying the traditional least-cost formulation algorithm. *Livestock Production Science*, 72(3): 199–211, December 2001. ISSN 03016226. doi: 10.1016/S0301-6226(01)00224-X.
- R.A. Howard. *Dynamic Programming and Markov processes*. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press, 1960.
- A. R. Kristensen and E. Jørgensen. Multi-level hierarchic Markov processes as a framework for herd management support. *Annals of Operations Research*, 94:69–89, 2000. doi: 10.1023/A:1018921201113.
- A. Munford. The use of iterative linear programming in practical applications of animal diet formulation. *Mathematics and Computers in Simulation*, 42(2-3):255–261, October 1996. ISSN 03784754. doi: 10.1016/0378-4754(95)00115-8.
- M. Neal, J. Neal, and W. J. Fulkerson. Optimal choice of dairy forages in eastern australia. *Journal of Dairy Science*, 90(6):3044–3059, 2007. doi: 10.3168/jds.2006-645.
- F. Polimeno, T. Rehman, H. Neal, and C. M. Yates. Integrating the use of linear and dynamic programming methods for diary cow diet formulation. *The Journal of the Operational Research Society*, 50(9):931–942, 1999. doi: 10.1057/palgrave.jors.2600787.
- C. Pomar, F. Dubeau, M. Letourneumontminy, C. Boucher, and P. Julien. Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. *Livestock Science*, 111(1-2):16–27, August 2007. doi: 10.1016/j.livsci.2006.11.011.

- L. O. Tedeschi, D. G. Fox, L. E. Chase, and S. J. Wang. Whole-herd optimization with the cornell net carbohydrate and protein system. i. predicting feed biological values for diet optimization with linear programming. *J. Dairy Sci.*, 83(9):2139–2148, September 2000. URL <http://jds.fass.org/cgi/content/abstract/83/9/2139>.
- P. R. Tozer. Least-cost ration formulations for holstein dairy heifers by using linear and stochastic programming. *J. Dairy Sci.*, 83(3):443–451, March 2000. URL <http://jds.fass.org/cgi/content/abstract/83/3/443>.
- B. Vargas, M. Herrero, and J.A.M. van Arendonk. Interactions between optimal replacement policies and feeding strategies in dairy herds. *Livestock Production Science*, 69(1):17–31, April 2001. doi: 10.1016/S0301-6226(00)00250-5.
- S. J. Wang, D. G. Fox, D. J. R. Cherney, L. E. Chase, and L. O. Tedeschi. Whole-herd optimization with the cornell net carbohydrate and protein system. ii. allocating homegrown feeds across the herd for optimum nutrient use. *J. Dairy Sci.*, 83(9):2149–2159, September 2000. URL <http://jds.fass.org/cgi/content/abstract/83/9/2149>.
- F.V. Waugh. The minimum-cost dairy feed (an application of "linear programming"). *Journal of Farm Economics*, 1951.

### **3.7 Indsatsområder for udvikling af beslutningsstøtte til optimalt foderniveau i regi af NorFor**

Ved workshop 1 i projekt 'Økonomisk foderoptimering i den enkelte besætning baseret på NorFor Plan' mandag den 15. september i Foulum blev behovene for udvikling af beslutningsstøtte til optimalt foderniveau i regi af NorFor opsummeret baseret på fremlæggelse af indlæggene i afsnit 31. til 3.6. Følgende indsatsområder blev derved opstillet:

1. Modeller for substitution mellem kraftfoder og grovfoder ved ad libitum fodring med grundfoder.
2. Konsekvenser af fodring i en periode på produktionen i en efterfølgende periode. Mellem forskellige laktationsafsnit og mellem laktationer.
3. Foderbudgettering med brug af Norfor. Ved foderbudgettering er det en væsentlig del af opgaven at allokere de kendte foderbeholdninger hen til de dyregrupper (kvier, goldkøer, højtydende, ..) på en optimal måde. Norfor kan vurdere hele rationer under hensyn til vekselvirkninger mellem fodermidler.
4. Nye generelle produktionsfunktioner og ny model for optimalt foderniveau baseret på forbedrede metoder til at beregne ydelseskapaletet vha. besætningens egne data, hvor det fundne foderniveau (og ydelsesniveau) bruges som input ved foderplanlægning med NorFor Plan.
5. Planlægningen bliver baseret på produktionsfunktioner specifikke for den enkelte besætning. Ved løbende at opdatere denne produktionsfunktion med sammenhørende data for input (foder) og output (produktion) indsamlet i besætningen bliver det muligt at optimere foderniveauet ud fra netop de sammenhænge der gælder i besætningen.
6. Optimering/justering af foderniveauet på individ-niveau (eller mindre gruppe) med kort tidshorisont.



## 4 Diskussion og konklusion for anbefalede prioriteringer i forhold til udvikling af et nyt værktøj til økonomisk optimering af foderniveauet

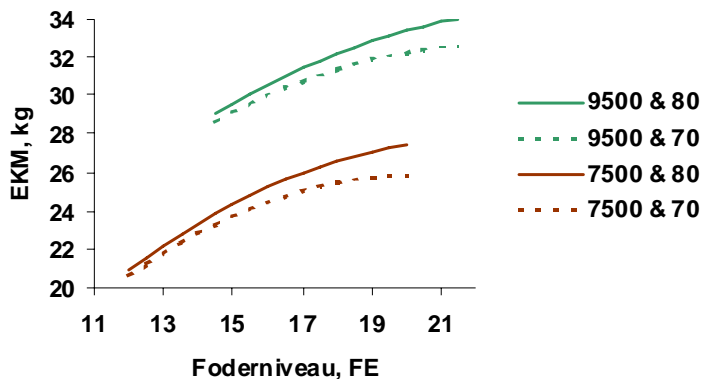
Dette kapitel opsummerer resultaterne fra projekt-workshoppene, hvor de i afsnit 3.7 udpegede indsatsområderne for udvikling af et nyt værktøj til økonomisk optimering af foderniveauet blev diskuteret. Først opsummeres diskussionen i forhold til afsnittene 3.1 til 3.6 og til sidst opstilles en anbefalet prioritering af den fremtidige indsats.

### 4.1 Diskussion af indlæggene i afsnit 3.1 til 3.6

*Model for økonomisk optimalt foderniveau udviklet til FE-systemet af Søren Østergaard*

Systemet udviklet til FE-systemet præsenteres. Der peges på følgende faktorer som værende af primær betydning for optimalt foderniveau: Fordøjelighed af grovfoderets organiske stof, mælkeprisen, besætningens ydelseskapacitet, prisen for tilskudsfoeder og prisen for grovfoeder. Et tab på 1 kr. pr. ko pr. dag opstår med selv små afvigelser fra det optimale foderniveau. Der peges på, at inden for en besætning, er der kun små forskelle i den optimale energikoncentration for de enkelte køer, når der fodres med fuldfoder.

En væsentlig forudsætning bag denne model til forskel fra modellen bag den nuværende NorFor model er, at responset på stigende foderniveau på mælkeydelse og tilvækst afhænger af ydelseskapaciteten som illustreret i figur 1.



Figur 1. Mælkeydelse som funktion af foderniveau ved forskellig ydelseskapacitet (7500 og 9500) og fordøjelighed af grovfoderets organiske stof (70 og 80 %)

Ydelseskapaciteten forklarer her faktorer, som ikke er forklaret af foderniveauet og fordøjeligheden af grovfoderets organiske stof. I NorFor vil foderkarakteristika kunne forklare mere end virkningen af grovfoderets fordøjelighed. Det synes dog fortsat et væsentligt behov for at et værktøj i regi af Norfor skal kunne modellere responskurver som respekterer, at der er andre betydende faktorer end foder involveret.

*Anvendelse af nuværende NorFor Plan til foderplanlægning af Martin Riis Weisbjerg og Ole Aaes*

Afsnittet opsummerer nogle forhold, som fører til konklusion om, at NorFor-modellen ikke aktuelt kan bruges til beregning af optimalt foderniveau. Figur 5 i afsnittet viser sammenhængen mellem forventet EKM-ydelse og foderniveauet. Kurven er dannet med NorFor ved først at indtaste EKM-ydelse og får NorFor til at beregne FE. Denne brug af modellen forudsætter ubegrænset foderoptagelseskapacitet. Ved at forudsætte konstant foderoptagelseskapacitet

ville afbøjningen blive større, men ikke tilstrækkeligt i forhold til, hvad der kan forventes i en konkret besætning.

Det blev diskuteret om det er rimeligt at undlade fedt og protein i fremtidige produktionsfunktioner til beregning af økonomisk optimalt foderniveau. Vurderingen er, at det vil være uproblematisk at undlade fedt og at det måske også vil være acceptabelt at undlade protein. Vurderingen er, at der ikke er væsentlige vekselvirkninger, men at fedt- og proteinindholdet i rationen skal optimeres separat efter at foderniveauet er optimeret. Der er dog behov for at analysere og afprøve disse vurderinger, især ved ekstreme rationer.

#### *Strategies for Regulating Feed Intake with In-line Measurements af Nic Friggens*

Der forudses flere indikatorer til bestemmelse af foderoptagelse på individniveau. Der peges på forsat betydelig usikkerhed mht. prædiktions af foderoptagelsen på individniveau, mens det på gruppeniveau vurderes realistisk. Afsnittet lægger op til, at fodringen skal justeres i forhold til koens potentiale, idet der ikke nævnes økonomi. Afsnittet påpeger vigtigheden af, at inddrage overslæb mellem laktationsafsnit og mellem laktationer mht. betydningen af det valgte foderniveau.

Hvorvidt de nye indikatorer præsenteret i tabel 1 i afsnittet kan danne grundlag for at beslutte ændret foderniveau i besætningen blev diskuteret som værende af grundlæggende betydning for udviklingen af et nyt værktøj til økonomisk optimering af foderniveauet. Det blev således stillet spørgsmål ved, hvad de økonomiske implikationer er ved af inline registreringerne i relation til foderniveauet i besætningen. Samtidig vil det være en væsentlig udvidelse af hvilke faktorer, der skal med i en model for økonomisk optimalt foderniveau. Det blev diskuteret om der skal optimeres foderniveau på individniveau eller på besætningsniveau.

Det blev påpeget at inline indikatorerne, som måler på individniveau, eventuelt vil kunne anvendes til at bestemme ydelses- eller foderoptagelseskapaciteten i besætningen. Eksempelvis vil inline indikatorer kunne vise, hvis en besætning har høj forekomst af subklinisk ketose. Ydelses- og foderoptagelseskapaciteten hhv. med og uden den høje ketoseforekomst vil være forskellig. Der blev stillet spørgsmål ved, om dette eller tilsvarende aspekter i relation til management bør inddrages i en model for økonomisk optimalt foderniveau.

Diskussionen blev afsluttet med en prioritering i retning af, at det er på besætnings- eller gruppeniveau der skal udvikles model til økonomisk optimering af foderniveauet og at valget af hvilke faktorer, der skal indgå i modellen bør være konservativt. Omkring ydelseskapa- citeten blev det understreget, at det besætningsspecifikke respons er vigtigt. Inline indikatorer vil i højere grad være af relevans til overvågning af fodringen i forhold til at kunne danne grundlag for taktisk/strategisk planlægning. Vigtigheden af at inddrage overslæb mellem laktationsafsnit og mellem laktationer mht. betydningen af det valgte foderniveau blev understreget i diskussionen.

#### *Bedriftsmæssige hensyn ved planlægning af foderniveauet af Troels Kristensen*

NorFor vil kunne udnyttes til foderbudgettering pga. modellens evne til at vurdere værdien af rationer til forskellige dyregrupper i besætningen. Der peges på, at økonomi spiller en mindre rolle ved detailfoderplanlægningen end ved planlægning af afgrødevalg og ved foderbudgettering.

Det blev diskuteret om foderbudgettering og detailfoderplanlægning bør samles i en og samme model. Erfaringerne fra modeludvikling i 1980'erne viste, at en sådan model ikke fik stor anvendelse. Det blev påpeget, at tidligere modeller har antaget at optimering af foderniveauet for køerne i første del af laktationen er afgørende. Det vil være pædagogisk problematisk at ændre denne opfattelse. Det blev foreslået at holde foderbudgettering og detailfoderplanlægning modelmæssigt adskilte, og til gengæld opstille en logisk og sammenhængende fremgangsmåde for anvendelse af de to modeller. I mange besætninger vil de to opgaver være tæt knyttede, men øget handel med grovfoder vil gøre opgaverne mindre afhængige.

*Kan en modeltype som NorFor Plan danne grundlag for beslutninger om foderniveauet på besætningsniveau? Hvis ikke, hvad gør vi så?*

*af Anders Ringgaard Kristensen*

Da NorFor ikke uden videre kan tage højde for usikkerhed og variabilitet konkluderes, at NorFor næppe er egnet til optimering af foderniveauet. I stedet foreslås en fremgangsmåde, hvor samhörende værdier af observerede fodermiddelkarakteristika og mælkeydelse bruges til at estimere den besætningspecifikke sammenhæng. NorFor forventes at kunne benyttes som et redskab, der kan sammenfatte en given foderrations egenskaber, når det ønskede foderniveau er kendt.

Det blev diskuteret, hvor stor usikkerhed der er på estimatet for foderniveauet i besætningen, herunder usikkerhed på især grovfoderanalyser. Vurderingen er, med den anvendte analyseteknik suppleret med regelmæssig prøvetagning på en systematisk måde hyppige er usikkerheden beskeden. Betydningen af en lille usikkerhed på foderniveauet er, at de besætningspecifikke sammenhænge vægtes tungt.

Det blev diskuteret hvor hyppigt der skal registreres sammenhængende værdier for foderniveau og respons (mælkeydelse). Ideen bygger på, at foderniveauet registreres ved ændringer af fodringen og at det drejer sig om registreringer på gruppeniveau.

Hvor mange parametre i de estimerede responskurver, der kan justeres på baggrund af registreringer i besætningen blev diskuteret. Måske vil det være begrænset til, at kurveformen ikke justeres, men at det alene drejer sig om parallelforskydninger af den responskurve, der er estimeret på populationsniveau.

Det blev konkluderet, at ideen med en systematiseret besætningspecifik fastlæggelse af produktionsfunktionerne er vigtige for et fremtidigt værktøj til økonomisk optimering af foderniveauet.

*Matematiske metoder til økonomisk optimering i relation til foderplanlægning*

*Af Lars Relund Nielsen*

Fordele og ulemper suppleret med eksempler gives for forskellige optimeringsmetoder. Eksemplerne viser, at også de mere avancerede metoder har været forsøgt anvendt til foderoptimering. Multikriterielle metoder bliver også beskrevet. Hvilke modeltyper, der skal bruges, afhænger meget af hvilke fokusområder, som vælges. Generelt anbefales det at starte med simple modeller, som gøres mere avancerede efterhånden.

Det blev diskuteret, hvornår det er vigtigt at inkludere usikkerhed. Her blev det påpeget, at især ved sekventielle beslutninger er det vigtigt at inddrage usikkerhed. Inklusion af usikkerhed er også vigtigt i forbindelse med vægtning mellem sammenhænge gældende som gennemsnit for populationen og sammenhænge estimeret for den enkelte besætning.

Det blev diskuteret i hvilken grad der skal arbejdes mod en stor integreret model, mht. til bestemmelse af optimalt foderniveau og optimal rations sammensætning. Det blev understreget, at der er behov for en iterativ proces som enten kan være manuel eller automatisk. I den forbindelse vil der være behov for at NorFor leverer en marginalfoderenhedspris. Denne afhænger af rations sammensætningen men skal bruges for at kunne bestemme optimalt foderniveau.

## 4.2 Identificerede indsatsområder

Baseret på diskussionen i afsnit 4.1 udarbejdede projektgruppen gruppering og prioritering af indsatsområderne. Indsatsområder som opsummeret i afsnit 3.7 er følgende:

1. Modeller for substitution mellem kraftfoder og grovfoder ved ad libitum fodring med grundfoder.
2. Konsekvenser af fodring i en periode på produktionen i en efterfølgende periode. Mellem forskellige laktationsafsnit og mellem laktationer.
3. Foderbudgettering med brug af Norfor. Ved foderbudgettering er det en væsentlig del af opgaven at allokere de kendte foderbeholdninger hen til de dyregrupper (kvier, goldkøer, højtydende, ..) på en optimal måde. Norfor kan vurdere hele rationer under hensyn til vekselvirkninger mellem fodermidler.
4. Nye generelle produktionsfunktioner og ny model for optimalt foderniveau, baseret på forbedrede metoder til at beregne ydelseskapaletit vha. besætningens egne data, hvor det fundne foderniveau (og ydelsesniveau) bruges som input ved foderplanlægning med NorFor Plan.
5. Planlægningen bliver baseret på produktionsfunktioner specifikke for den enkelte besætning. Ved løbende at opdatere denne produktionsfunktion med sammenhørende data for input (foder) og output (produktion) indsamlet i besætningen bliver det muligt at optimere foderniveauet ud fra netop de sammenhænge der gælder i besætningen.
6. Optimering/justering af foderniveauet på individ-niveau (eller mindre gruppe) med kort tidshorisont.

## 4.3 Anbefalet prioritering for fremtidig indsats

Prioriteringen af ovenstående indsatsområder er sket under hensyn til rammerne for udregningsarbejdet. Prioriteringen er således sket efter i hvilken rækkefølge det anbefales at iværksætte aktiviteter på området for at imødekomme behovene.

### **Prioritet 1:**

Indsatsområde 4 suppleret med de nødvendige bidrag fra indsatsområderne 1, 2 og 6.

### **Prioritet 2:**

Indsatsområde 5

**Prioritet 3:**

Indsatsområde 3

**Prioritet 4:**

Indsatsområderne 1, 2 og 6 gennemført i fuld omfang.

På kort sigt anbefales således udvikling af nye generelle produktionsfunktioner og en ny økonomisk model for optimalt foderniveau, baseret på forbedrede metoder til at beregne ydelseskapacitet vha. besætningens egne data, hvor det fundne foderniveau (og ydelsesniveau) bruges som input ved foderplanlægning med NorFor Plan. Udviklingsarbejdet bør indeholde aktiviteter vedr. substitution mellem fodermidler, konsekvenser af fodring i en periode på produktionen i en efterfølgende periode samt optimering/justering af foderniveauet på individ-niveau eller mindre grupper af køer.

På lang sigt anbefales udvikling jf. prioriteringen herunder beslutningsstøttesystemer der udnytter sammenhørende og løbende opdaterede data for foder og produktion i den enkelte besætning samt udnyttelse af NorFor til foderplanlægning.

