

verwerking van energie door de herkauwer

Stapsgewijs wordt de energie-verwerking van het rantsoen door melkvee beschreven op basis van de resultaten van een groot aantal energiebalansproeven. De daaruit afgeleide behoefte voor onderhoud en produktie is vermeld. Het geheel vormde de basis voor het nieuwe voederwaarderingsstelsel in ons land, waarin met belangrijke invloeden op de verwerking van het voer rekening wordt gehouden.

Om een goed rantsoen voor herkauwers samen te stellen tegen zo laag mogelijke kosten, dient men te beschikken over een goed gefundeerd, maar vrij eenvoudig toe te passen voederwaarderingsstelsel. Daarmee kunnen de voedermiddelen onderling worden vergeleken in hun vermogen om in die behoeften te voorzien. Hieruit volgt, dat voederwaarde zowel als voederbehoefte uitgedrukt dienen te worden in dezelfde eenheden (Van Es, 1975).

Hieronder wordt nader ingegaan op enkele aspecten van de energieverwerking door rundvee (vooral melkkoeien) en de wijze waarop deze gemeten of berekend kan worden. Daarnaast zal aandacht worden geschonken aan de energetische voederwaarde voor melkvee van verschillende soorten voeders en rantsoenen die de laatste jaren in Nederland nogal in de belangstelling staan.

Mens en dier hebben voedsel nodig om in leven te blijven. Ook voor het verrichten van arbeid en/of de vorming van melk, vlees, wol, eieren, en eventueel voor de aanleg van lichaamsreserves zijn bouwstoffen en energie nodig.

De eiwitten, vetten en koolhydraten uit het voedsel, en bij herkauwers tevens de organische zuren die door micro-organismen in de voermagen worden geproduceerd, zijn de belangrijkste bronnen van energie.

Wanneer meer voedsel wordt opgenomen dan voor onderhoud en melkproduktie nodig is, wordt het teveel als vet in de reserveweefsels opgeslagen. In tijden van voedselschaarste kan dit depotvet dienen om een tekort aan energie uit het voer aan te vullen, zodat bijvoorbeeld de melkproduktie gehandhaafd blijft.

Bij de voedselverwerking door de landbouwhuisdieren zal men vanuit een praktisch oogpunt vooral geïnteresseerd zijn in de geproduceerde hoeveelheid melk, vlees, eieren en de hoeveelheid voer die daarvoor nodig was. Voor een beter begrip van de verwerking van voer tot eindprodukt is het echter nodig veel meer waarnemingen en analyses te doen dan uitsluitend het meten van de produktie. Enerzijds is het van belang te weten wat de behoefte van het dier is voor het in leven blijven (z.g. onderhoud) en voor de verschillende vormen van produktie zoals melk, vlees, eieren, wol en dergelijke. Anderzijds is het gewenst te weten in hoeverre de verschillende voedermiddelen geschikt zijn om in de diverse behoeften te voorzien.

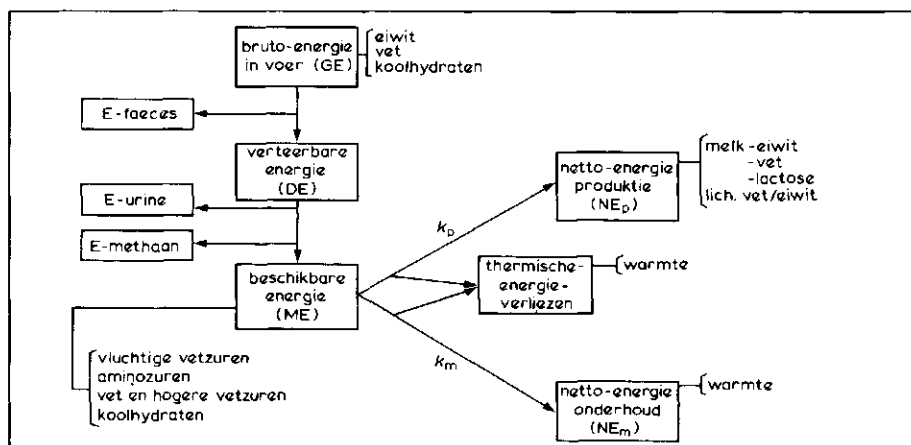
de energetische verwerking van het voer door de herkauwer

schema en meettechniek

Door Tamminga e.a. (1977) is uitvoerig beschreven wat er met het door een melkkoe opgenomen voer in het maag-darmkanaal zoal kan gebeuren. Daaruit blijkt al, dat van de in het rantsoen aanwezige bruto-energie, na de afbraak en omzettingen in het maag-darmkanaal, slechts een deel in het bloed opgenomen wordt en voor de koe beschikbaar komt. Behalve via energieverliezen met de faeces (onverteerbare energie) gaat ook via

de urine, het opgerispte methaangas en door warmteafgifte energie voor de koe verloren. In figuur 1 is dit schematisch weergegeven. De bruto-energie van het voedsel wordt vooral geleverd door koolhydraten, eiwitten en vetten, terwijl de beschikbare energie voor de koe grotendeels bestaat uit vluchtige vetzuren en voorts uit eiwit en aminozuren, vet-

1. Schema energieverwerking door herkauwers.



* Y. van der Honing, Instituut voor Veevoedingsonderzoek 'Hoorn', Runderweg 2, Lelystad

ten en vetzuren en koolhydraten of daarvan afgeleide verbindingen. Een klein deel van de beschikbare energie bestaat uit (pens)fermentatiewarmte. De beschikbare energie minus deze fermentatiewarmte kan in het lichaam van de koe via de intermediaire stofwisseling worden aangewend voor onderhoud en voor produktie van melk, vruchtweefsel of reserves. Daarbij treden vrij grote verliezen aan warmte op (thermische energieverliezen). De energie in melk en dergelijke (netto-energie voor produktie) kan afzonderlijk van de bijbehorende, ermee gepaard gaande, warmteverliezen worden gemeten, maar de netto-energie voor onderhoud komt geheel als warmte vrij. Slechts in een model kan men onderscheid maken tussen de netto-energie voor onderhoud en de warmteverliezen die daarbij horen; die onderhoudsnetto-energie wordt immers direct verbruikt voor dekking van de energetische onderhoudsbehoefte en gaat daarbij eveneens over in warmte.

meting van de energiebalans

Verschillende stappen in de energetische verwerking kunnen vrij eenvoudig worden gemeten, andere vragen kostbare apparatuur en veel mankracht of moeten indirect worden benaderd.

De bruto-energie in het opgenomen voer (verstrekt minus resten) wordt vastgesteld door weging en analyse met de bomcalorimeter. De verteerde energie is te berekenen door het verzamelen, wegen en analyseren van de faeces en de energie in faeces af te trekken van de opgenomen bruto-energie. Om de invloed van de dagelijkse variatie in uitscheiding van de faeces te verminderen wordt deze meestal over een periode van 10 tot 14 dagen verzameld. Het energieverlies via urine kan door opvangen van de urine worden bepaald. Voor vrouwelijke dieren is een goed gescheiden opvang van mest en urine nogal moeilijk. Meestal wordt gebruik gemaakt van een leren tuig waaraan een urinaal met slang bevestigd wordt om de urine afzonderlijk in een vat te laten lopen.

Om het verlies aan methaanenergie te bepalen en de warmteproduktie te berekenen, die men onder andere kan afleiden uit het zuurstofverbruik en de koolzuurproduktie, dient men de gaswisseling te meten. Daarvoor zijn respiratiekamers nodig. Van deze luchtdichte kamers zijn er in Nederland momenteel vier in Wageningen en vier in Lelystad, die geschikt zijn voor individuele koeien

en vleesrunderen. Directe meting van de warmteafgifte, zoals in het buitenland sporadisch wel gebeurt met varkens of schapen, is voor deze grote dieren vrijwel niet mogelijk door de gecompliceerde constructie van dergelijke diercalorimeters.

De gaswisseling wordt meestal over een periode van 48 uur gemeten. Door de geringe dagelijkse variatie is het voldoende als gedurende een balansperiode van ca. 14 dagen deze meting één of twee maal wordt herhaald.

De energie in melk kan door weging en analyse worden bepaald. Meet men tevens de gehalten aan N en C in voer, faeces, urine, melk, methaan en koolzuur, dan kan de in lichaamsreserves vastgelegde hoeveelheid vet en eiwit worden afgeleid uit de C- en N-balans, waarbij wordt aangenomen, dat de voorraad koolhydraten, die bij herkauwers klein is, ongewijzigd blijft. De hoeveelheid energie die wordt vastgelegd in vet en eiwit kan worden berekend met de gemiddelde verbrandingswaarde voor vet (39,7 kJ; 9,5 kcal/g) en eiwit (23,8 kJ; 5,7 kcal/g); in zo'n geval is de energiebalans positief. Bij afbraak van lichaamsreserves zullen dus negatieve energiebalansen worden gevonden.

Uit de gaswisseling wordt de warmteproduktie berekend. Beschikbare energie, vermindert met de warmteproduktie en de energie in melk geeft eveneens een schatting van de energiebalans. Beide berekeningsmethoden komen voor melkvee vrij goed overeen.

Bij groeiende, vooral kleinere, dieren wordt vaak een vergelijkende slachttechniek gebruikt om de eiwit- en vetaanzet uit de proefrantsoenen te bepalen. Het éénmalig gebruik van zo'n proefdier maakt deze techniek nogal duur en ongeschikt voor melkkoeien.

kengetallen voor de energetische verwerking

De verschillende verliesposten aan energie in faeces, urine, methaangas en dergelijke worden gebruikt om de diverse onderdelen van de energetische verwerking te volgen. Deze verliesposten worden meestal opgegeven in procenten van de opgenomen bruto-energie. Ook de verteerbare en beschikbare energie kunnen als percentage van de bruto-energie worden opgegeven, maar worden ook wel per kg droge stof of organische stof van het voedermiddel of het rantsoen uitgedrukt. Hetzelfde geldt voor de netto-energie, maar hiervoor zijn niet alleen

een aantal berekeningen, maar ook nog enkele veronderstellingen nodig.

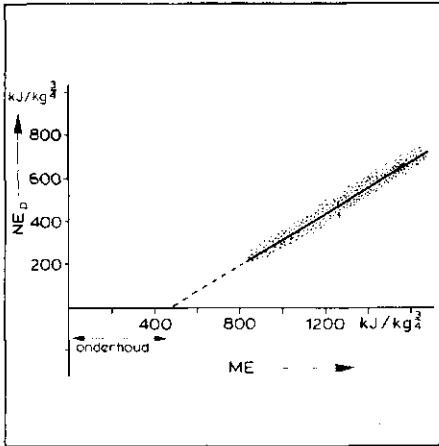
Internationaal wordt het gehalte aan beschikbare energie als percentage van de bruto-energie meestal met q aangeduid. De letter k wordt gebruikt om aan te geven welk deel van de beschikbare energie in de vorm van netto-energie kan worden teruggevonden. Een index m , g of l geeft aan, dat respectievelijk onderhoud, groei of melkproduktie bedoeld wordt. Over de variatie van een aantal grootheden geeft tabel 1 informatie.

de energetische behoefte van een melkkoe

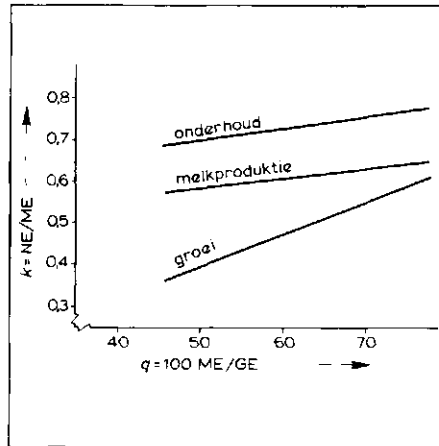
Onderhoud omvat enkele processen die nodig zijn om het dierlijk lichaam in een goede staat te houden, zoals spierbewegingen (om voedsel op te nemen, voor ademhaling, bloedsomloop en handhaving van de spiertonus), resorptie en transport van chemische verbindingen, produktie van enzymen en hormonen voor vertering en interne stofwisseling, besturing via hersenen en zenuwstelsel en herstel van verouderd of beschadigd weefsel. In het algemeen wordt de onderhoudsbehoefte gelijk gesteld aan de hoeveelheid voedsel (energie) die nodig is om de energie-inhoud van het dier op peil te houden.

Om de onderhoudsbehoefte vast te stellen, kan men proberen niet-drachtige, droogstaande koeien zoveel voedsel te geven dat de energiebalans nul wordt (Van Es, 1961). Anderen gebruiken hiervoor de warmteafgifte na 3-4 dagen vasten. Omdat de warmteafgifte waarden geeft die ca. 30% lager uitkomen dan bij de eerstgenoemde proeven, moet hiervoor worden gecorrigeerd. Bij melkgevende dieren is de techniek van vasten niet acceptabel, omdat de melkproduktie doorgaat ten koste van lichaamsreserves; daarbij ontstaan spoedig fysiologische toestanden. Meestal extrapoleert men daarom met behulp van regressie-analyse de uitkomsten van balansproeven met melkkoeien, die een grote variatie in melkgift vertonen, naar het punt waar de produktie nihil zou zijn (figuur 2). Op deze wijze vindt men dat voor onderhoud van een melkgevende koe ongeveer 460-500 kJ (110-120 kcal) per kg metabolisch gewicht¹ nodig is;

¹ Tussen onderhoud en het gewicht bestaat geen rechtlijnig verband; met het metabolisch gewicht (het gewicht tot de macht $\frac{3}{4}$) wel. Bij regressie-analyse heeft dit belangrijke voordelen (Van Es, 1961).



2. Berekening van het onderhoud voor melkvee door extrapolatie van balansresultaten. Netto-energie in melk + balans (NE_p) per kg metabolisch gewicht ($kg^{0.75}$) uitgezet tegen beschikbare energie (ME) per $kg^{0.75}$.



3. Verband tussen de benutting (k) van beschikbare energie (ME) voor onderhoud, groei of melkproductie en de kwaliteit van het rantsoen, aangegeven door het percentage beschikbare energie in de bruto-energie (q).

voor droogstaande, niet-drachtige dieren wordt ongeveer 420 kJ (100 kcal) gevonden (Van Es, 1976). Het verschil wordt in hoofdzaak toegeschreven aan een verhoogde activiteit van de stofwisseling van een melkgevende koe.

Bij matig of slecht verteerbare rantsoenen zou voor onderhoud iets meer beschikbare energie nodig zijn dan bij goed verteerbare rantsoenen. Dit wordt vooral geweten aan de extra kauw- en verteeringsarbeid en de relatief wat grotere verliezen bij de fermentatie in de voormagen (Van Es, 1976).

Grazende koeien, die bovendien dagelijks een zekere afstand naar de melkstal moeten afleggen, zullen extra energie nodig hebben voor het lopen en het opnemen van gras. Gemakshalve wordt deze 'arbeid' als onderhoud gerekend. Ook de variatie in de per dag opgenomen hoeveelheid gras en de verwerking van de overtollige hoeveelheid eiwit in gras kosten extra energie. Wanneer de schatting voor het totaal van al deze factoren wordt omgeslagen over de onderhoudsbehoefte, zou deze in de weide volgens Van Es (1972) met ca. 20-25% moeten worden verhoogd. Voor de praktische uitwerking zie verderop onder 'de hoeveelheid voer'.

De verbrandingswaarde van 1 kg melk met 4% vet is gemiddeld 3,05 MJ (730 kcal). Ongeveer de helft van deze netto-energie wordt geleverd door het melkvet, terwijl vooral lactose en melkeiwit voor het resterende deel verantwoordelijk zijn. Regressie-analyse van een groot aantal balansproeven leerde,

dat deze netto-energie in melk ongeveer 60% van de daarvoor gegeven beschikbare energie bedroeg (figuur 2). Naarmate de kwaliteit van de beschikbare energie toenam, dus bij een hogere verteerbaarheid van het rantsoen en een grotere q , werd uit dezelfde hoeveelheid beschikbare energie iets meer melkenergie verkregen (figuur 3). In een formule kan dit worden geschreven als:

$$k = 0,6 + 0,0024 (q - 57).$$

Wel moet worden opgemerkt, dat dit verband geldt voor melkvee in normale omstandigheden en gevoerd met niet al te extreme rantsoenen. Van rantsoenen met veel vet of suiker en van rantsoenen die het melkvetgehalte verlagen, zijn nog onvoldoende gegevens beschikbaar.

Voor de groei van vrucht en vruchtvliezen is de eerste zeven maanden van de dracht slechts een geringe hoeveelheid energie nodig.

In de laatste twee maanden neemt deze groei echter snel toe. Voor de benutting van beschikbare energie voor dit doel worden algemeen lage percentages (10-25%) opgegeven, zodat er in de 9e maand een hoeveelheid extra voer voor nodig is gelijk aan die voor ca. 4-6 kg melk per dag.

Wanneer in het eerste deel van de lactatie een belangrijk deel van de vetreserves moet worden aangewend om bij een hoge melkproductie het tekort in de energievoorziening als gevolg van een beperkte opname op te heffen, zal deze reserve later moeten worden aangevuld. Volgens diverse berekeningen vindt deze

energieaanzet plaats tijdens de lactatie met dezelfde efficiëntie als waarmee melk wordt geproduceerd. Vooral wanneer deze reserves worden opgebouwd uit vrij matig verteerbare rantsoenen, is de energiebenutting tijdens lactatie beter dan tijdens de droogstand of bij groeiende, niet-lacterende dieren (zie ook figuur 3). Benutting van de energie uit lichaamsreserves is op zichzelf efficiënter dan uit het voer. Immers deze 'beschikbare energie' komt direct in de intermediaire stofwisseling beschikbaar, zonder dat afbraak in en resorptie vanuit het maagdarmkanaal nodig is. Hoewel het moeilijk nauwkeurig valt te berekenen, geven de meeste auteurs aan, dat 80-85% van de energie uit vetreserves als netto-energie in melk wordt teruggevonden.

benutting van het rantsoen voor verschillende produktierichtingen

Een groot deel van het herkauwerrantsoen wordt door micro-organismen gfermenteerd, waarbij vooral azijnzuur, propionzuur en boterzuur worden gevormd. Daarom bestaat de geresorbeerde beschikbare energie voor deze dieren slechts voor een vrij klein deel uit koolhydraten. Ook het vetgehalte in het voer mag niet al te hoog zijn vanwege het negatieve effect op de pensfermentatie. Voor onderhoud is vooral energieleverantie via energierijke fosfaatverbindingen (ATP) nodig. Bij de vorming van melk worden vet, eiwit en lactose gemaakt, waarvoor de nodige bouwstoffen aanwezig moeten zijn alsook de energie om uit deze verbindingen de melkbestanddelen te synthetiseren. Voor het aanvullen van lichaamsreserves is vooral vetsyntese nodig. Voor het leveren van ATP zijn niet alle geresorbeerde voedselbestanddelen even geschikt. Vet zou per kJ wat minder opleveren dan zetmeel en monosacchariden, terwijl vluchtige vetzuren nog minder zouden geven. Een kJ beschikbare energie uit eiwit zou zelfs ruim 20% minder ATP geven dan uit glucose mag worden verwacht (Armstrong, 1969).

De synthese van vet uit vetzuren met een lange keten vraagt weinig energie (efficiëntie ca. 95%), maar gedeeltelijke afbraak van deze zuren en opbouw via acetyl-coA vanuit vluchtige vetzuren is minder efficiënt. Omzetting van geresorbeerde glucose, vluchtige vetzuren en glucogene aminozuren tot vet via acetyl-coA geeft theoretisch een rendement van ca. 85, 80 respectievelijk 65%; in

het dier zijn echter aanzienlijk lagere waarden waarschijnlijker. Daarbij komt, dat de gemeten beschikbare energie bij herkauwers nog met ca. 10% fermentatiewarmte moet worden verminderd om tot de geresorbeerde beschikbare energie te komen.

De efficiëntie waarmee eiwit wordt gesynthetiseerd, valt moeilijk aan te geven. Op grond van biochemische reacties zou de koppeling van aminozuren veel minder energie vragen dan men in proeven met verschillende, snelgroeiende dieren vindt. Aangenomen wordt, dat de snellere groei een grotere turnover van bestaande eiwitweefsels tot gevolg heeft. De synthese van eiwit zou dus veel groter zijn dan de netto-eiwit aanzet (Millward e.a., 1976) Of ook bij de melkvorming de eiwitturnover verhoogd is, weten we nog niet. Berekningen lijken erop te wijzen, dat dit in veel mindere mate het geval is dan bij snelle groei.

Voor de vorming van lactose (evenals van vetzuren uit acetyl-coA) zijn bij de melkkoe glucogene verbindingen nodig, zoals propionzuur en glucogene aminozuren. Vergeleken met de synthese van vet is de vorming van lactose en melkeiwit waarschijnlijk een wat efficiënter proces (theoretisch ca. 80%).

De waarde van k voor de produktie van melk bij koeien is dan ook meestal hoger dan die voor de vetaanzet bij mestvee (fig. 3).

factoren die de energetische verwerking van voedermiddelen of rantsoenen beïnvloeden

De variatie in voedermiddelen die in rantsoenen voor herkauwers gebruikt worden, is veel groter dan voor éénmagigen. Enerzijds kan het rantsoen voor een groot deel of geheel bestaan uit ruwvoerders met voor éénmagigen niet of nauwelijks te verteren bestanddelen, anderzijds zijn hoge produkties aan melk of vlees slechts mogelijk met behulp van krachtvoerrijke, goed verteerbare rantsoenen. Omdat herkauwers de mogelijkheid hebben voedsel te benutten dat voor éénmagigen ongeschikt is, zou deze mogelijkheid zoveel mogelijk moeten worden uitgebuit. Van dit vaak minder verteerbare, volumineuze voer wordt evenwel minder opgenomen. Ook is de voederwaarde lager, zodat dan slechts matige produkties mogelijk zijn. Pogingen om deze beperkingen in opname en voederwaarde te verminderen, bijvoorbeeld door technologische bewerkingen,

betere conserveringsmethoden en dergelijke hebben vaak een wijziging van de energetische verwerking tot gevolg. Deze effecten zullen in dit hoofdstuk worden besproken, waarbij tevens aandacht zal worden geschonken aan de invloed van de hoeveelheid voer, de samenstelling van het rantsoen, de wijze van voederen, enz.

de hoeveelheid voer

Een grotere voederopname heeft een hogere passagesnelheid door het maagdarmkanaal tot gevolg en resulteert dus in een kortere verblijfstijd van het voer in de voormagen. De micro-organismen in de voormagen hebben minder tijd beschikbaar voor de afbraak, zodat vooral de structurele koolhydraten (die van de plantencelwanden) er minder goed verteerd worden. Dit resulteert in een groter verlies aan energie met de faeces. De verliezen zijn nogal variabel, maar lijken toe te nemen naarmate meer voedsel wordt opgenomen en de deeltjesgrootte geringer is. Hoge voederniveaus worden meestal bereikt met krachtvoerrijke rantsoenen. De gegevens uit de literatuur suggereren, dat een groter aandeel krachtvoer de verteringsdepressie bij een hoger voederniveau, vooral van de celwandbestanddelen, nog versterkt. Ook gemalen en tot brokjes geperst ruwvoer geeft de mogelijkheid tot verhoging van het voederniveau. Ook daarbij wordt een belangrijke daling van de verteerbaarheid gevonden. Hierop komen we nog terug. Gelukkig wordt een deel van de verteringsdepressie gecompenseerd door geringere verliezen via methaangas. De beschikbare informatie is nogal schaars, maar wellicht wordt ongeveer de helft hierdoor goedge maakt. Dit betekent, dat het gehalte aan beschikbare energie per eenheid energie of droge stof van de voedermiddelen bij een hoger voederniveau iets lager wordt. In het huidige voederwaarderingssysteem (Benedictus, 1977) is de correctie hiervoor gesteld op 1,8% per stijging met éénmaal de onderhoudsbehoefte. In veevoedertabellen moet derhalve de beschikbare energie bij een constant voederniveau, bijvoorbeeld onderhoud, worden opgegeven.

wijze van ruwvoederconservering

Gras, hooi en kuilvoer zijn de belangrijkste ruwvoerders met daarnaast in een aantal gebieden snijmaissilage.

Vrij recent zijn met weidegras energiebalansen met melkkoeien uitgevoerd,

nadat jarenlang op basis van de verteerbaarheid door hamels de netto-energie was berekend via het ZW-systeem (Van Es & Van der Honing, 1976). Vers of diepgevroren weidegras werd om de twee uur in 8 porties per dag aan melkkoeien in de respiratiekamers te Wageningen gevoerd. Daarbij werden hoge verteringscoëfficiënten gevonden voor organische stof variërend van 76,5 tot 82,6 en voor energie van 72,0 tot 78,3. Berekningen hieraan en de uitkomsten van verteringsproeven met hamels en koeien in 1976 in Lelystad lijken erop te wijzen, dat zeer goed verteerbaar gras, mits in veel maaltijden gegeten zoals in deze proeven en in de weide, vrijwel geen verteringsdepressie vertoont. Dit voordeel zou grotendeels de extra energiebehoefte tijdens grazen (zie onder 'de energetische behoefte van de melkkoe') compenseren.

De benutting van de in de balansproeven gemeten beschikbare energie door de melkkoeien week niet af van de formule afgeleid uit de resultaten van de grote aantallen balansproeven met melkvee op sterk verschillende winterrantsoenen, uitgevoerd in ons land, de Verenigde Staten van Amerika, Oost-Duitsland, enz.

Vrij veel onderzoek is al gedaan naar de wijze van conserveren. Enerzijds wil men de verliezen bij het hele proces van winning en conservering graag zoveel mogelijk reduceren, anderzijds mag dat zo weinig mogelijk moeite en geld kosten. Omdat de weersomstandigheden bij het droogproces een grote rol spelen, valt het moeilijk te voorspellen welke methode in een bepaalde situatie het meeste succes oplevert. De verliezen kunnen blad- en stengeldelen betreffen (afbrokkeling, op het veld achterblijven van te fijne delen bij de winning), maar ook in de droge stof ontstaan, bijvoorbeeld door ademhaling, uitspoeling en omzetting bij de microbiologische fermentatie. Door het laatste zal de samenstelling van de droge stof zich wijzigen en de verteerbaarheid meestal dalen.

Ook naarmate het gras ouder wordt, daalt de verteerbaarheid. Vergeleken met de verteerbaarheid van gras is die van het uit datzelfde gras gewonnen hooi of kuilvoer lager. Volgens Mc Donald & Edwards (1976) zou het verschil voor hooi meestal groter zijn dan voor silages, vooral wanneer weinig voorgedroogd en goed geconserveerd is. Soms wordt een toename van de bruto-energie van kuilvoer gerapporteerd, die mogelijk door relatief toegenomen lig-

ninegehalten wordt veroorzaakt. Deze winst is slechts schijn, doordat goed verteerbaar materiaal verademd wordt. Ook de vluchtige bestanddelen in silage dienen bij de analyse goed te worden bepaald. Meestal zijn er geringe verschillen in methaan- en urine-energieverliezen bij hooi of silage, zodat er voor het gehalte aan beschikbare energie dezelfde tendensen zijn te vinden als voor de verteerbaarheid. Bij het kunstmatig drogen van gras vindt men in het algemeen in verteerbaarheid en beschikbare energie nauwelijks verschillen met het uitgangsmateriaal.

Voor de benutting van beschikbare energie voor onderhoud en groei werden bij goed vergelijkbare behandelingen weinig verschillen gevonden tussen hooi en gras of tussen hooi en silage van hetzelfde gras. Met productief melkvee, waarbij men niet met volledige ruwvoerrantsoenen kan volstaan, werd enerzijds hooi met voordroogsilage van identiek gras in jong groeistadium vergeleken en anderzijds hooi met maaikneuskuil van gras in laat groeistadium, steeds in een gemengd rantsoen met ca. 50% krachtvoer. Hierbij werden geen verschillen in benutting van de beschikbare energie gevonden (Van der Honing e.a., 1973). Hoewel de gehalten aan beschikbare energie voor

hooi en kuilvoer in sommige jaren niet gelijk waren, was het verschil gemiddeld klein. Bij een goede conservering is er dan ook weinig verschil in beschikbare en netto-energie per kg organische stof tussen hooi en kuilvoer van hetzelfde gras te verwachten (tabel 2).

technologische bewerkingen van krachtvoer en ruwvoer

Processen als pletten, malen en persen kunnen zowel op krachtvoerders als op ruwvoer worden toegepast. Ook andere bewerkingen zoals hittebehandeling of met chemicaliën komen voor. Dergelijke bewerkingen veranderen meestal de plaats en/of snelheid van fermentatie en veroorzaken soms verschuivingen in de fermentatieproducten. Hierdoor kan ook de energetische verwerking worden gewijzigd (Osborn e.a., 1976).

Hele graankorrels, vooral sorghum en mais, kunnen bij rundvee, in tegenstelling tot schapen en geiten, die beter kauwen, het maagdarmkanaal voor een deel onaangetast passeren en zo een verlaging van de verteerbaarheid veroorzaken. Zeer fijn malen en andere bewerkingen die het zetmeel ontsluiten, veroorzaken een veel snellere pensfermentatie en daling van de pH door een gro-

tere produktie van vluchtige vetzuren. Hierdoor wordt de cellulolytische activiteit van de pensflora belemmerd, zodat de verteerbaarheid van de structurele koolhydraten in ruwvoerders verlaagd wordt (zie ook Tamminga e.a., 1977). Voor de energetische verwerking valt de uitkomst van dit complex van factoren moeilijk te voorspellen. Ook in de literatuur worden variërende resultaten gevonden, meest van proeven met groeiende dieren. Orskov (1976) meent dat het hoogst twijfelachtig of zelfs ongewenst is, met de technologische bewerkingen van granen verder te gaan dan het voorkomen van al te grote verteringsdepresies. Hoewel bij melkvee nauwelijks gegevens over de energetische verwerking beschikbaar zijn, betekent de toenemende kans op daling van het melkvetgehalte en op het 'off-feed' raken, dat ook hier voorzichtigheid geboden is.

Bij ruwvoerders wordt door verkleining van de deeltjesgrootte via malen en/of persen de mogelijkheid gegeven, veel sneller de voormagen te passeren. De kortere verblijftijd gepaard gaande met een snellere en gewijzigde fermentatie (lagere cellulolytische activiteit) van door de oppervlaktevergroting gemakkelijker aantastbare voedseldeeltjes, leidt tot een grotere voederopname, maar ook tot een daling van de verteerbaarheid. Vooral de ruwe-celstofvertering wordt hierdoor belemmerd, en de daling van de verteringscoëfficiënten wordt meestal groter naarmate het ruwvoer meer ruwe-celstof bevat en meer voer wordt opgenomen.

Veel onderzoek met schapen of vleesvee heeft voor gemalen vergeleken met lang ruwvoer een gelijke of hogere produktie laten zien (Osborn e.a., 1976). Dit moet worden toegeschreven aan de iets lagere methaanenergieverliezen en vooral de geringere warmteverliezen die de grotere verteringsverliezen compenseerden.

In gemengde rantsoenen met ruwvoer en krachtvoer, waarin ook ruwvoerbrosjes waren opgenomen, werd bij melkvee ook een dergelijke compensatie gevonden. Deze compensatie was gemiddeld voldoende om de daling van de verteerbaarheid door het tot brokjes persen van ruwvoer goed te maken. Als oorzaken voor de geringere warmteverliezen wordt vooral gedacht aan reductie van de fermentatiewarmte, de geringere verteringsarbeid en de mogelijk betere benutting van de geresorbeerde verbindingen, met een verschuiving van azijnzuur naar propionzuur (Osuji e.a., 1975). In

tabel 1. Globale variatiebreedte van kengetallen voor de energieverwerking van voedermiddelen.

	in % van bruto-energie	per kg organische stof in MJ	per kg organische stof in Mcal
bruto-energie (GE)	100	17,6-22,2 (39,7*)	4,2-5,3 (9,5*)
verteerbare energie (DE)	50-80**	8,8-16,7	2,1-4,0
beschikbare energie (ME)	40-70	7,1-15,5	1,7-3,7
urine-energie	3-9		
methaanenergie	5-12		
netto-energie	20-50	3,8-10,5	0,9-2,5

* vet

** in extreme voedermiddelen 20 of 85 mogelijk

tabel 2. Vergelijking van 12 rantsoenen met hooi of kuilvoer van identiek gras in balansproeven met melkkoeien.

	hooi-rantsoenen	kuilvoer-rantsoenen
droge-stofopname (kg)	12,99	12,54
krachtvoeraandeel (%)	48	50
melkproduktie (kg)	19,49	20,15
verteerbaarheid van:		
organische stof	70,8	70,7
ruweiwit	64,0	64,7
energie	67,4	67,8
beschikbare energie (% van bruto-energie)	57,3	57,9
netto-energie (% van beschikbare energie)	60,6	60,9
netto-energie (% van bruto-energie)	34,7	35,2

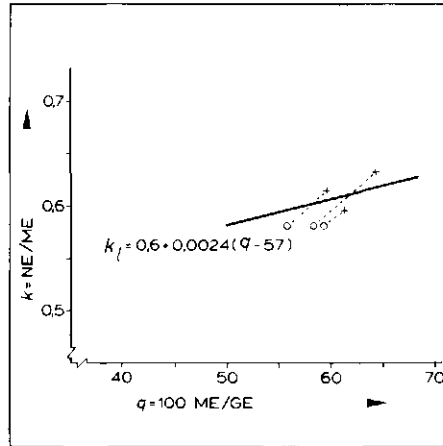
de voederwaardering kan men het netto-energie-gehalte van gemalen en tot brokjes bewerkt ruwvoer voor melkvee gelijkstellen aan het onbewerkte uitgangsmateriaal (Van der Honing, 1975).

de verhouding tussen ruwvoer en krachtvoer in het rantsoen

De verteerbaarheid van ruwvoer is meestal lager dan van het krachtvoermengsel dat voor melkvee wordt gebruikt. Een groter aandeel krachtvoer leidt dan tot een hoger gehalte aan verteerbare organische stof en energie. Wanneer ook het voederniveau verhoogd wordt, zal dit van zowel ruw- als krachtvoer de verteerbaarheid doen dalen. In de meeste rantsoenen voor hoogproductieve melkkoeien gaan deze twee factoren (meer krachtvoer en hoger voederniveau) samen en alleen het nettoresultaat wordt gemeten. De verschuiving in het fermentatiepatroon in de voermagen is al eerder gememoreerd (Tamminga e.a., 1977), zodat hier het effect op de energetische verwerking van verteerbare of beschikbare energie zal worden geanalyseerd.

In een directe vergelijking van ruwvoerbare (25-30 % van de droge stof als hooi) met ruwvoerrijke rantsoenen (55-65 % van de ds als hooi) in balansproeven met melkkoeien bleek, dat iets minder methaan verloren ging naarmate meer krachtvoer werd gegeven, zodat het gehalte aan beschikbare energie per eenheid verteerde energie toenam van 85,0 naar 86,5 %. Ook de benutting van de beschikbare energie (k) nam toe bij groter krachtvoeraandeel. Omdat ook het gehalte aan beschikbare energie (q) toenam, kan worden nagegaan of het in deze proeven gevonden verband tussen de benuttingsfactor k en q afwijkt van het in de ruim 1000 balansproeven gevonden effect van q op k . Per eenheid, dat q toeneemt, wordt ongeveer 0,4 % meer netto-energie uit dezelfde hoeveelheid beschikbare energie verkregen.

De spreiding rond dit getal was groot. Berekningen aan bovengenoemde proeven leverde een stijging van ca. 1,3 % op; een waarde die echter geen grote nauwkeurigheid bezit (fig. 4), maar wel suggereert, dat beschikbare energie uit krachtvoer iets meer waarde heeft dan uit ruwvoer. Het is evenwel de vraag of bij een verder stijgend aandeel krachtvoer deze tendens zich blijft doorzetten, en voorts of ook de melkproductie zich hand- of ook de melkproductie zich handhaaft. In plaats daarvan zou vetaanzet in het reserveweefsel gestimuleerd kunnen worden. Meer onderzoek op dit punt zal



4. De benutting (k_f) van ruwvoerrijke (o) en ruwvoerarmer (+) rantsoenen vergeleken met de formule voor k_f afgeleid uit ruim 1000 balansproeven met melkvee.

moeten aantonen of deze relaties bevestigd worden.

de frequentie van voeren

De voordelen voor de pensfysiologie van het vaker dan tweemaal per dag voeren van krachtvoer en ruwvoer zijn uitvoerig beschreven door Kaufmann e.a. (1975). Over de energetische verwerking bij een dergelijke wijze van voeren is nog niet zoveel bekend. Een voorlopige serie proeven met melkkoeien die het krachtvoer in acht maal per dag kregen toegediend met tussenpozen van twee uur, liet weinig verschil zien in gehalte aan beschikbare energie en de benutting ervan in vergelijking tot tweemaal per dag voeren van een gelijke hoeveelheid krachtvoer van ca. 10-13 kg (Van der Honing e.a., 1976). Wel moet hierbij worden opgemerkt, dat, ondanks de grote krachtvoergift, bij de twee pensfistekoeien in de proef de pH van het pensvocht niet erg laag werd. Ook werd geen verlaagd melkvetgehalte gevonden.

het nieuwe voederwaarderingssysteem in Nederland

Veel van de voorgaande kennis omtrent de energetische verwerking van de ruw- en krachtvoerders in melkveerantsoenen is gebruikt voor de ontwikkeling van het nieuwe netto-energie-voederwaarderingssysteem voor melkvee (Benedictus, 1977).

Op basis van de verteerbare bestanddelen, op een onderhoudsvoederniveau met hamels bepaald, wordt de beschikbare energie voorspeld via een regressieformule. Deze beschikbare energie

wordt naar netto-energie omgerekend met een formule waarin de kwaliteit van de beschikbare energie (q) als een factor is opgenomen, die voor onderhoud en melkproductie dezelfde invloed uitoefent. Bij vleesvee is het effect van q voor groei veel groter dan voor onderhoud, waardoor het vleesveesysteem ingewikkelder is (zie fig. 3). De invloed van het voederniveau, die eigenlijk geheel in het gehalte aan beschikbare energie verdisconteerd zou moeten worden, is bij het melkveesysteem om praktische redenen deels daarin en deels in de behoefte verwerkt. Op deze wijze kan in de veevoedertabellen worden volstaan met één voederwaarde voor melkvee, die volledig juist is voor een produktie van 15 kg melk. Deze waarde geldt voor gebruik in normale rantsoenen met niet te veel vet of suikers en voldoende structuurhoudend materiaal. Voor meer extreme rantsoenen, bijvoorbeeld met vet, kan zo nodig na verder onderzoek het systeem vrij eenvoudig worden aangepast. Ook de correcties voor het voederniveau en de invloed van q kunnen worden verbeterd, wanneer nieuwe informatie daartoe aanleiding geeft.

samenvatting

Het proces van de energetische verwerking van het voer door melkvee werd beschreven. Stapsgewijs werd nagegaan hoe de verschillende onderdelen ervan door meten of berekenen konden worden bepaald. Aangegeven werd hoe uit de vele tot nu toe uitgevoerde balansproeven de energetische voederwaarde van de voedermiddelen voor melkvee alsmede de energetische voederbehoefte van dit vee konden worden afgeleid. Dit vormde de achtergrond van het sinds mei 1977 ingevoerde voederwaardesysteem, waarin de invloed van het voederniveau — waardoor een verlaging van de verteerbaarheid kan optreden — en het effect van de kwaliteit van het rantsoen op de benutting van de beschikbare energie zijn ingebouwd.

De invloed van de conserveringsmethode voor ruwvoer en de gevolgen van technologische bewerkingen als malen en persen van voeders op de energieverwerking werd beschreven, terwijl ook aandacht aan de verhouding van ruwvoer en krachtvoer en de frequentie van voeren werd geschonken.

literatuur

De literatuurlijst behorend bij dit artikel is op verzoek verkrijgbaar bij de auteur.

literatuur.

- D.G.
D.G. Armstrong, in: Handbuch der Tierernährung. W. Lenkeit, K. Breirem & W. Crasemann, Ed. Paul Parey, Hamburg/Berlin 1969, vol. I p. 385-414.
- Benedictus, N.: Een nieuw netto-energiesysteem voor herkauwers. *Bedrijfsontwikkeling* 8 (1977) 1: 29-41.
- Es, A.J.H. van: Between animal variation in maintenance energy of cows. VLO 67.5 - Wageningen, 1961.
- Es, A.J.H. van: Energy and protein intake and requirements of dairy cattle, on a whole year basis. EAAP (Verona) 1972.
- Es, A.J.H. van: Feed evaluation for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 2 (1975) 95-107.
- Es, A.J.H. van: Bedarfsfactoren. Hülseberger Gespräche 1976: 79-84.
- Es, A.J.H. van & Honing Y van der: Energy and nitrogen balances of lactating cows fed fresh or frozen grass, in: Energy metabolism of farm animals ed. by M. Vermorel, EAAP publ. nr. 19: p. 237-240.
- Honing, Y. van der: Net-energy content of Dutch and Norwegian hay and silage in dairy cattle rations. *Z. Tierphys. Tierern. Futtermittelk.* 31 (1973): 149-158.
- Honing, Y. van der: Intake and utilization of energy of rations with pelleted forages by dairy cows. VLO 836 Pudoc Wageningen.
- Honing, Y. van der, e.a.: Effect on methane production and energy balance of increased feeding-frequency of concentrates to lactating cows, in: Energy metabolism of farm animals ed. by M. Vermorel, EAAP-publ. nr. 19: p. 77-80.
- Kaufmann, W., e.a.: Versuche über den Einfluss der Fütterungsfrequenz auf die Vormagenverdauung, Futteraufnahme und Milchleistung. Sonderheft Ber. Landwirtschaft 191: 269-295.
- McDonald, P. & Edwards R.A.: The influence of conversation methods on digestion and utilization of forages by ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 35 (1976): 201-211.
- Millward, D.J., e.a. Protein turnover, in: Protein metabolism and nutrition (ed. D.J.A. Cole e.a.) Butterworth, London, 1976, p. 49-69.
- Ørskov, E.R.: The effect of processing on digestion and utilization of cereals by ruminants. (1976) 35:245.
- Osborn, D.F., Beever, D.E. & Thomson, D.J.: The influence of physical processing on the intake, digestion and utilization of dried herbage. *Proc. Nutr. Soc.* 35 (1976): 191-199.
- Osuji, P.O., Gordon, J.C. & Webster, A.J.F.: Energy exchanges associated with eating and rumination in sheep given grass diets of different physical forms. *Brit. J. Nutri.* 34 (1975): 59-71.
- Tamminga, S., Vuuren, A.M. van en Koelen, C.J. van der: De betekenis van pensfermentatie in herkauwers. *Landbouwk. Tijdschr.* 7 (1978): 197-203