

Geactualiseerde energiebehoefthenormen voor Holstein Friesian melkkoeien Versie 2025

J.W. Spek*, D. Van Wesemael** en J. De Boever**

WLR
Wageningen Livestock Research*

ILVO**
Instituut voor Landbouw-, Visserij-, en Voedingsonderzoek

CVB Documentatierapport nr. 79
Januari 2025



Internet: www.cvbdievoeding.nl



CVB is een activiteit van de Stichting CVB

De inhoudelijke uitvoering van het CVB-programma vindt plaats door Wageningen Livestock Research (WLR) en het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO)



© Stichting CVB 2025

Alle auteursrechten en databankrechten op deze uitgave worden uitdrukkelijk voorbehouden. Overname van gegevens uit deze Veevoedertabel is toegestaan na voorafgaande schriftelijke toestemming door de Stichting CVB (via info@cvbdiervoeding.nl).

Deze uitgave is met zorg samengesteld; de Stichting CVB, Wageningen Livestock Research (WLR) en het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO) kunnen echter op geen enkele wijze aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen van het gebruik van de gegevens uit deze publicatie.

Voorwoord

In 2022 zijn de netto energiebehoeftenormen voor melkkoeien geactualiseerd en beschreven in CVB Documentatierapport nummer 79 (CVB, 2022b). In deze aangepaste rekenrekels zijn energiebehoeften voor onderhoud, dracht en beweging (voor loslopende dieren op stal en voor weidende koeien) weergegeven op metaboliseerbare energie (ME) basis terwijl de energiewaarden van voedermiddelen zijn weergegeven op VEM2022-basis. Om een ME-behoefte voor onderhoud, dracht en beweging om te rekenen naar een VEM2022-behoefte is het noodzakelijk om vooraf de q-waarde van het rantsoen te kennen vanwege het feit dat bij het berekenen van de conversiefactor van metaboliseerbare energie naar netto energie (energie vastgelegd in melk) deze conversiefactor, ook wel k_i -waarde genoemd, als volgt wordt berekend: $k_i = 0.405 + 0.00418 \times q$ waarbij q het procentuele aandeel is van bruto energie in voer wat voor het dier beschikbaar komt als metaboliseerbare energie. Echter, bij het berekenen van rantsoenen is in de meeste gevallen de q-waarde een resultaat van de berekening en vooraf niet bekend. Daarnaast bleek uit scenarioberekeningen met rantsoenen dat de variatie in q-waarde in rantsoenen voor lacterende koeien in de range van 20 tot 45 kg meetmelk zeer beperkt is en waarbij de k_i -waarde varieert tussen de 0.66 en 0.67. Daarom is in CVB verband besloten om voor lacterende koeien te rekenen met een vaste k_i -waarde van 0.66 (overeenkomend met een q-waarde van 62%). In deze 2025 versie van CVB Documentatierapport nr. 79 is een bijlage toegevoegd (Bijlage C) met scenario-berekeningen van rantsoenen waaruit blijkt dat de variatie in k_i - en q-waarden zeer beperkt is voor lacterende Holstein Friesian koeien met een meetmelkproductie in de range 25 – 45 kg/d.

Verder zijn zeer recent in CVB verband de energie- en eiwitbehoeftenormen voor vrouwelijk jongvee bestemd voor de melkveehouderij geactualiseerd waarbij rekenregels om de energiebehoefte voor onderhoud en dracht te berekenen zijn gebaseerd op voorgestelde VEM2022-rekenregels voor melkkoeien in CVB Documentatierapport nr. 79 (CVB, 2022b). Deze geactualiseerde energie- en eiwitbehoeftenormen voor vrouwelijk jongvee zijn beschreven in CVB Documentation report nr. 80 (CVB, 2025). In deze 2025 versie van CVB Documentatierapport nr. 79 is verder een bijlage toegevoegd (Bijlage D) waarin een aantal rekenvoorbeelden worden gegeven om VEM2022-behoeften te berekenen voor lacterende koeien, droogstaande drachtige koeien, pinken en kalveren. Daarnaast is in deze 2025 versie van CVB Documentatierapport nr. 79 een bijlage toegevoegd (Bijlage E) waarin toegelicht wordt hoe de verkorte VEM2022-behoeftenormen voor melkkoeien en jongvee in het CVB Tabellenboek Voeding Herkauwers 2025 tot stand zijn gekomen.

Wageningen Januari 2025

J.W. Spek

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
Lijst met afkortingen	6
1. Introductie	7
2. ME _{ond} en k _g van droogstaande guste HF koeien	8
3. ME _{ond} , k _l , k _g en k _t , van lacterende HF koeien.....	9
3.1 Introductie.....	9
3.2 Materiaal en Methoden	10
3.2.1 Dataset.....	10
3.2.2 Statistiek en berekeningen.....	12
3.3 Resultaten en Discussie	13
3.4 Conclusies	21
4. Effect van voeropnameniveau op ME-gehalte van rantsoenen	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Materiaal en Methoden	23
4.3 Resultaten en Discussie	25
4.3 Voorstel voor inschatten effect van voeropnameniveau op verteringsdepressie en ME-gehalten van voedermiddelen.....	31
4.4 Referenties dataset 1 en 2	34
5. Validatie geactualiseerde ME-behoeften op voederproefdata en berekenen van ME-behoefte voor beweging	39
5.1 Introductie.....	39
5.2 Materiaal en Methoden	40
5.3 Resultaten en Discussie	47
5.3.1 Verschillen tussen datasets voor lacterende dieren	54
5.3.2 Verschillen tussen modellen voor lacterende dieren (met correctie voor VN).....	55
5.3.3 Effect correctie voor VN voor lacterende dieren	55
5.3.4 Effect energietoeslag voor beweging voor lacterende dieren.....	56
5.3.5 Droogstaande dieren.....	56
5.4 Conclusies	57
6. ME-behoefte voor dracht	58
6.1 Inleiding	58
6.2 Materiaal en Methoden	58
6.3 Resultaten en Discussie	59
6.4 Voorstel.....	60
7. ME-behoefte voor beweiding	63
7.1 Introductie.....	63
7.2 Resultaten en Discussie	63
7.2.1 Tijdsbesteding koeien op stal en in de wei	63
7.2.2 Energiebehoefte voor beweiden t.o.v. stalgehuysveste dieren	65
7.3 Conclusies en aanbevelingen	70

8. Energiebehoefte voor negatieve energiebalans.....	71
8.1 Introductie.....	71
8.2 Materiaal en Methoden en Resultaten en Discussie.....	71
8.2.1 Gewichtsverlies als gevolg van energiemobilisatie	71
8.2.2 Hoeveelheid energie van gewichtsverlies.....	73
9. Vergelijking nieuwe en oude energiebehoeftenormen op berekende voeropname	78
9.1 Introductie.....	78
9.2 Materiaal en Methoden	78
9.3 Resultaten en discussie.....	79
10. Conversiefactor van kJ naar VEM	83
10.1 Introductie	83
10.2 Materiaal en Methoden	84
10.3 Resultaten, Discussie en Voorstel.....	85
Referenties.....	87
Bijlage A: Evaluatie van verschillen tussen gebruik van model 8 en model 9 (Hoofdstuk 3) op voorspelde ME _{opn} bij koeien met grote contrasten in melksamenstelling.....	91
Bijlage B: Relatie tussen fecale verteerbaarheid van RC en NDF.....	94
Bijlage C: Formule om q en k _i te berekenen uit FPCM productie	97
Bijlage D: Rekenvoorbeelden voor het berekenen van VEM2022-behoeften voor lacterende koeien, droogstaande drachtige koeien, pinken en kalveren	101
Bijlage E: Afleiding voor VEM2022 behoeftenormen voor melkkoeien in het “Tabellenboek Voeding Herkauwers”	106

Lijst met afkortingen

Afkringing	Verklaring	Eenheid
DS	Droge stof	
DSO	DS-opname	kg/d
HF	Holstein Friesian	
LG	Lichaamsgewicht	kg
BE	Bruto energie in voer	kJ
ME	Metaboliseerbare energie	kJ
ME _{opn}	ME opname	kJ/d
ME _{ond}	ME-behoefte voor onderhoud; = waarde voor a voor modellen 4, 5, 6, 8 en 9. Wordt voor modellen 2, 3 en 7 berekend als $-a / k_i$ per kg LG ^{0.75}	kJ/d/kg LG ^{0.75}
NE	Netto energie	
NEB	Negatieve energiebalans	kJ/d/kg LG ^{0.75}
ME _{opn}	Metaboliseerbare energieopname uit voer	kJ/d/kg LG ^{0.75}
E _L	energieoutput in melk	kJ/d/kg LG ^{0.75}
E _{L_VET}	Energieoutput in melkvet	kJ/d/kg LG ^{0.75}
E _{L_EIWIT}	Energieoutput in melkeiwit	kJ/d/kg LG ^{0.75}
E _{L_LACT}	$E_L - E_{L_VET} - E_{L_EIWIT}$	kJ/d/kg LG ^{0.75}
RET	Energie vastgelegd in lichaamsenergie	kJ/d/kg LG ^{0.75}
MOB	Gemobiliseerde energie uit lichaamsreserves	kJ/d/kg LG ^{0.75}
k _i	Efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie uit voer wordt omgezet in melk. Voor modellen 2 en 3 is dit gelijk aan B ₁ . Voor modellen 4 en 5 kan dit berekend worden als $1 / B_1$. Voor modellen 7 en 8 kan dit berekend worden als $B_8 + B_9 \times q$.	
k _g	Efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie uit voer wordt omgezet in lichaamsreserves (voornamelijk vetaanzet). Voor modellen 2 en 3 is dit berekend als $B_1 / -B_3$, voor modellen 4, 5 en 6 is dit berekend als $1 / B_3$	
k _t	Efficiëntie waarmee energie uit lichaamsreserves wordt omgezet in melk. Voor modellen 2 en 3 is k _t gelijk aan B ₂ . Voor modellen 4 en 5 is dit berekend als $-B_2 \times k_i$. Voor modellen 6 en 9 kan de k _t waarde niet zo makkelijk berekend worden.	
k _{L_vet}	Efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie uit voer wordt omgezet in melkvet. Wordt berekend als $1 / B_5$ voor model 5 en als $B_{10} + B_9 \times q$ voor model 9.	
k _{L_eiwit}	Efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie uit voer wordt omgezet in melkeiwit. Wordt berekend als $1 / B_6$ voor model 5 en als $B_{11} + B_9 \times q$ voor model 9.	
k _{L_lact}	Efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie uit voer wordt omgezet in voornamelijk lactose. Wordt berekend als $1 / B_7$ voor model 5 en als $B_{12} + B_9 \times q$ voor model 9.	
k _{preg}	efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie wordt omgezet in vrucht en vruchtvliezen	
q	ME : BE × 100	%
VN	Voeropnameniveau: berekend als ME _{opn} / ME _{ond}	

1. Introductie

In 1977 is het netto energiesysteem voor melk- en vleeskoeien geïntroduceerd in Nederland. Het systeem voor melkvee, bekend als het VEM-systeem, is een factorieel systeem en geeft energiebehoeftenormen weer voor onderhoud, groei, melkproductie en dracht. De basis voor dit VEM-systeem zijn proeven uitgevoerd in klimaatrespiratiekamers in de jaren 50 - 70 van de vorige eeuw. Ondertussen is de melkproductie van de koe sterk gestegen door genetische selectie. Deze genetische aanpassing van de dieren heeft mogelijk een effect op de energiebehoefte voor onderhoud en melkproductie. Op basis van recente wetenschappelijke literatuur en observaties uit de praktijk blijkt al langer dat de energiebehoefte voor onderhoud voor melkkoeien thans hoger ligt dan in het tot nu toe gebruikte VEM-systeem wordt verondersteld.

Om de energiebehoefte voor de moderne melkkoe te actualiseren is daarom een publiek-privaat samenwerkingsproject opgezet (PPS-project) met als private partij de stichting ZuivelNL. In dit PPS-project zijn data van in Wageningen uitgevoerde klimaatrespiratieproeven van de periode 2003 - 2018 verzameld en geanalyseerd. Op basis van deze data zijn energiebehoeften geschat voor onderhoud en melkproductie. Tevens zijn op basis van literatuurgegevens energiebehoeften geschat voor dracht en is een inschatting gemaakt van de extra energiebehoefte voor beweging van koeien in een ligboxenstal t.o.v. aangebonden koeien. Ook is de extra energiebehoefte voor beweiding als gevolg van een verhoogde activiteit t.o.v. dieren in een ligboxenstal geschat. De geactualiseerde energiebehoeften zijn grotendeels gebaseerd op data van Holstein Friesian melkkoeien.

Dit documentatierapport is het resultaat van een aantal afzonderlijke studies die zijn uitgevoerd in de periode 2018 - 2022 met als doel om het VEM-systeem te actualiseren. Deze studies hadden de volgende doelen:

1. Vaststellen van de ME_{ond} van droogstaande guste HF koeien o.b.v. een klimaatrespiratieproef. De resultaten van deze proef zijn beschreven in een apart openbaar Wageningen Livestock Research rapport (<https://edepot.wur.nl/506275>) (Hoofdstuk 2).
2. Vaststellen van ME_{ond} en de ME-behoefte voor melkproductie voor lacterende HF koeien o.b.v. een meta-analyse op een dataset van meerdere klimaatrespiratieproeven (Hoofdstuk 3)
3. Vaststellen van het effect van voeropnameniveau (VN) op ME-gehalten van rantsoenen (Hoofdstuk 4)
4. Vaststellen van de ME-behoefte voor beweging van koeien in een ligboxenstal t.o.v. aangebonden koeien o.b.v. voederproef data (Hoofdstuk 5)
5. Vaststellen van de ME-behoefte voor dracht o.b.v. een literatuurreview (Hoofdstuk 6)
6. Vaststellen van de ME-behoefte voor beweiding o.b.v. een literatuurreview (Hoofdstuk 7)
7. Vaststellen van de ME-behoefte voor een NEB (Hoofdstuk 8)
8. Vergelijken van oude en nieuwe energiebehoeftenormen (Hoofdstuk 9)
9. Vaststellen van een nieuwe conversiefactor voor de omrekening van energie uitgedrukt in kJ naar energie uitgedrukt in VEM (Hoofdstuk 10)

Omdat ME_{ond} gerelateerd is aan het lichaamsgewicht van de koe is het ook van belang om een idee te hebben van het gewicht van de hedendaagse koe. Daarom werd een dataset van HF koegewichten verzameld van een aantal bedrijven en geanalyseerd. De resultaten van deze analyse zijn beschreven in een afzonderlijk rapport (CVB, 2022a; CVB Documentatierapport nr. 78).

2. ME_{ond} en k_g van droogstaande guste HF koeien

Voor het vaststellen van de ME_{ond} van droogstaande guste koeien is een klimaatrespiratieproef uitgevoerd met zowel lacterende guste koeien als droogstaande guste koeien (Spek en Šebek, 2019). Het volledige verslag van deze proef is beschreven in een openbaar Wageningen Livestock Research rapport (<https://edepot.wur.nl/506275>), zodat hier volstaan wordt met een korte samenvatting en conclusie van deze proef.

In deze proef is het energiemetabolisme van 12 hoogproductieve dieren, 12 laagproductieve dieren en 12 droogstaande guste dieren gemeten.

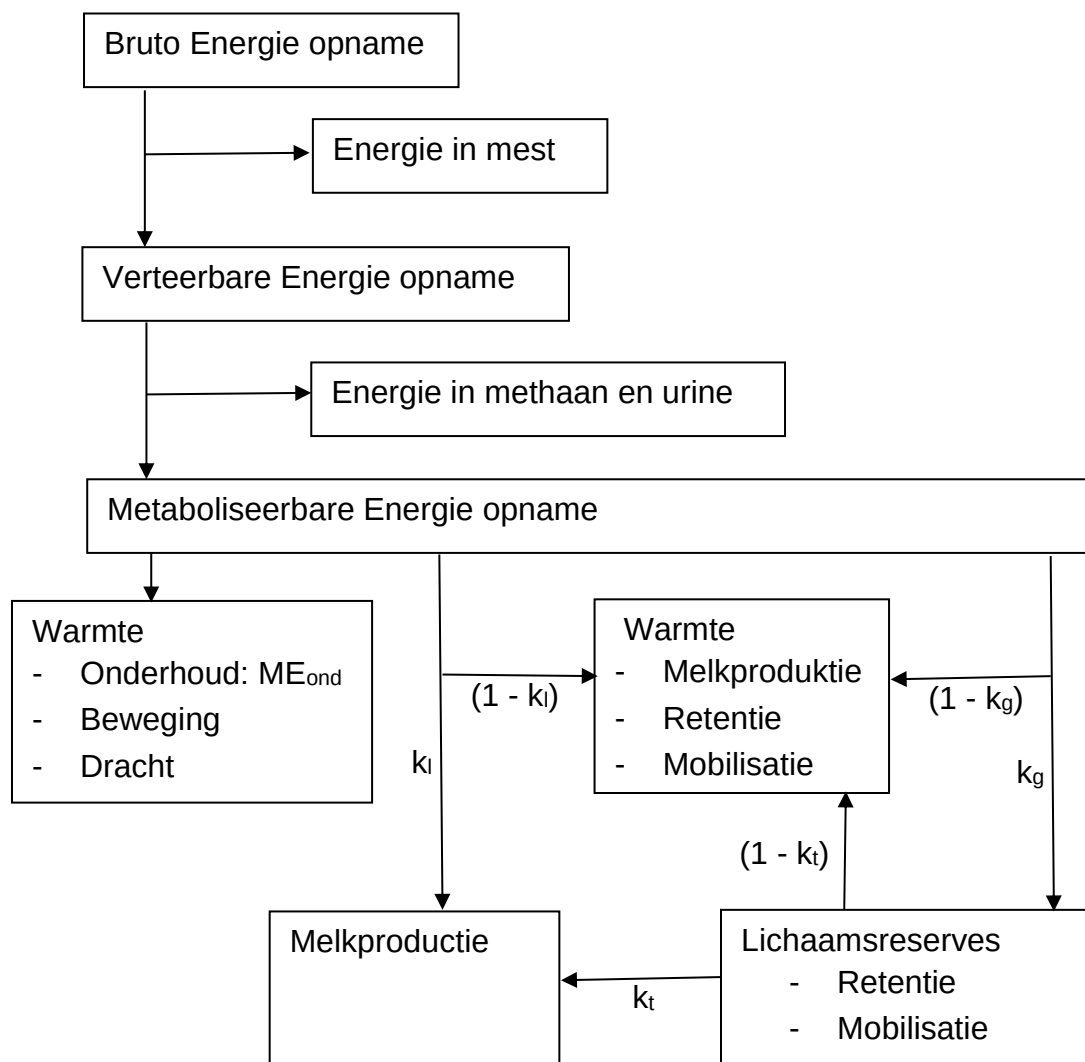
De in deze studie geschatte ME_{ond} bedroeg 566 kJ/d/kg LG^{0.75} voor de lacterende koeien en 614 kJ/d/kg LG^{0.75} voor de droogstaande guste koeien. De efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie werd omgezet in E_L was 0.634. Beide geschatte ME_{ond} waarden liggen substantieel hoger dan de ME_{ond} norm van het oude VEM-systeem van 488 kJ/d/kg LG^{0.75}, waarbij geen onderscheid gemaakt wordt tussen droogstaande en lacterende koeien. Op basis van deze studie wordt geconcludeerd dat de ME_{ond} voor droge en guste koeien hoger is dan voor lacterende koeien. De hypothese was echter dat de lacterende dieren een hogere ME_{ond} zouden hebben vanwege een groter aandeel aan organen (verteringsorganen en uier die veel energie verbruiken) per kg lichaamsgewicht dan droogstaande dieren. Het is onduidelijk waarom in de dataset van de studie van Spek en Šebek (2019) voor de droogstaande koeien een 9% hogere ME_{ond} behoefte werd geschat dan voor de lacterende koeien. Een verklaring kan zijn dat na het droogzetten processen in het uierweefsel in gang gezet worden, die energie vragen en dieren in deze periode ook gevoelig zijn voor ontstekingen in het melkweefsel (Nickerson, 1989). Uit een publicatie van Capuco en Akers (1999) blijkt dat het aantal melkkliercellen tijdens de droogstand nauwelijks afneemt en dit zou kunnen betekenen dat de energiekosten voor involutie meevallen. Echter, wat de energiekosten van involutie van uierweefsel zijn, is onduidelijk. Een tweede verklaring is de mogelijkheid dat droogstaande dieren minder niet-lichaam-gerelateerde massa bevat (zoals digesta, urine en melk).

Gekoppeld aan de geschatte ME_{ond} van 614 kJ/d/kg LG^{0.75} voor de droogstaande guste koeien werd een k_g van 0.565 geschat. Deze waarde komt goed overeen met de door Moe et al. (1980) geschatte efficiëntie van 0.60 voor droogstaande koeien.

3. ME_{ond} , k_l , k_g en k_t , van lacterende HF koeien

3.1 Introductie

Om de ME_{ond} en de energiebehoefte voor melkproductie te kunnen vaststellen is het nodig om inzicht te hebben in de efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in melk (k_l), groei (k_g ; voornamelijk lichaamsvet) en van de efficiëntie waarmee lichaamsreserves (voornamelijk vet) bij een koe in een negatieve energiebalans worden omgezet in melk (k_t). In Fig. 1 is een overzicht gegeven van alle energiestromen en efficiëntiefactoren die van belang zijn bij het vaststellen van de energiebehoefte voor onderhoud en melkproductie. Voor het schatten van de ME_{ond} van lacterende koeien en de bijbehorende efficiëntiefactoren k_l , k_g en k_t van lacterende koeien is gebruik gemaakt van een dataset van meerdere recent (2004 – 2018) uitgevoerde klimaatrespiratieproeven in Wageningen.



Figuur 1. Overzicht van energiestromen (pijlen) die gemeten of geschat zijn voor het vaststellen van behoeftenormen voor onderhoud en melkproductie. k_g = efficiëntie waarmee ME uit voer wordt vastgelegd in lichaamsreserves (groei); k_t = de efficiëntie waarmee gemobiliseerde lichaamsreserves worden gebruikt voor melkproductie; k_l = efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in melk.

3.2 Materiaal en Methoden

3.2.1 Dataset

Een dataset met 11 klimaatrespiratieproeven uitgevoerd in de periode 2004 – 2018 in de klimaatrespiratiecellen in Wageningen werd samengesteld (Van Knegsel et al., 2007; Pellikaan et al., 2014 (niet gepubliceerd); Van Gastelen et al., 2015; Hatew et al., 2015; Warner et al., 2015; Huyen et al., 2016; Van Gastelen et al., 2017; Hatew et al., 2016; Warner et al., 2016; Warner et al., 2017; Spek et al., 2019). Een samenvatting van deze dataset is gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Samenvatting van de meta-analysedataset van 11 respiratieproeven.

	N ¹	Gemiddelde	St. dev.	Min.	Max.
Diergegevens					
LG ^{0.75} (kg) ²	324	122.3	9.11	101.0	152.8
Pariteit	324	2.8	1.24	1.0	7.0
Dagen in lactatie	324	155	84.6	7.0	512
DSO (kg/d) ³	324	17.3	3.21	9.1	26.3
Melkproductie (kg)	324	27.1	8.35	7.1	45.3
Melkvet (%)	324	4.60	0.670	2.58	6.65
Melkeiwit (%)	324	3.32	0.368	2.61	4.87
Melklactose (%)	324	4.55	0.254	2.89	5.02
Rantsoengegevens (in g/kg DS tenzij anders weergegeven)					
RAS	324	78	11.8	53	109
RE	324	173	33.1	81	252
RVET	324	36	10.7	20	59
NDF	324	383	46.8	304	508
Zetmeel	324	133	80.4	5	326
Suiker	324	76	51.7	23	269
BE (MJ/kg DS) ⁴	324	18.7	0.38	17.6	19.5
q (ME:BE × 100)	324	63.6	4.46	47.3	74.6
Fecale verteerbaarheden (%)					
OS	250	75.7	4.83	62.0	87.0
RVET	274	67.0	9.25	32.2	89.9
RE	250	70.3	7.35	41.9	84.0
NDF	274	68.4	10.00	38.5	89.7
ZETam	274	94.6	11.98	7.5	99.3
BE	300	73.4	5.00	58.6	85.0
Energiestromen (kJ/d/kg LG^{0.75})					
BE	324	2664	529.0	1462	4074
ME ⁵	324	1691	327.5	861	2523
FE ⁶	300	1916	356.2	1019	2844
Melk	324	733	223.2	208	1292
Retentie	324	30	183.7	-805	746
Warmte	324	928	127.0	646	1237
CH ₄	324	167	24.6	110	261

¹Aantallen zijn individuele koe-balans perioden.

²metabool lichaamsgewicht; ³drogestofopname; ⁴bruto energie; ⁵metaboliseerbare energie; ⁶fecaal verteerbare energie.

Bij het schatten van energiebehoeften voor onderhoud en melkproductie dient gecorrigeerd te worden voor de energiebehoefte voor dracht. Het bleek ondoenlijk om voor alle dieren in deze meta-analyse vast te stellen of de dieren tijdens het meten in de klimaatrespiratiecellen drachtig waren en zo ja, hoever de dieren in de dracht waren. Uit onderzoek van Jakobsen et al. (1957) en Moe en Tyrrell (1972) blijkt dat de energiebehoefte voor dracht gering is beneden de 30 weken dracht en dat de energiebehoefte voor dracht sterk toeneemt na 30 weken dracht. Om het verstorende effect van de energiebehoefte voor dracht op de schattingen voor energiebehoefte voor onderhoud en melkproductie te voorkomen is ervoor

gekozen om dieren (waarvan onduidelijk was of ze gуст waren tijdens de meetperiode) met meer dan 294 dagen in lactatie als uitbijters te beschouwen bij het schatten van de energiebehoeften. Een grens van 294 dagen is tot stand gekomen door aan te nemen dat dieren een minimale tussenkalftijd van 365 dagen hebben. Deze aanname betekent dat dieren minimaal 294 dagen in lactatie zijn voordat de grens van 30 weken dracht bereikt is. Dit resulteerde erin dat 32 observaties niet werden meegenomen in de statistische analyses. Van de 356 observaties waren er 67 observaties van dieren met een pensfistel. Het is mogelijk dat een pensfistel invloed heeft op de energiebehoefte van dieren. Echter, uit regressie van residuals, op de dummy variabele 'pensfistel' bleek dit niet het geval te zijn. Ook bleek het effect van de dummy variabele 'pensfistel' in het model zelf niet significant. Daarom is ervoor gekozen om ook de observaties van dieren met een pensfistel mee te nemen.

3.2.2 Statistiek en berekeningen

Er zijn een aantal formules ontwikkeld om warmteproductie te schatten waarbij de warmteproductie al of niet wordt gecorrigeerd voor stikstofverliezen in urine en voor methaanproductie. In deze meta-analyse is warmteproductie in de KRC als volgt berekend:

Warmteproductie (kJ/d) = $16.18 \times O_2 \text{ (L/d)} + 5.02 \times CO_2 \text{ (L/d)} - 2.17 \times CH_4 \text{ (L/d)}$ (formule van Brouwer, 1965 in Gerrits et al. (2015)).

In de literatuur worden verschillende modellen gebruikt voor het schatten van de energiebehoeftenormen van koeien waarbij in sommige modellen ME_{opn} als onafhankelijke variabele (y) wordt onderzocht en in andere gevallen E_L als onafhankelijk variabele (y) wordt onderzocht. Verschillen tussen modellen kunnen leiden tot verschillen in geschatte behoeftenormen en kan het mogelijk zijn dat één type model beter in staat is om de behoeftenormen te schatten dan een ander type model. Daarom is er in deze studie voor gekozen om verschillende modellen met elkaar te vergelijken. In onze studie werden 9 modellen met elkaar vergeleken, waarbij rekening werd gehouden met random effecten voor studie en voor koe. Er werden geen random effecten voor de verschillende coëfficiënten opgenomen omdat dit in een aantal gevallen niet bleek te convergeren. Onderstaande modellen zijn gefit met de MIXED procedure van SAS.

Model 1.

Dit model is gebruikt door Van Es (1975) bij de ontwikkeling van het VEM-systeem:

$$E_L = -293 + 0.60 \times ME_{opn} - RET + 0.8 \times MOB + \text{studie} + \text{koe(studie)} + \text{error}$$

Model 2.

$$E_L = a + B_1 \times ME_{opn} + B_2 \times MOB + B_3 \times RET + \text{studie} + \text{koe(studie)} + \text{error}$$

Model 3.

$$E_L = a + B_1 \times ME_{opn} + B_2 \times MOB + B_3 \times RET + B_4 \times q + \text{studie} + \text{koe(studie)} + \text{error}$$

Model 4.

$$ME_{opn} = a + B_1 \times E_L + B_2 \times MOB + B_3 \times RET + \text{studie} + \text{koe(studie)} + \text{error}$$

Model 5.

$$ME_{\text{opn}} = a + B_1 \times E_L + B_2 \times \text{MOB} + B_3 \times \text{RET} + B_4 \times q + \text{studie} + \text{koe}(\text{studie}) + \text{error}$$

Model 6.

$$ME_{\text{opn}} = a + B_2 \times \text{MOB} + B_3 \times \text{RET} + B_5 \times E_{L_VET} + B_6 \times E_{L_EIWIT} + B_7 \times E_{L_REST} + B_4 \times q + \text{studie} + \text{koe}(\text{studie}) + \text{error}$$

Model 7.

$$E_L = a + (ME_{\text{opn}} - \text{RET} / k_g) / (B_8 + B_9 \times q) + \text{MOB} / k_t + \text{studie} + \text{error}$$

Model 8.

$$ME_{\text{opn}} = a + (E_L - k_t \times \text{MOB}) / (B_8 + B_9 \times q) + \text{RET} / k_g + \text{studie} + \text{error}$$

Model 9.

$$ME_{\text{opn}} = a + E_{L_VET} / (B_{10} + B_9 \times q) + E_{L_EIWIT} / (B_{11} + B_9 \times q) + E_{L_REST} / (B_{12} + B_9 \times q) + \text{RET} / k_g - B_2 \times \text{MOB} + \text{studie} + \text{error}$$

Modellen 2 tot 6 werden gefit met de MIXED procedure en modellen 7 tot 9 met de NLMIXED procedure van SAS 9.4. Daarbij is 'a' een interceptwaarde en zijn $B_1 - B_{12}$ regressiecoëfficiënten voor de verschillende verklarende variabelen.

De modellen 7, 8 en 9 werden onderzocht omdat bij deze de parameter q wordt meegenomen als een parameter die k_t waarden beïnvloedt terwijl de parameter q in modellen 3, 5 en 6 als een variabele op zichzelf staat. Het voordeel om k_t afhankelijk te laten zijn van q is dat dan op voedermiddelniveau gecorrigeerd kan worden voor q . Modellen 7 - 9 bleken echter niet tot convergentie te kunnen komen in het geval zowel studie als koe effect als random effecten werden meegenomen, wat kon opgelost worden door weglaten van het random koe-effect. Om uitkomsten van modellen 1 – 6 te kunnen vergelijken met modellen 7 – 9 is er ook voor gekozen om modellen 1 – 6 te fitten zonder random koe-effect (in Tabel 5 weergegeven als modellen 1a tot en met 6a). Ook is gekeken in hoeverre de parameter q het beste gerelateerd kon worden aan de individuele efficiënties waarmee ME wordt omgezet in melkvet, melkeiwit en melklactose, maar er bleek geen duidelijke modelfitverbetering te zijn door dit onderscheid te maken. Daarom is ervoor gekozen om het effect van q te schatten op de combinaties van melkvet, melkeiwit en melklactose. De ervaring leert dat, i.t.t. de MIXED procedure, de NLMIXED procedure minder makkelijk tot een oplossing komt en gevoelig is voor startwaarden die meegegeven worden. Voor modellen 7 – 9 werd echter toch de NLMIXED procedure gebruikt omdat de MIXED procedure de flexibiliteit mist om de efficiëntie waarmee ME wordt omgezet in melk afhankelijk te stellen van q terwijl de NLMIXED procedure deze flexibiliteit wel heeft.

3.3 Resultaten en Discussie

In Tabel 2 zijn de resultaten voor het fitten van modellen 1 – 6 voor alle observaties weergegeven. Omdat de efficiëntiefactoren k_l , k_g , k_t , k_{l_vet} , k_{l_eiwit} en k_{l_lact} in een aantal modellen niet rechtstreeks af te lezen zijn uit de modelresultaten maar deze berekend moeten worden uit de schattingswaarden van de modellen zijn deze overzichtelijk weergegeven in Tabel 6.

Uit Tabel 6 blijkt dat er k_g waarden geschat werden van rond de 1.0, wat vanuit een fysiologisch perspectief veel te hoog is. Daarom werden observaties met studentized residuals groter dan 2.5 of kleiner dan -2.5 o.b.v. model 6 als uitbijters beschouwd en werden vervolgens modellen 2 – 6 opnieuw gefit, zie Tabel 3. Uit Tabel 6 blijkt dat na het weglaten van de uitbijters ($n=8$) de k_g waarden lager worden en fysiologisch gezien ook realistischer zijn en aansluiten bij waarden uit de literatuur (zoals de studie van Strathe et al. (2011) waar k_g waarden van 0.86 – 0.88 werden geschat).

De resultaten van modellen 1a – 6a (zelfde modellen als modellen 1 – 6 maar zonder random koe effect) zijn weergegeven in Tabel 4. Modellen 3, 5 en 6 zijn gefit met de factor q als een op zichzelf staande parameter. Om op voedermiddelniveau te kunnen corrigeren voor het effect van q op de energiebehoefte voor onderhoud en melkproductie is er voor gekozen om modellen 7 – 9 te fitten waarin q de efficiëntie waarmee ME in melk omzet beïnvloedt. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 5.

Er werd een verbeterde modelfit gevonden (o.b.v. AIC waarde) als de factor q werd toegevoegd in het model (vergelijk model 3 vs. model 2 en model 5 vs. model 4) en als aparte efficiënties werden geschat voor de omzetting van metabool beschikbare energie uit voer in melkvet, melkeiwit en de melkrestfractie (voornamelijk bestaand uit lactose) (vergelijk model 6 vs. model 5 en model 9 vs. model 8). Een fysiologische verklaring waarom een toename van q in het rantsoen resulteert in een verlaging van ME_{ond} kan zijn dat rantsoenen met een lage q -waarde ruwvoerrijke rantsoenen zijn, waarbij er relatief veel energie nodig is voor herkauwbewegingen en contracties van de pens en netmaag.

Tabel 2. Modeluitkomsten voor het schatten van de energieoutput in melk (E_L ; kJ/d/kg LG^{0.75}) (modellen 1 tot en met 3) en van de metaboliseerbare energie opname uit voer (ME_{opn} ; kJ/d/kg LG^{0.75}) (modellen 4 tot en met 6) voor alle observaties.

Model	1 Van Es (1975)	2	3		4	5	6
N	324	324	324		324	324	324
a	-293	-321±17.4	-533±46.0		587±20.5	858±70.6	762±70.4
B ₁	0.60	0.629±0.0094	0.622±0.0092		1.483±0.0222	1.503±0.0223	
B ₂	0.80	0.741±0.0212	0.775±0.0216		-1.175±0.0278	-1.228±0.0304	-1.197±0.0295
B ₃	-1	-0.642±0.0222	-0.689±0.0234		0.999±0.0326	1.069±0.0362	0.999±0.0372
B ₄			3.61±0.726			-4.60±1.146	-3.20±1.139
B ₅							1.161±0.0764
B ₆							2.585±0.2107
B ₇							1.333±0.07338
R ²	0.981	0.984	0.985		0.984	0.985	0.987
Intercept	-37±6.5	-3±5.4	-3±5.2		-9±12.1	-8±12.1	-8±11.0
Helling	1.05±0.008	1.00±0.007	1.00±0.007		1.01±0.007	1.00±0.007	1.00±0.006
AIC ¹	3449	3271	3246		3545	3527	3505
Studie-effect variatie	1120	596	633		1523	1501	1135
Koe-effect variatie	1004	288	247		799	707	805
Restvariatie	1370	989	934		2229	2171	1916

¹Akaike informatie criterium. Een kleinere waarde betekent een beter model. De AIC waarden van de modellen kunnen alleen met elkaar vergeleken worden als het aantal observaties en de afhankelijke variabele hetzelfde zijn (dus alleen modellen 1 tot en met 3 kunnen en de modellen 4 tot en met 6).

Tabel 3. Modeluitkomsten voor het schatten van de energieoutput in melk (E_L ; kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (modellen 1 tot en met 3) en van de metaboliseerbare energie opname uit voer (ME_{opn} ; kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (modellen 4 tot en met 6) waarbij observaties met studentized residuals groter dan 2.5 of kleiner dan -2.5 (o.b.v. model 6) werden weggelaten.

Model	1	2	3		4	5	6
N	316	316	316		316	316	316
a	-293	-331±17.1	-556±42.7		586±20.0	885±64.7	793±63.9
B ₁	0.60	0.640±0.0091	0.632±0.0089		1.469±0.0211	1.491±0.0210	
B ₂		0.739±0.0185	0.768±0.0182		-1.157±0.0224	-1.207±0.0234	-1.184±0.0227
B ₃		-0.716±0.0225	-0.768±0.0232		1.100±0.0327	1.182±0.0357	1.110±0.0366
B ₄			3.83±0.673			-5.07±1.051	-3.77±1.034
B ₅							1.186±0.0654
B ₆							2.518±0.1815
B ₇							1.306±0.0610
R ²	0.991	0.993	0.994		0.993	0.994	0.995
Intercept	-34±4.6	-3±3.7	-3±3.3		-9±8.2	-8±7.5	-7±6.9
Helling	1.04±0.006	1.00±0.005	1.00±0.004		1.01±0.005	1.00±0.004	1.00±0.004
AIC ¹	3249	3134	3102		3393	3369	3342
Studie-effect variatie	908	599	600		1596	1494	1132
Koe-effect variatie	803	528	531		1320	1337	1284
Restvariatie	880	602	510		1300	1145	1012

¹Akaike informatie criterium. Een kleinere waarde betekent een beter model. De AIC waarden van de modellen kunnen alleen met elkaar vergeleken worden als het aantal observaties en de afhankelijke variabele hetzelfde zijn (dus alleen modellen 1 tot en met 3 en de modellen 4 tot en met 6).

Tabel 4. Modeluitkomsten voor het schatten van de energieoutput in melk (E_L ; kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (modellen 1a tot en met 3a) en van de metaboliseerbare energie opname uit voer (ME_{opn} ; kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (modellen 4a tot en met 6a) waarbij observaties met studentized residuals groter dan 2.5 of kleiner dan -2.5 (o.b.v. model 6) werden weggelaten en waarbij geen random koe effect is opgenomen.

Model	1a	2a	3a		4a	5a	6a
N	316	316	316		316	316	316
a	-293	-326±16.8	-546±43.1		580±19.8	868±65.7	779±65.9
B ₁	0.60	0.636±0.0090	0.628±0.0087		1.480±0.0210	1.502±0.0209	
B ₂		0.739±0.0211	0.776±0.0213		-1.156±0.0287	-1.217±0.0309	-1.189±0.0307
B ₃		-0.702±0.0235	-0.751±0.0242		1.085±0.0345	1.162±0.0375	1.092±0.0391
B ₄			3.74±0.680			-4.88±1.067	-3.56±1.068
B ₅							1.208±0.0718
B ₆							2.463±0.199
B ₇							1.326±0.0744
R ²	0.971	0.979	0.981		0.976	0.978	0.979
Intercept	-43±8.2	0±6.4	-0±6.1		-1±15.1	-1±14.6	-1±14.1
Helling	1.06±0.010	1.00±0.008	1.00±0.008		1.00±0.009	1.00±0.009	1.00±0.008
AIC ¹	3259	3156	3126		3419	3396	3378
Studie-effect variatie	1411	605	609		1573	1495	1141
Restvariatie	1561	1111	1013		2578	2423	2281

¹Akaike informatie criterium. Een kleinere waarde betekent een beter model. De AIC waarden van de modellen kunnen alleen met elkaar vergeleken worden in het geval het aantal observaties en de afhankelijke variabele hetzelfde zijn (dus alleen modellen 1a tot en met 3a en modellen 4a tot en met 6a).

Tabel 5. Modeluitkomsten voor het schatten van de energieoutput in melk (E_L ; kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (model 7) en van de metaboliseerbare energie opname uit voer (ME_{opn} ; kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (modellen 8 en 9) waarbij observaties met studentized residuals groter dan 2.5 of kleiner dan -2.5 (o.b.v. model 6) werden weggelaten en waarbij geen random koe effect is opgenomen.

Model	7	8	9
N	316	316	316
a	-314±16.2	562±19.1	557±17.8
B ₈	0.460±0.0317	0.405±0.0469	
B ₉	0.00270±0.000470	0.00418±0.000734	0.00241±0.000670
k _g	0.833±0.0259	0.851±0.0262	0.913±0.0316
k _t	0.773±0.0207	0.807±0.0204	
B ₂			-1.210±0.0326
B ₁₀			0.663±0.0774
B ₁₁			0.268±0.0402
B ₁₂			0.595±0.0645
R ²	0.981	0.979	0.980
Intercept	-0±6.0	-1±14.3	-1±14.0
Helling	1.00±0.008	1.00±0.008	1.00±0.008
AIC ¹	3120	3388	3376
Studie-effect variatie	586	1431	1034
Restvariatie	988	2305	2209

¹Akaike informatie criterium. Een kleinere waarde betekent een beter model. De AIC waarden van de modellen kunnen alleen met elkaar vergeleken worden in het geval het aantal observaties en de afhankelijke variabele hetzelfde zijn (dus alleen modellen 8 en 9).

Tabel 6. Overzicht van geschatte ME_{ond}^1 en efficiëntiefactoren voor de verschillende modellen.

	Model (alle observaties)						Model (exclusief uitbijters)				
	2	3	4	5	6		2	3	4	5	6
ME_{ond}^1	510	488	587	565	558		517	494	586	563	553
k_l^2	0.63	0.62	0.67	0.67	0.66		0.64	0.63	0.68	0.67	0.66
k_g^3	0.98	0.90	1.00	0.94	1.00		0.89	0.82	0.91	0.85	0.90
k_t^4	0.74	0.78	0.79	0.82	0.79		0.74	0.77	0.79	0.81	0.78
$k_{l_vet}^5$					0.86						0.84
$k_{l_eiwit}^6$					0.39						0.40
$k_{l_lact}^7$					0.75						0.77

	Model (exclusief uitbijters)							
	2a	3a	4a	5a	6a	7	8	9
ME_{ond}^1	513	491	580	558	553	497	562	557
k_l^2	0.64	0.63	0.68	0.67	0.66	0.63	0.66	0.66
k_g^3	0.91	0.84	0.92	0.86	0.92	0.83	0.85	0.91
k_t^4	0.74	0.78	0.78	0.81	0.78	0.77	0.81	0.80
$k_{l_vet}^5$					0.83			0.82
$k_{l_eiwit}^6$					0.41			0.42
$k_{l_lact}^7$					0.75			0.75

¹ ME_{ond} = metaboliseerbare energiebehoefte voor onderhoud (kJ/d/kg $LG^{0.75}$). Voor modellen 2 en 3 is dit berekend als a/B_1

² k_l = efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in melk. Voor modellen 3, 4 en 5 is dit berekend als $1/B_1$; voor modellen 7 en 8 als $b + B_9 \times q$; voor modellen 6 en 9 is dit berekend door de gemiddelde berekende energie excretie in melkvet, melkeiwit en de restfractie te delen door de efficiëntiefactoren voor deze melkcomponenten en vervolgens de berekende ME-excreties van deze melkcomponenten bij elkaar op te tellen waarna de gemiddelde energie excretie in melk gedeeld wordt door de berekende ME excretie in melk.

³ k_g = efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in lichaamsreserves (voornamelijk vetaanzet). Voor modellen 2 en 3 is dit berekend als B_1/B_3 , voor modellen 4, 5 en 6 als $1/B_3$

⁴ k_t = efficiëntie waarmee energie uit lichaamsreserves wordt omgezet in melk. Voor modellen 4, 5 en 6 is dit berekend als $-B_2 \times k_l$

⁵ k_{l_vet} = efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in melkvet. Voor model 6 is dit berekend als $1 / B_5$ en voor model 9 als $B_{10} + B_9 \times q$.

⁶ k_{l_eiwit} = efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in melkeiwit. Voor model 6 is dit berekend als $1 / B_6$ en voor model 9 als $B_{11} + B_9 \times q$.

⁷ k_{l_lact} = efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in voornamelijk lactose. Voor model 6 is dit berekend als $1 / B_7$ en voor model 9 als $B_{12} + B_9 \times q$.

Uit een vergelijking van de AIC waarden tussen model 3a vs. 7, model 5a vs. 8 en model 6a vs. 9 blijkt dat het opnemen van q als een variabele, die k_i beïnvloedt, resulteert in een licht verbeterde modelfit t.o.v. modellen waar q als een variabele op zichzelf is opgenomen. Dit is een extra argument (naast het al eerder genoemde argument dat het gewenst is om het effect van q mee te nemen in het berekenen van energiewaarden van individuele voedermiddelen) om modellen 7 – 9 als geschiktere kandidaatmodellen te beschouwen voor gebruik in een geactualiseerd VEM-systeem dan modellen 3, 5 of 6.

De geschatte ME_{ond} waarde voor lacterende dieren van 565 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ in de studie van Spek en Šebek (2019) komt goed overeen met de geschatte ME_{ond} waarden van de modellen met ME_{opn} als afhankelijke variabele in deze studie (modellen 4, 5, 6, 8 en 9) variërend van 553 (model 6) tot 580 (model 4) kJ/d/kg $LG^{0.75}$. In deze meta-analyse zijn de data van de droogstaande dieren uit de studie van Spek en Šebek (2019) niet meegenomen vanwege de grote verschillen tussen droge en lacterende koeien m.b.t. ME_{ond} . De ME_{ond} van de droogstaande dieren in de studie van Spek en Šebek (2019) werd geschat op 614 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ en bleek 9% hoger te liggen dan de geschatte ME_{ond} waarden van dezelfde dieren toen deze nog in lactatie waren nl. 565 kJ/d/kg $LG^{0.75}$. Een mogelijk verklaring voor dit verschil is dat na het droogzetten processen in het uierweefsel in gang gezet worden die energie vragen en dieren in deze periode ook gevoelig zijn voor ontstekingen in het melkweefsel (Nickerson 1989). Uit een publicatie van Capuco en Akers (1999) blijkt dat het aantal melkkliercellen tijdens de droogstand nauwelijks afneemt, wat zou kunnen betekenen dat de energiekosten voor involutie meevallen. Het is echter onduidelijk wat de energiekosten van involutie van uierweefsel zijn. Een tweede verklaring is dat droogstaande dieren minder niet-lichaam-gerelateerde massa bevat (zoals digesta, urine en melk). Uit het doorrekenen van de effecten van modellen 2 tot en met 9 op voorspelde ME-behoeften voor onderhoud en melkproductie blijkt verder dat in de productierange van 20 tot 50 kg melk per dag de verschillen tussen de modellen verwaarloosbaar klein zijn. De verschillen zitten met name in het traject tussen 0 en 20 kg melkproductie per dag.

Modellen 1, 2, 3, 7 en modellen 4, 5, 6, 8, 9 verschillen van elkaar m.b.t. de afhankelijke variabele (E_L of ME_{opn}) en kunnen daarom niet direct met elkaar vergeleken worden. Om ze toch met elkaar te vergelijken is er voor gekozen om voor alle observaties in de dataset exclusief uitbijterwaarden ($n=316$) de ME_{opn} van alle 9 modellen (modellen verkregen op de dataset zonder uitbijters) te schatten en deze uit te zetten tegen de waargenomen ME_{opn} (Tabel 7).

Tabel 7. Relatie tussen waargenomen ME_{opn} (kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (y) en geschatte ME_{opn} (kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (x) voor de gehele dataset o.b.v. modeluitkomsten van modellen 1 - 9. De geschatte ME_{opn} zijn gebaseerd op de dataset exclusief uitbijters (N=316).

Model	Afhank. variabele in model	Intercept	helling	RMSE **	RMSE %**	R ²
1	E_L	126±18.7	0.903±0.0107	66.4	3.94	0.958
2	E_L	54±18.2	0.969±0.0106	61.7	3.67	0.964
3	E_L	72±17.6	0.959±0.0103	60.6	3.60	0.965
4	ME_{opn}	-35±19.2	1.022±0.0112	61.9	3.68	0.964
5	ME_{opn}	-18±18.4	1.014±0.0108	59.9	3.56	0.966
6	ME_{opn}	-15±17.1	1.011±0.0100	55.9	3.32	0.970
7	E_L	74±17.7	0.954±0.0103	60.8	3.61	0.960
8	ME_{opn}	-1±18.2	1.001±0.0106	59.9	3.56	0.966
9	ME_{opn}	-10±17.1	1.005±0.0100	56.2	3.34	0.970

*RMSE = Root mean square error. RMSE% = Root mean square error als percentage van de gemiddelde ME_{opn} .

Uit Tabel 7 blijkt dat de modellen met E_L als afhankelijke (y)-variabele (modellen 1, 2, 3 en 7) resulteren in hogere positieve interceptwaarden en lagere hellingswaarden in vergelijking met modellen met ME_{opn} als afhankelijke variabele (modellen 4, 5, 6, 8 en 9). Dit betekent dat modellen met E_L als afhankelijke variabele de ME-behoefte bij droogstand en zeer lage melkproducties onderschatten.

Dit betekent verder dat modellen met ME_{opn} als afhankelijke variabele (modellen 4, 5, 6, 8 en 9) beter geschikt zijn om de ME-behoefte van HF melkkoeien te schatten over een brede range van voeropnameniveaus dan de modellen met E_L als afhankelijke variabele. Deze bevinding komt ook overeen met het feit dat de geschatte ME_{ond} behoeften van de modellen met ME_{opn} als afhankelijke variabele substantieel hoger liggen dan de geschatte ME_{ond} behoeften van de modellen met E_L als afhankelijke variabele én dat deze geschatte ME_{ond} waarden van modellen met ME_{opn} als afhankelijke variabele beter overeenstemmen met de geschatte ME_{ond} behoefte van droogstaande koeien van 614 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ uit het rapport van Spek en Šebek (2019).

Resultaten uit Tabel 7 laten verder zien dat bij de modellen met ME_{opn} als afhankelijke variabele het toekennen van aparte efficiëntiefactoren voor energie in melkvet, melkeiwit en een restfractie (modellen 6 en 9) leidt tot een betere modelfit in vergelijking met modellen waarin voor energie in melk slechts één efficiëntiefactor wordt gebruikt (modellen 5 en 8). Echter, in het geval een aantal scenario's met verschillende vet : eiwit ratio's in melk bij verschillende melkproducties worden doorgerekend met modellen 8 en 9 (Bijlage A) dan blijken de berekende VEM behoeften nauwelijks van elkaar te verschillen.

3.4 Conclusies

De volgende conclusies worden getrokken:

1. De modellen 2, 3 en 7 kunnen de variatie in energie-excretie in melk en de modellen 4, 5, 6, 8 en 9 kunnen de variatie in ME-opname zeer goed voorspellen.
2. Op basis van de gehele dataset werden zeer hoge k_g waarden gevonden. Het weglaten van observaties met studentized residuals groter dan 2.5 of kleiner dan -2.5 resulteerde in geschatte k_g waarden die realistischer zijn.

3. De verschillen tussen modellen 2 – 9 in voorspelde ME-behoeften voor onderhoud en melkproductie zijn verwaarloosbaar in de productierange van 20 tot 50 kg melk/dag.
4. Gebruik van uitkomsten van modellen 4, 5, 6, 8 en 9 (met ME_{opn} als afhankelijke variabele) resulteert in minder bias m.b.t. het schatten van ME-opname dan gebruik van modellen 1, 2, 3 en 7 (met E_L als afhankelijke variabele).
5. Gebruik van modellen 4, 5, 6, 8 en 9 resulteert in geschatte ME_{ond} behoeften die beter aansluiten bij de geschatte ME_{ond} behoefte van 614 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ voor droge koeien in de studie van Spek en Šebek (2019) dan de ME_{ond} behoefte afgeleid door van Es (1975).
6. Het opnemen van de parameter q resulteert in een betere modelfit, zowel als een op zichzelf staande parameter als een parameter, die de efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in melk beïnvloedt.
7. Modellen 6 en 9 resulteren in de beste modelfit, waarbij model 9 het meest geschikt is om toegepast te worden in een geactualiseerd VEM-systeem doordat dan het effect van q op voedermiddelniveau verrekend kan worden.
8. Echter, de meerwaarde van een nauwkeuriger voorspelling bij gebruik van een complexer model (model 9 t.o.v. model 8) weegt niet op tegen de extra complexiteit van het model zoals blijkt uit enkele scenarioberekeningen (zie Bijlage 4).
9. De eindconclusie is dat model 8 het meest optimale model is voor het voorspellen van de ME-behoefte van lacterende melkkoeien. De uitkomsten van model 8 zijn als volgt:
 - a. ME-behoefte voor onderhoud is 562 kJ/d/kg $LG^{0.75}$
 - b. Conversie efficiëntie van ME naar melk (k_l) is $0.405 + 0.00418 \times q$
 - c. Conversie efficiëntie van ME naar lichaamsreserves (k_g) is 0.851
 - d. Conversie efficiëntie van lichaamsreserves naar melk (k_l) is 0.807.

4. Effect van voeropnameniveau op ME-gehalte van rantsoenen

4.1 Inleiding

De gehalten van fecaal verteerbare nutriënten van voedermiddelen voor herkauwers in de CVB matrix zijn gebaseerd op verteringsonderzoek met hamels gevoerd op onderhoudsniveau. Deze fecaal verteerbare nutriëntgehalten van individuele voedermiddelen zoals fecaal verteerbare organische stof (VOS), fecaal verteerbaar ruw vet (VRVET), fecaal verteerbaar RE (VRE), fecaal verteerbaar RC (VRC) en fecaal verteerbare overige koolhydraten (VOK) worden gebruikt in een generieke formule voor het berekenen van de energiegehalten van voedermiddelen.

In meerdere voederwaarderingsystemen voor herkauwers wordt aangenomen dat bij een toename van VN de fecale verteerbaarheid van het rantsoen omlaag gaat. Deze verteringsdepressie is ook geconstateerd in de studie van Van Es (1975) en vervolgens verwerkt in het tot nu toe gebruikte VEM-systeem dat deels is gebaseerd op deze studie van Van Es (1975). Van Es (1975) houdt rekening met een verteringsdepressie van energie van 3% per eenheid stijging van het VN (een VN van 1.0 betekent dat de koe genoeg energie krijgt voor alleen onderhoud). Omdat Van Es uitging van een rantsoen met een gemiddelde q-waarde van 57 (de gemiddelde q-waarde van de rantsoenen in de respiratieproeven die van Es heeft gebruikt voor het vaststellen van de generieke rekenregel voor het voorspellen van ME-waarden van voedermiddelen) resulteert deze verteringsdepressie van 3% per eenheid toename van VN boven onderhoudsniveau in een relatieve daling van $3 / 57 \times 100 = 5.3\%$ van het ME-gehalte van het rantsoen. Verder vond Van Es dat bij elke toename van VN boven onderhoudsniveau het ME-gehalte per eenheid VOS stijgt met een $2 / 57 = 3.5\%$ omdat de hoeveelheid energie die verloren gaat via methaan en urine per eenheid fecaal verteerbaar nutriënt minder wordt zodat ME-gehalten van fecaal verteerbare nutriënten stijgen. Gecombineerd betekent dit dat bij elke toename van VN boven onderhoudsniveau het ME-gehalte afneemt met $(3 - 2) / 57 \times 100 = 1.75\%$ (afgerond tot 1.8% in de CVB Veevoedertabel 2021).

In de tijd tussen dat Van Es het VEM-systeem heeft ontwikkeld en het heden zijn er een aantal zaken veranderd zoals het feit dat door genetische selectie de hedendaagse HF melkkoe een heel ander type koe is dan de meer dubbeldoelkoe type koe van toen en het feit dat hedendaagse melkveerantsoenen meer zetmeel bevatten. Deze veranderingen kunnen ook invloed hebben op het effect van VN op de verteringsdepressie.

Het doel van deze studie is om het effect van VN op de verteringsdepressie van organische stof opnieuw vast te stellen en daarin tevens effecten van andere factoren te kwantificeren zoals nutriëntgehalten en krachtvoeraandeel in het rantsoen.

4.2 Materiaal en Methoden

Om het effect van verschillende factoren op verschillen tussen waargenomen en berekende VC-OS (gebaseerd op verteringsonderzoek met hamels) te kunnen onderzoeken zijn twee datasets opgezet. De eerste dataset (dataset 1) is identiek aan deze die is gebruikt voor het schatten van ME-behoefte voor lacterende koeien (Hoofdstuk 3) met uitzondering van de studie van Huyen et al. (2017) vanwege onduidelijkheid over de gebruikte ingrediënten in het mengvoer en bestaat uit 259 individuele koe observaties gemeten in klimaatrespiratiecellen in Wageningen. De tweede dataset (dataset 2) bevat gegevens van dezelfde studies als in

dataset 1 maar dan gebaseerd op behandelingsgemiddelden. Dit betekent dat individuele koe-records die een zelfde behandeling ontvingen zijn gemiddeld tot behandelingsgemiddelden. Verder zijn er ook behandelingsgemiddelden van andere studies toegevoegd aan dataset 2 waarbij ook de VC-OS is gemeten. Voor al deze observaties zijn de rantsoenen doorgerekend en is voor elk rantsoen de op hamels gebaseerde VC-OS waarde berekend. Tevens zijn gegevens t.a.v. %krachtvoer (KV) in het rantsoen, chemische gehalten (zoals RE, zetmeel, RVET en NDF), droge stof opname (DSO), en melkproductie vastgelegd.

Het VN van dataset 1 is berekend als de ME_{opn} ($\text{kJ/d/kg LG}^{0.75}$) gedeeld door $562 \text{ kJ/d/kg LG}^{0.75}$ (de ME_{ond} zoals vastgesteld in hoofdstuk 3 (VN_562)). Tevens is het VN van dataset 1 berekend als ME_{opn} gedeeld door $488 \text{ kJ/d/kg LG}^{0.75}$ (de ME_{ond} in het oude VEM-systeem (VN_488)). De ME_{opn} van studies in dataset 2 was grotendeels onbekend. Daarom is VN berekend op basis van de regressierelatie tussen VN en de ratio tussen DSO (kg/d) en metabool lichaamsgewicht ($\text{LG}^{0.75}$; kg) geschat in dataset 1. Deze relaties zijn als volgt:
 $VN_{562} (\text{dataset 1}) = 0.2115 \pm 0.00075 \times (\text{DSO} : \text{LG}^{0.75} \times 100)$; $R^2 = 0.995$; $\text{RMSE} = 0.206$.
 $VN_{488} (\text{dataset 1}) = 0.2436 \pm 0.00086 \times (\text{DSO} : \text{LG}^{0.75} \times 100)$; $R^2 = 0.995$; $\text{RMSE} = 0.237$.

Observaties met RE-gehalten in rantsoenen lager dan 125 g/kg DS zijn verder niet meegenomen in de model-analyses om negatieve effecten van suboptimale penswerking vanwege tekorten aan OEB op verteerbaarheid uit te sluiten.

De lijst met referenties van de gebruikte studies in beide datasets is weergegeven aan het eind van dit hoofdstuk. In Tabellen 8 en 9 zijn samenvattingen gegeven van beide datasets. Vervolgens zijn onderstaande modellen gebruikt voor het schatten/verklaren van de verschillen tussen VC-OS-berekend (o.b.v. hamelonderzoek) en VC-OS-gemeten (in melkkoeien).

Model 1

$$\text{VC-OS-verschil (\%)} = B_{\text{INT}} + B_{\text{VN}} \times VN_{562} + u + e$$

Model 2

$$\text{VC-OS-verschil (\%)} = B_{\text{INT}} + B_{\text{KV}} \times \%KV + u + e$$

Model 3

$$\text{VC-OS-verschil (\%)} = B_{\text{INT}} + B_{\text{KV}} \times \%KV + B_{\text{VN}} \times VN_{562} + u + e$$

Waarbij:

VC-OS-verschil (%) = VC-OS-berekend (CVB VC-OS tabelwaarden) minus VC-OS-gemeten

B_{INT} = een interceptwaarde

B_{VN} = regressiefactor voor het schatten van VN-effect

B_{KV} = regressiefactor voor het schatten van het effect van het %KV in het rantsoen (in DS)

u = random proefeffect

e = onverklaarde variatie van het model.

Dataset 1 en dataset 2 verschillen van elkaar m.b.t. gemiddelde nutriëntgehalten. Daarom is ook onderzocht of nutriëntgehalten in rantsoenen zoals RE, zetmeel en NDF extra variatie in verschillen tussen berekende en waargenomen VC-OS waarden kunnen verklaren en of, naast VN in het model als factor, de toevoeging van deze nutriëntfactoren een verklaring biedt voor de grote verschillen in modeluitkomsten tussen dataset 1 en dataset 2. Dit is

gedaan m.b.v. model 4 (de nutriënt RE bleek niet significant in het verklaren van variatie in VC-OS-verschil).

Model 4

$$\text{VC-OS-verschil (\%)} = B_INT + B_KV \times \%KV + B_VN \times VN_562 + B_ZET \times \text{ZET-gehalte} + B_NDF \times \text{NDF-gehalte} + u + e$$

Waarbij:

B_ZET = regressiefactor voor het schatten van het effect van het zetmeelgehalte in het rantsoen (g/kg DS)

B_NDF = regressiefactor voor het schatten van het effect van het NDF-gehalte in het rantsoen (g/kg DS).

Een ander verschil tussen dataset 1 en dataset 2 is dat dataset 1 alleen recente studies bevat die zijn uitgevoerd in de periode 2004 – 2018, terwijl de oudste studie in dataset 2 is gepubliceerd in 1983. Om dit tijdseffect te testen heeft het jaar 1983 de waarde 0 gekregen, het jaar 1984 de waarde 1 etc. Zowel het effect van nutriëntgehalten als het tijdseffect zijn getest m.b.v. model 5.

Model 5

$$\text{VC-OS-verschil (\%)} = B_INT + B_KV \times \%KV + B_VN \times VN_562 + B_ZET \times \text{ZET-gehalte} + B_NDF \times \text{NDF-gehalte} + B_jaar \times \text{jaar} + u + e$$

Waarbij:

B_jaar = regressiefactor voor het schatten van een tijdseffect waarbij het jaar 1983 (jaar waarin de oudste studie is gepubliceerd) de waarde 0 heeft gekregen. Het tijdseffect is alleen geschat voor dataset 2

4.3 Resultaten en Discussie

In Tabellen 8 en 9 zijn samenvattingen gegeven van beide datasets. Tevens zijn de gemiddelde gemeten en gemiddelde berekende VC-OS percentages weergegeven. De berekende VC-OS-waarden zijn op twee manieren weergegeven, namelijk ongecorrigeerd gebaseerd op een VN van 1 (onderhoudsniveau) en gecorrigeerd o.b.v. VN om rekening te houden met een verteringsdepressie met een correctie van -3% VC-OS per eenheid stijging van het VN_488 VN (overgenomen uit de studie van Van Es (1975)). In Tabel 10 is een samenvatting gegeven van dataset 2 voor alleen de Nederlandse waarnemingen.

Tabel 8. Overzicht dataset 1 met 240 individuele koe observaties in klimaatrespiratiecellen

Parameters*	Gemiddelde	St. dev.	min	Max
LG (kg)	620	64.6	471	817
DSO (kg/d)	16.3	3.27	9.1	26.3
VN_562	2.82	0.563	1.34	4.49
VN_488	3.24	0.649	1.54	5.17
RE (g/kg DS)	178	32.6	135	252
NDF (g/kg DS)	399	48.7	325	514
Zetmeel (g/kg DS)	124	74.6	37	326
% krachtvoer	24	9.4	10	51
VC-OS-gemeten (%) (a)	76.0	4.81	62.0	87.0
VC-OS-berekend (%)** (b)	77.8	2.69	71.3	83.0
VC-OS-berekend-en-gecorrigeerd (%)** (c)	71.1	2.56	65.3	78.1
VC-OS-verschil (%) (b – a)	1.8	5.02	-9.1	16.7
VC-OS-verschil-gecorrigeerd (%) (c - a)	-4.9	5.35	-16.0	13.1

*LG = lichaamsgewicht, DSO = droge stof opname, Gehalten aan RE, NDF en zetmeel zijn berekend.**De VC-OS-berekend waarde is gebaseerd op VC-OS waarden gemeten bij hamels gevoerd op onderhoudsniveau. De VC-OS-berekend-en-gecorrigeerd waarde is gebaseerd op VC-OS waarden gemeten bij hamels gevoerd op onderhoud maar gecorrigeerd voor een verteringsdepressie van 3.0% VC-OS (absoluut) per eenheid toename van VN boven onderhoud (VN is gebaseerd op een energiebehoefte voor onderhoud van 488 kJ/d/kg LG^{0.75}).

Tabel 9. Overzicht dataset 2 met 332 behandelingsgemiddelden afkomstig van studies uit Nederland (n=87) maar ook uit andere Europese landen (n=89) en Noord-Amerika (n=156).

Parameters*	Gemiddelde	St. dev.	min	Max
LG (kg)	606	43.7	486	747
DSO (kg/d)	19.1	4.01	5.3	27.4
VN_562	3.30	0.665	0.91	4.65
VN_488	3.80	0.765	1.05	5.35
RE (g/kg DS)	173	22.6	126	293
NDF (g/kg DS)	354	71.2	206	557
Zetmeel (g/kg DS)	195	108.1	0	468
% krachtvoer	43	17.3	0	77
VC-OS-gemeten (%) (a)	72.0	5.48	53.7	92.7
VC-OS-berekend (%)** (b)	78.3	3.53	68.3	88.0
VC-OS-berekend-en-gecorrigeerd (%)** (c)	69.9	4.42	59.2	81.4
VC-OS-verschil (%) (b – a)	6.3	4.54	-6.7	17.0
VC-OS-verschil-gecorrigeerd (%) (c – a)	-2.1	4.63	-13.8	10.1

*LG = lichaamsgewicht, DSO = droge stof opname, Gehalten aan RE, NDF en zetmeel zijn berekend.**De VC-OS-berekend waarde is gebaseerd op VC-OS waarden gemeten bij hamels gevoerd op onderhoudsniveau. De VC-OS-berekend-en-gecorrigeerd waarde is gebaseerd op VC-OS waarden gemeten bij hamels gevoerd op onderhoud maar gecorrigeerd voor een verteringsdepressie van 3.0% VC-OS (absoluut) per eenheid toename van VN boven onderhoud (VN is gebaseerd op een energiebehoefte voor onderhoud van 488 kJ/d/kg LG^{0.75}).

Tabel 10. Overzicht van dataset 2 met alleen studies uit Nederland (n=87).

Parameters*	Gemiddelde	St. dev.	min	Max
LG (kg)	600	34.8	515	669
DSO (kg/d)	17.3	3.12	5.3	22.8
VN_562	3.03	0.551	0.91	4.00
VN_488	3.49	0.635	1.05	4.61
RE (g/kg DS)	178	26.2	127	247
NDF (g/kg DS)	400	48.7	281	504
Zetmeel (g/kg DS)	98	88.2	3	344
% krachtvoer	30	19.4	5	68
VC-OS-berekend (%) (a)	76.7	4.81	66.6	85.4
VC-OS-voorspeld (%)** (b)	80.3	2.94	71.3	88.0
VC-OS-berekend-en-gecorrigeerd (%)** (c)	72.9	3.07	65.8	81.4
VC-OS-verschil (%) (b – a)	3.6	3.86	-2.9	12.1
VC-OS-verschil-gecorrigeerd (%) (c – a)	-3.8	4.13	-12.1	4.3

*LG = lichaamsgewicht, DSO = droge stof opname, Gehalten aan RE, NDF en zetmeel zijn berekend.**De VC-OS-berekend waarde is gebaseerd op VC-OS waarden gemeten bij hamels gevoerd op onderhoudsniveau. De VC-OS-berekend-en-gecorrigeerd waarde is gebaseerd op VC-OS waarden gemeten bij hamels gevoerd op onderhoud maar gecorrigeerd voor een verteringsdepressie van 3.0% VC-OS (absoluut) per eenheid toename van VN boven onderhoud (VN is gebaseerd op een energiebehoefte voor onderhoud van 488 kJ/d/kg LG^{0.75}).

In Tabel 11 zijn modeluitkomsten voor dataset 1 met 240 individuele koe observaties in klimaatrespiratiecellen weergegeven. In Tabel 12 zijn de modeluitkomsten voor dataset 2 met 333 behandelingsgemiddelden afkomstig van niet alleen studies uit Nederland (n=87) maar ook uit andere Europese landen (n=89) en Noord Amerika (n=157) weergegeven. In Tabel 13 zijn modeluitkomsten voor dataset 2 met 87 behandelingsgemiddelden afkomstig van alleen de studies uit Nederland weergegeven.

Tabel 11. Modeluitkomsten voor het schatten van het VC-OS-verschil voor dataset 1 met 240 individuele koe observaties in klimaatrespiratiecellen.

	Model			
	1	2	3	4
B_INT	0.25±1.977 (P=0.902)	-5.10±1.338 (P=0.007)	-0.64±1.665 (P=0.712)	-33.16±4.854 (P<0.001)
B_VN	0.635±0.5600 (P=0.258)		-2.528±0.5713 (P<0.001)	-0.815±0.5719 (P=0.156)
B_KV		0.302±0.0352 (P<0.001)	0.405±0.04108 (P<0.001)	0.410±0.0394 (P<0.001)
B_NDF				0.0586±0.00809 (P<0.001)
B_ZET				0.0309±0.00821 (P<0.001)
R ² fixed*	0.000	0.142	0.187	0.285
R ² random*	0.398	0.536	0.572	0.655
AIC**	1365	1307	1288	1257

*De determinatiecoëfficiënt (R^2) is gebaseerd op regressie tussen VC-OS-verschil-voorspeld (%) (y) en VC-OS-verschil-gemeten (%) (x) waarbij VC-OS-verschil-voorspeld de uitkomst is van alleen het fixed-effect gedeelte van het model (fixed) of waarbij VC-OS-verschil-voorspeld de uitkomst is van zowel de fixed-effect als de random-proefeffect schattingen van het model (random). De R^2 waarden gebaseerd op het fixed-effect gedeelte van het model geven een beter beeld van variatie die het model in de praktijk kan verklaren doordat het random-proefeffect in de praktijk onbekend is.

**Akaike informatie criterium. Een kleinere waarde betekent een beter model.

Tabel 12. Modeluitkomsten voor het schatten van het VC-OS-verschil voor dataset 2 met 332 behandelingsgemiddelden afkomstig van studies uit Nederland (n=87) en uit andere Europese landen (n=89) en Noord-Amerika (n=156).

	Model				
	1	2	3	4	5
B_INT	-0.25±1.351 (P=0.851)	2.19±0.881 (P=0.015)	-1.92±1.382 (P=0.169)	-26.74±3.131 (P<0.001)	-25.34±3.217 (P<0.001)
B_VN	1.977±0.3862 (P<0.001)		1.526±0.3925 (P<0.001)	2.155±0.3649 (P<0.001)	2.284±0.3693 (P<0.001)
B_KV		0.094±0.0180 (P<0.001)	0.073±0.01850 (P<0.001)	0.084±0.0203 (P<0.001)	0.077±0.0205 (P<0.001)
B_NDF				0.0478±0.005533 (P<0.001)	0.0480±0.00552 (P<0.001)
B_ZET				0.0276±0.004129 (P<0.001)	0.0275±0.00412 (P<0.001)
B_jaar					-0.0829±0.04361 (P=0.059)
R ² fixed*	0.046	0.180	0.175	0.347	0.348
R ² random*	0.756	0.740	0.756	0.800	0.803
AIC**	1729	1735	1721	1670	1671

*De determinatiecoëfficiënt (R^2) is gebaseerd op regressie tussen VC-OS-verschil-voorspeld (%) (y) en VC-OS-verschil-gemeten (%) (x) waarbij VC-OS-verschil-voorspeld de uitkomst is van alleen het fixed-effect gedeelte van het model (fixed) of waarbij VC-OS-verschil-voorspeld de uitkomst is van zowel de fixed-effect als de random-proefeffect schattingen van het model (random). De R^2 waarden gebaseerd op het fixed-effect gedeelte van het model geven een beter beeld van variatie die het model in de praktijk kan verklaren doordat het random-proefeffect in de praktijk onbekend is.

**Akaike informatie criterium. Een kleinere waarde betekent een beter model.

Tabel 13. Modeluitkomsten voor het schatten van het VC-OS-verschil voor dataset 2 met 87 behandelingsgemiddelden afkomstig van alleen de studies uit Nederland.

	Model				
	1	2	3	4	5
B_INT	-4.73±2.539 (P=0.084)	-0.25±1.296 (P=0.850)	-5.94±2.448 (P=0.029)	-29.99±5.802 (P<0.001)	-28.04±5.738 (P<0.001)
B_VN	2.838±0.8016 (P<0.001)		2.128±0.7908 (P=0.009)	2.807±0.7576 (P<0.001)	3.075±0.768 (P<0.001)
B_KV		0.129±0.0343 (P<0.001)	0.107±0.0347 (P=0.003)	0.130±0.0383 (P=0.001)	0.098±0.0398 (P=0.016)
B_NDF				0.0483±0.0109 (P<0.001)	0.0518±0.01115 (P<0.001)
B_ZET				0.0207±0.00714 (P=0.005)	0.0245±0.00757 (P=0.002)
B_jaar					-0.139±0.0857 (P=0.110)
R ² fixed*	0.011	0.215	0.231	0.355	0.368
R ² random*	0.558	0.543	0.581	0.684	0.679
AIC**	452	456	448	446	447

*De determinatiecoëfficiënt (R^2) is gebaseerd op regressie tussen VC-OS-verschil-voorspeld (%) (y) en VC-OS-verschil-gemeten (%) (x) waarbij VC-OS-verschil-voorspeld de uitkomst is van alleen het fixed-effect gedeelte van het model (fixed) of waarbij VC-OS-verschil-voorspeld de uitkomst is van zowel de fixed-effect als de random-proefeffect schattingen van het model (random). De R^2 waarden gebaseerd op het fixed-effect gedeelte van het model geven een beter beeld van variatie die het model in de praktijk kan verklaren doordat het random-proefeffect in de praktijk onbekend is.

**Akaike informatie criterium. Een kleinere waarde betekent een beter model.

Modelresultaten laten zien dat in alle gevallen slechts een zeer beperkt gedeelte van het verschil tussen voorspelde en gemeten VC-OS-waarden voorspeld kan worden. Verder wijken de schattingen van de parameters voor de verschillende datasets behoorlijk van elkaar af. Het verschil tussen de gemiddelde voorspelde en gemeten VC-OS-waarde in dataset 1 van 1.8% blijkt een stuk kleiner te zijn dan de waarde van 6.3% in dataset 2. Dit komt ook tot uiting in de verschillende schattingen van modellen 1 en 3 van het effect van VN op VC-OS-verschil waarden tussen de verschillende datasets. Verder blijkt de factor %krachtvoer in het rantsoen (model 2) in vergelijking met een model met alleen de factor voeropname (model 1) te resulteren in een beter model (gezien de lagere AIC-waarden) voor dataset 1 terwijl dit niet het geval bleek te zijn voor dataset 2 (zowel voor alle observaties van dataset 2 als alleen de Nederlandse observaties in dataset 2). Wat verder van belang is om op te merken is het feit dat in dataset 1 er een sterk (curvilineaire) positieve relatie bestaat tussen VN en %krachtvoer ($R^2=0.42$) terwijl er nauwelijks sprake was van een positieve relatie tussen VN en %krachtvoer in dataset 2 ($R^2=0.05$ voor de hele dataset en $R^2=0.01$ voor alleen de Nederlandse data). Dit verklaart ook het feit dat voor dataset 1 bij een model met zowel de verklarende factoren %krachtvoer en voeropname (model 3) de schattingen voor beide factoren zo sterk veranderen t.o.v. de schattingen van deze zelfde factoren wanneer deze niet zijn gecombineerd (modellen 1 en 2) (zie Tabel 11). Voor dataset 2 blijkt dit in veel mindere mate het geval te zijn voor zowel de dataset met alle waarnemingen (Tabel 12) als voor de dataset met alleen Nederlandse waarnemingen (Tabel 13).

Resultaten van model 5 (Tabel 12 en Tabel 13) laten zien dat de geschatte verteringsdepressie per eenheid stijging van het VN voor een deel afhankelijk is van nutriëntgehalten van het rantsoen en van jaar. Verschillen tussen datasets in geschatte waarden voor de parameter VN zijn daarom mogelijk voor een deel te verklaren door verschillen in nutriëntgehalten en jaar tussen de datasets. Het effect van jaar was echter niet significant ($P=0.059$ voor alle data in dataset 2 (zie Tabel 12) en $P=0.110$ voor alleen de Nederlandse data in dataset 2 (zie Tabel 13)).

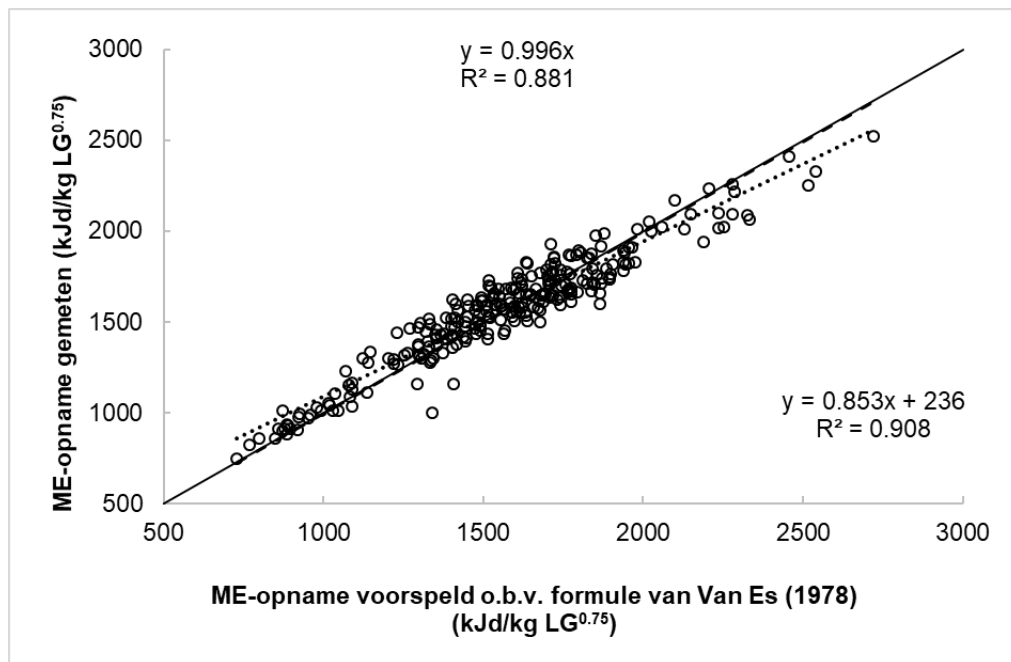
Voorgesteld wordt om de verteringsdepressie te baseren op de gemiddelde van de B_{VN} schattingen van model 4 voor dataset 2 voor de gehele dataset en alleen de Nederlandse dataset (dit is gedaan om de Nederlandse data extra gewicht te geven t.o.v. de niet Nederlandse data met als motivatie dat de inschatting van VC-OS van rantsoenen uit Nederlandse studies waarschijnlijk nauwkeuriger is). Dit betekent een gemiddelde verteringsdepressie van 2.5% (gemiddelde van 2.155 en 2.807) per eenheid toename van VN. Deze waarde van 2.5% wijkt enigszins af van de waarde van 3.0% die van Es (1975) heeft voorgesteld en wordt mogelijk veroorzaakt door verschillen in rantsoensamenstelling gebruikt voor het schatten van het effect van VN. Een andere mogelijke fysiologische verklaring voor een verlaging van de verteringsdepressie in de tijd is dat koeien door genetische selectie zwaarder/groter zijn geworden en een andere lichaamssamenstelling hebben gekregen met een toename van het aandeel maagdarmweefsel t.o.v. het totale lichaamsgewicht. Deze toename van het aandeel maagdarmweefsel vormt een verklaring voor de eerder geschatte hogere energiebehoeften voor onderhoud voor zowel lacterende dieren (Hoofdstuk 3; ME_{ond} van 562 kJ/d/kg $LG^{0.75}$) als droogstaande dieren (Hoofdstuk 2; ME_{ond} van 614 kJ/d/kg $LG^{0.75}$) in vergelijking met de ME_{ond} van 488 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ in het oude VEM-systeem vanwege het feit dat maagdarmweefsel een hoge metabolische energievraag heeft. Daarnaast betekent deze toename van het aandeel maagdarmweefsel per kg lichaamsgewicht hoogstwaarschijnlijk dat het volume van het verteringsstelsel is toegenomen resulterend in een lagere passagesnelheid van voerdeeltjes door het maagdarmstelsel en in een hogere verteerbaarheid en lagere verteringsdepressie van de organische stof.

4.3 Voorstel voor inschatten effect van voeropnameniveau op verteringsdepressie en ME-gehalten van voedermiddelen

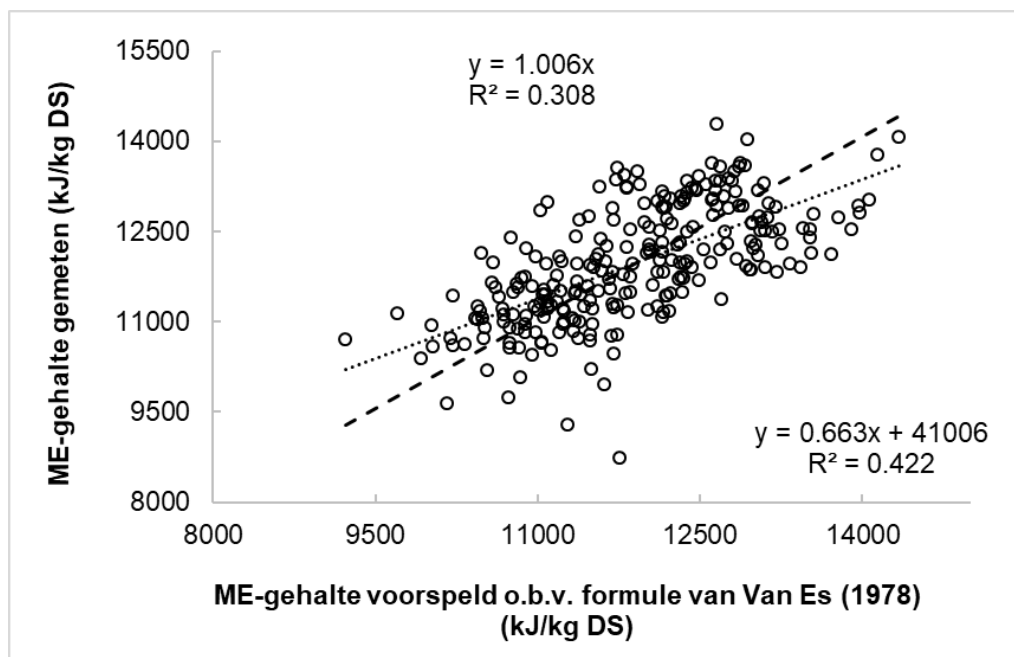
Het eerste voorstel is om de verteringsdepressie van de organische stof in het geactualiseerde VEM-systeem te voorspellen door aan te nemen dat per eenheid toename van VN boven één (gerekend met een ME_{ond} van 562 kJ/kg $LG^{0.75}$) de VC-OS waarde van voedermiddelen afneemt met een absolute 2.5%. Dit voorstel houdt in dat er geen rekening wordt gehouden met de nutriëntsamenstelling van het rantsoen met als motivatie hiervoor dat het voorspellen van een verteringsdepressie o.b.v. nutriëntgehalten weer leidt tot nieuwe moeilijkheden indien toegepast in het instrument de Kringloopwijzer (KLW) (instrument dat gebruikt wordt om de stikstof- en fosfaatverliezen op melkveebedrijven in te schatten) en de CVB Veevoedertabel.

Daarnaast is het mogelijk dat de aanname in de oude rekenregel dat bij elke toename van VN boven onderhoudsniveau (488 kJ/d/kg $LG^{0.75}$) het ME-gehalte stijgt met $2 / 57 = 3.5\%$ in de tussentijd is gewijzigd. Het positieve effect van VN op berekende ME-gehalten is daarom opnieuw vastgesteld op de huidige meta-analysedataset van klimaatrespiratieproeven (dataset 1) waarbij RC-gehalten van rantsoenen zijn ingeschat en waarbij de fecale verteerbaarheid van RC is voorspeld met de vetgedrukte formule die is weergegeven in Bijlage B (gemiddelde voorspelde fecale RC verteerbaarheid van 67.1% t.o.v. een gemiddelde gemeten fecale NDF verteerbaarheid van 69.4%). In Figuur 1 is de relatie weergegeven tussen de voorspelde ME-opname op de x-as en de gemeten ME-opname op de y-as. De voorspelde ME-opname is als volgt tot stand gekomen. Eerst is op basis van de gemeten fecaal verteerbare nutriënten (VRE, VRVET, VRC, VOK en suiker) de ME-opname berekend d.m.v. de generieke rekenregel ontwikkeld door van Es (1978). Deze voorspelde ME-opname is gebaseerd op een VN van één (onderhoudsniveau). Vervolgens zijn de verschillen tussen gemeten en voorspelde ME_{opn} geminimaliseerd d.m.v. de solver methode in Excel, resulterend in een procentuele stijging van ME per toename van VN boven onderhoud (562 kJ/d/kg $LG^{0.75}$) van 4.60%. Dit is, uitgedrukt als een absolute procentuele toename t.o.v. een rantsoen met een q-waarde van 57), 2.62% (immers, $4.60\% = 2.62 / 57 \times 100$). Het gebruik van deze geschatte waarde resulteert in een gemiddelde voorspelde ME_{opn} (1568 kJ/d/kg $LG^{0.75}$), die praktisch gelijk is aan de gemiddelde gemeten ME_{opn} (1572 kJ/d/kg $LG^{0.75}$). Uit Fig. 2 blijkt dat de regressielijn, waarbij de intercept door nul is geforceerd, een helling heeft van 1.00 wat ook laat zien dat in het geval de ME-waarde van rantsoenen met 4.60% stijgt per toename van VN de gemeten ME_{opn} van het rantsoen optimaal voorspeld wordt. In Fig. 3 is dezelfde relatie als in Fig. 2 weergegeven maar dan omgezet in ME-gehalten i.p.v. ME-opnames. Dit betekent dat bij elke toename van VN de daling van VC-OS met een absolute 2.5% volledig wordt gecompenseerd door een stijging van het ME-gehalte met een absolute 2.6%.

Het tweede voorstel is dan ook om in een geactualiseerd VEM-systeem niet meer te corrigeren voor VN.

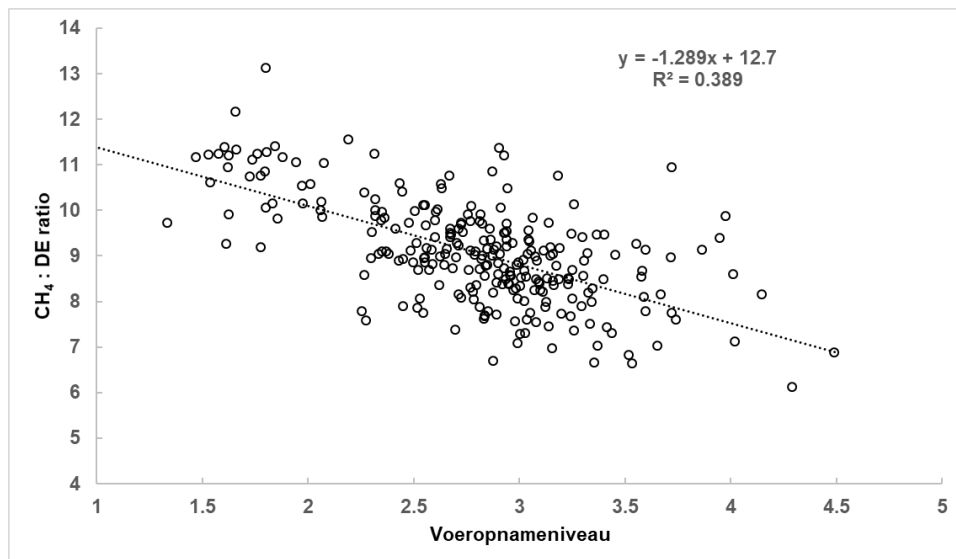


Figuur 2. Relatie tussen de voorspelde ME-opname (kJ/d/kg LG^{0.75}) gebaseerd op de generieke formule van van Es (1978) en per eenheid toename van VN boven onderhoud (562 kJ/d/kg LG^{0.75}) vermenigvuldigt met een factor 1.046 en de gemeten ME--opname (kJ/d/kg LG^{0.75}). De stippellijn is de regressielijn gebaseerd op model met intercept en de onderbroken lijn is de regressielijn gebaseerd op model waarbij de regressielijn is geforceerd door de oorsprong.

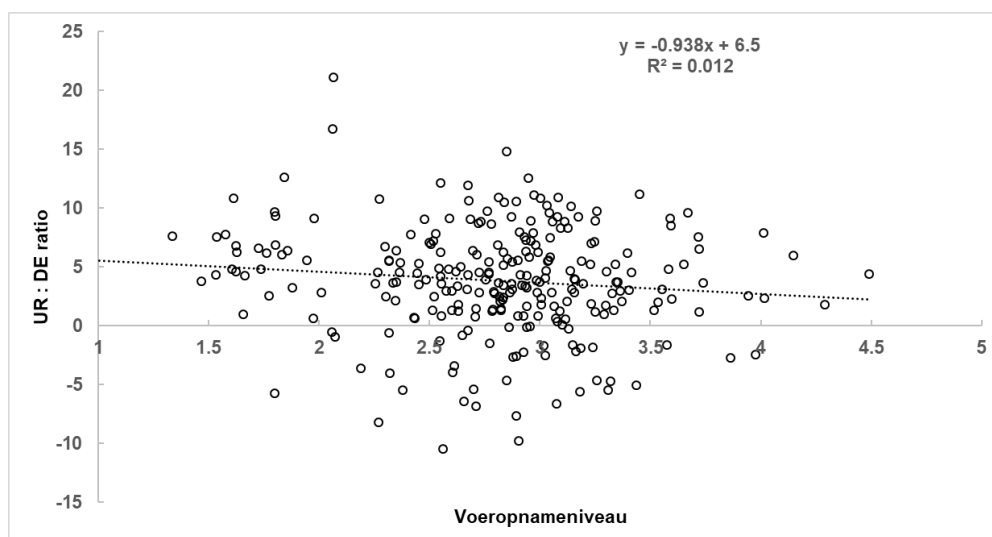


Figuur 3. Relatie tussen voorspelde ME-gehalte van het rantsoen (kJ/kg DS) gebaseerd op de generieke formule van van Es (1978) en per eenheid toename van VN boven onderhoud (562 kJ/d/kg LG^{0.75}) vermenigvuldigt met een factor 1.046 en het gemeten ME-gehalte (kJ/kg DS). De stippellijn is de regressielijn gebaseerd op model met intercept en de onderbroken lijn is de regressielijn gebaseerd op model waarbij de regressielijn is geforceerd door de oorsprong.

Er lijkt verder een kwadratisch effect aanwezig te zijn van VN. In het geval een kwadratische component wordt opgenomen dan komt de solver tot uitkomsten van 8.48% voor de lineaire component en -1.81% voor de kwadratische component. Echter, toepassen van een kwadratische component maakt de zaken extra complex en resulteert ook niet in een betere modelfit (R^2 is 0.908 voor lineair model en 0.900 voor een kwadratisch model). De stijging van het ME-gehalte van het rantsoen bij een toename van VN kan voor het grootste deel verklaard worden door minder verlies aan energie via CH_4 per eenheid fecaal verteerbare energie zoals blijkt uit de resultaten in Fig. 4 en in mindere mate door minder verlies aan energie via urine per eenheid fecaal verteerbare energie zoals blijkt uit Fig. 5.



Figuur 4. Relatie tussen voeropnameniveau (ME_{opn} (kJ/d/kg LG^{0.75}) : 562) en de ratio tussen energie excretie via CH_4 (kJ/d/kg LG^{0.75}) en fecaal verteerbare energie opname (DE; kJ/d/kg LG^{0.75}) van data uit dataset 1.



Figuur 5. Relatie tussen voeropnameniveau (ME_{opn} (kJ/d/kg LG^{0.75}) : 562) en de ratio tussen energie excretie via urine (UR; kJ/d/kg LG^{0.75}) en fecaal verteerbare energie opname (DE; kJ/d/kg LG^{0.75}) van data uit dataset 1.

4.4 Referenties dataset 1 en 2

Referenties dataset 1

- Hatew, B., A. Bannink, H. van Laar, L. H. de Jonge, and J. Dijkstra. 2016. Increasing harvest maturity of whole-plant corn silage reduces methane emission of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:354-368.
- Hatew, B., S. C. Podesta, H. Van Laar, W. F. Pellikaan, J. L. Ellis, J. Dijkstra, and A. Bannink. 2015. Effects of dietary starch content and rate of fermentation on methane production in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:486-499.
- Spek, J.W., and L.B. Šebek. 2019. Energiebehoefte van droogstaande en lacterende Holstein Friesian koeien. Wageningen Livestock Research, Rapport 1211.
- van Gastelen, S., M. H. P. W. Visker, J. E. Edwards, E. C. Antunes-Fernandes, K. A. Hettinga, S. J. J. Alferink, W. H. Hendriks, H. Bovenhuis, H. Smidt, and J. Dijkstra. 2017. Linseed oil and DGAT1 K232A polymorphism: Effects on methane emission, energy and nitrogen metabolism, lactation performance, ruminal fermentation, and rumen microbial composition of Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.* 100:8939-8957.
- Warner, D., S. C. Podesta, B. Hatew, G. Klop, H. van Laar, A. Bannink, and J. Dijkstra. 2015. Effect of nitrogen fertilization rate and regrowth interval of grass herbage on methane emission of zero-grazing lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:3383-3393.
- Warner, D., B. Hatew, S. C. Podesta, G. Klop, S. Van Gastelen, H. Van Laar, J. Dijkstra, and A. Bannink. 2016. Effects of nitrogen fertilisation rate and maturity of grass silage on methane emission by lactating dairy cows. *Animal* 10:34-43.
- Warner, D., A. Bannink, B. Hatew, H. van Laar, and J. Dijkstra. 2017. Effects of grass silage quality and level of feed intake on enteric methane production in lactating dairy cows. *J. Animal Sci.* 95:3687-3699.

Referenties dataset 2

- Ahvenjärvi, S., E. Joki-Tokola, A. Vanhatalo, S. Jaakkola, and P. Huhtanen. 2006. Effects of replacing grass silage with barley silage in dairy cow diets. *J. Dairy Sci.* 89:1678-1687.
- Ahvenjärvi, S., A. Vanhatalo, P. Huhtanen, and T. Varvikko. 1999. Effects of supplementation of a grass silage and barley diet with urea, rapeseed meal and heat-moisture-treated rapeseed cake on omasal digesta flow and milk production in lactating dairy cows. *Acta Agric. Scand., Section A — Animal Sci.* 49:179-189.
- Brito, A. F. and G. A. Broderick. 2007. Effects of different protein supplements on milk production and nutrient utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:1816-1827.
- Brito, A. F., G. A. Broderick, and S. M. Reynal. 2006. Effect of varying dietary ratios of alfalfa silage to corn silage on omasal flow and microbial protein synthesis in dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 89:3939-3953.
- Broderick, G. A., R. G. Koegel, R. P. Walgenbach, and T. J. Kraus. 2002. Ryegrass or alfalfa silage as the dietary forage for lactating dairy cows¹. *J. Dairy Sci.* 85:1894-1901.
- Cabezas-Garcia, E. H., S. J. Krizsan, K. J. Shingfield, and P. Huhtanen. 2018. Effects of replacement of late-harvested grass silage and barley with early-harvested silage on ruminal digestion efficiency in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci* 101:1177-1189.
- Callison, S. L., J. L. Firkins, M. L. Eastridge, and B. L. Hull. 2001. Site of nutrient digestion by dairy cows fed corn of different particle sizes or steam-rolled. *J. Dairy Sci.* 84:1458-1467.
- Chen, K. H., J. T. Huber, C. E. Theurer, J. Simas, F. Santos, S. C. Chan, and R. S. Swingle. 1995. Effect of substituting steam-flaked sorghum for concentrate on lactation and digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:362-367.
- Cherif, C., F. Hassanat, S. Claveau, J. Girard, R. Gervais, and C. Benchaar. 2018. Faba bean (*Vicia faba*) inclusion in dairy cow diets: Effect on nutrient digestion, rumen

- fermentation, nitrogen utilization, methane production, and milk performance. *J. Dairy Sci.* 101:8916-8928.
- Christensen, R. A., M. R. Cameron, T. H. Klusmeyer, J. P. Elliott, J. H. Clark, D. R. Nelson, and Y. Yu. 1993. Influence of amount and degradability of dietary protein on nitrogen utilization by dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 76:3497-3513.
- Colmenero, J. J. O. and G. A. Broderick. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 89:1704-1712.
- Crocker, L. M., E. J. DePeters, J. G. Fadel, H. Perez-Monti, S. J. Taylor, J. A. Wyckoff, and R. A. Zinn. 1998. Influence of processed corn grain in diets of dairy Cows on digestion of nutrients and milk composition. *J. Dairy Sci.* 81:2394-2407.
- Cunningham, K. D., M. J. Cecava, and T. R. Johnson. 1993. Nutrient digestion, nitrogen, and amino acid flows in lactating cows fed soybean hulls in place of forage or concentrate. *J. Dairy Sci.* 76:3523-3535.
- Emanuelson, M., M. Murphy, and J. E. Lindberg. 1991. Effects of heat-treated and untreated full-fat rapeseed and tallow on rumen metabolism, digestibility, milk composition and milk yield in lactating cows. *Anim. Feed Sci. Techn.* 34:291-309.
- Espindola, M. S., E. J. DePeters, J. G. Fadel, R. A. Zinn, and H. Perez-Monti. 1997. Effects on nutrient digestion of wheat processing and method of tallow addition to the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:1160-1171.
- Fernandez, I., P. Nozière, and B. Michalet-Doreau. 2004. Site and extent of starch digestion of whole-plant maize silages differing in maturity stage and chop length, in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 89:147-157.
- Fredin, S. M., L. F. Ferraretto, M. S. Akins, S. J. Bertics, and R. D. Shaver. 2015. Effects of corn-based diet starch content and corn particle size on lactation performance, digestibility, and bacterial protein flow in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:541-553.
- Gabel, M., B. Pieper, K. Friedel, M. Radke, A. Hagemann, J. Voigt, and S. Kuhla. 2003. Influence of nutrition level on digestibility in high yielding cows and effects on energy evaluation systems. *J. Dairy Sci.* 86:3992-3998.
- Greenfield, T. L., R. L. V. Baldwin, R. A. Erdman, and K. R. McLeod. 2001. Ruminal fermentation and intestinal flow of nutrients by lactating cows consuming brown midrib corn silages. *J. Dairy Sci.* 84:2469-2477.
- Halmemies-Beauchet-Filleau, A., A. Vanhatalo, V. Toivonen, T. Heikkilä, M. R. F. Lee, and K. J. Shingfield. 2014. Effect of replacing grass silage with red clover silage on nutrient digestion, nitrogen metabolism, and milk fat composition in lactating cows fed diets containing a 60:40 forage-to-concentrate ratio. *J. Dairy Sci.* 97:3761-3776.
- Hindle, V. A., A. M. Vuuren van, A. Klop, A. A. Mathijssen-Kamman, A. H. Van Gelder, and J. W. Cone. 2005. Site and extent of starch degradation in the dairy cow – a comparison between in vivo, in situ and in vitro measurements. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 89:158-165.
- Hoffman, P. C., D. K. Combs, and M. D. Casler. 1998. Performance of lactating dairy cows fed alfalfa silage or perennial ryegrass silage. *J. Dairy Sci.* 81:162-168.
- Holden, L. A., B. P. Glenn, R. A. Erdman, and W. E. Potts. 1994. Effects of alfalfa and orchardgrass on digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:2580-2594.
- Ipharraguerre, I. R., J. H. Clark, and D. E. Freeman. 2005. Rumen fermentation and intestinal supply of nutrients in dairy cows fed rumen-protected soy products. *J. Dairy Sci.* 88:2879-2892.
- Ipharraguerre, I. R., Z. Shabi, J. H. Clark, and D. E. Freeman. 2002. Ruminal fermentation and nutrient digestion by dairy cows fed varying amounts of soyhulls as a replacement for corn grain. *J. Dairy Sci.* 85:2890-2904.
- Jensen, C., M. R. Weisbjerg, P. Nørgaard, and T. Hvelplund. 2005. Effect of maize silage maturity on site of starch and NDF digestion in lactating dairy cows. *Anim. Feed Sci. Techn.* 118:279-294.

- Klusmeyer, T. H., G. L. Lynch, J. H. Clark, and D. R. Nelson. 1991. Effects of calcium salts of fatty acids and proportion of forage in diet on ruminal fermentation and nutrient flow to duodenum of cows. *J. Dairy Sci.* 74:2220-2232.
- Krause, K. M. and D. K. Combs. 2003. Effects of forage particle size, forage source, and grain fermentability on performance and ruminal pH in midlactation cows. *J. Dairy Sci.* 86:1382-1397.
- Kuoppala, K., S. Ahvenjärvi, M. Rinne, and A. Vanhatalo. 2009. Effects of feeding grass or red clover silage cut at two maturity stages in dairy cows. 2. Dry matter intake and cell wall digestion kinetics. *J. Dairy Sci.* 92:5634-5644.
- Kuoppala, K., M. Rinne, S. Ahvenjärvi, J. Nousiainen, and P. Huhtanen. 2010. The effect of harvesting strategy of grass silage on digestion and nutrient supply in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:3253-3263.
- Kuoppala, K., M. Rinne, J. Nousiainen, and P. Huhtanen. 2008. The effect of cutting time of grass silage in primary growth and regrowth and the interactions between silage quality and concentrate level on milk production of dairy cows. *Livest. Sci.* 116:171-182.
- Mansfield, H. R. and M. D. Stern. 1994. Effects of soybean hulls and lignosulfonate-treated soybean meal, on ruminal fermentation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:1070-1083.
- Merchen, N. R. and L. D. Satter. 1983. Changes in nitrogenous compounds and sites of digestion of alfalfa harvested at different moisture contents. *J. Dairy Sci.* 66:789-801.
- Moorby, J. M., R. J. Dewhurst, R. T. Evans, and J. L. Danelón. 2006. Effects of dairy cow diet forage proportion on duodenal nutrient supply and urinary purine derivative excretion. *J. Dairy Sci.* 89:3552-3562.
- Murphy, M., H. Khalili, and P. Huhtanen. 1993. The substitution of barley by other carbohydrates in grass silage based diets to dairy cows. *Anim. Feed Sci. Techn.* 41:279-296.
- Narasimhalu, P., E. Teller, M. Vanbelle, M. Foulon, and F. Dasnoy. 1989. Apparent Digestibility of nitrogen in rumen and whole tract of Friesian cattle fed direct-cut and wilted grass silages. *J. Dairy Sci.* 72:2055-2061.
- O'Mara, F. P., J. J. Murphy, and M. Rath. 1998. Effect of amount of dietary supplement and source of protein on milk production, ruminal fermentation, and nutrient flows in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:2430-2439.
- O'Mara, F. P., G. K. Stakelum, P. Dillon, J. J. Murphy, and M. Rath. 1997. Rumen fermentation and nutrient flows for cows fed grass and grass supplemented with molassed beet pulp pellets. *J. Dairy Sci.* 80:2466-2474.
- Oba, M. and M. S. Allen. 2003. Effects of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics for lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *J. Dairy Sci.* 86:184-194.
- Oliveira, J. S., J. T. Huber, J. M. Simas, C. B. Theurer, and R. S. Swingle. 1995. Effect of sorghum grain processing on site and extent of digestion of starch in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:1318-1327.
- Overton, T. R., M. R. Cameron, J. P. Elliottt, J. H. Clark, and D. R. Nelson. 1995. Ruminal fermentation and passage of nutrients to the duodenum of lactating cows fed mixture of corn and barley. *J. Dairy Sci.* 78:1981-1998.
- Palmquist, D. L., M. R. Weisbjerg, and T. Hvelplund. 1993. Ruminal, intestinal, and total digestibilities of nutrients in cows fed diets high in fat and undegradable protein. *J. Dairy Sci.* 76:1353-1364.
- Poore, M. H., J. A. Moore, T. P. Eck, and C. B. Theurer. 1993. Effect of fiber source and ruminal starch degradability on site and extent of digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:2244-2253.
- Rémond, D., J. I. Cabrera-Estrada, M. Champion, B. Chauveau, R. Coudure, and C. Poncet. 2004. Effect of corn particle size on site and extent of starch digestion in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:1389-1399.

- Reynal, S. M. and G. A. Broderick. 2005. Effect of dietary level of rumen-degraded protein on production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:4045-4064.
- Robinson, P. H., S. Tamminga, and A. M. van Vuuren. 1987. Influence of declining level of feed intake and varying the proportion of starch in the concentrate on rumen ingesta quantity, composition and kinetics of ingesta turnover in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 17:37-62.
- Rode, L. M., D. C. Weakley, and L. D. Satter. 1985. Effect of forage amount and particle size in diets of lactating dairy cows on site of digestion and microbial protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 65:101-111.
- Sairanen, A., H. Khalili, J. I. Nousiainen, S. Ahvenjärvi, and P. Huhtanen. 2005. The effect of concentrate supplementation on nutrient flow to the omasum in dairy cows receiving freshly cut grass. *J. Dairy Sci.* 88:1443-1453.
- Sarwar, M., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 1991. Effect of replacing neutral detergent fiber of forage with soyhulls and corn gluten feed for dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 74:1006-1017.
- Shaver, R. D., A. J. Nytes, L. D. Satter, and N. A. Jorgensen. 1986. Influence of amount of feed intake and forage physical form on digestion and passage of prebloom alfalfa hay in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69:1545-1559.
- Silveira, C., M. Oba, W. Z. Yang, and K. A. Beauchemin. 2007. Selection of barley grain affects ruminal fermentation, starch digestibility, and productivity of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:2860-2869.
- Spek, J.W., and L.B. Šebek. 2019. Energiebehoefte van droogstaande en lacterende Holstein Friesian koeien. Wageningen Livestock Research, Rapport 1211.
- Stensig, T. and P. H. Robinson. 1997. Digestion and passage kinetics of forage fiber in dairy cows as affected by fiber-free concentrate in the diet. *J. Dairy Sci.* 80:1339-1352.
- Tas, B. M., H. Z. Taweel, H. J. Smit, A. Elgersma, J. Dijkstra, and S. Tamminga. 2005. Effects of perennial ryegrass cultivars on intake, digestibility, and milk yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:3240-3248.
- Taylor, C. C. and M. S. Allen. 2005. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: site of digestion and ruminal digestion kinetics in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 88:1413-1424.
- Ueda, K., A. Ferlay, J. Chabrot, J. J. Loor, Y. Chilliard, and M. Doreau. 2003. Effect of linseed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage:concentrate ratios. *J. Dairy Sci.* 86:3999-4007.
- Valk, H., I. E. Leusink-Kappers, and A. M. van Vuuren. 2000. Effect of reducing nitrogen fertilizer on grassland on grass intake, digestibility and milk production of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 63:27-38.
- van Gastelen, S., M. H. P. W. Visker, J. E. Edwards, E. C. Antunes-Fernandes, K. A. Hettinga, S. J. J. Alferink, W. H. Hendriks, H. Bovenhuis, H. Smidt, and J. Dijkstra. 2017. Linseed oil and DGAT1 K232A polymorphism: Effects on methane emission, energy and nitrogen metabolism, lactation performance, ruminal fermentation, and rumen microbial composition of Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.* 100:8939-8957.
- Van Vuuren, A. M., V. A. Hindle, A. Klop, and J. W. Cone. 2010. Effect of maize starch concentration in the diet on starch and cell wall digestion in the dairy cow. *J. Animal Physiol. Anim. Nutr.* 94:319-329.
- Van Vuuren, A. M., A. Klop, C. J. Van Der Koelen, and H. De Visser. 1999. Starch and stage of maturity of grass silage: site of digestion and intestinal nutrient supply in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:143-152.
- Van Vuuren, A. M., F. Krol-Kramer, R. A. Van der Lee, and H. Corbijn. 1992. Protein digestion and intestinal amino acids in dairy cows fed fresh *lolium perenne* with different nitrogen contents. *J. Dairy Sci.* 75:2215-2225.

- Voelker, J. A. and M. S. Allen. 2003. Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 2. effects on digestion and ruminal digestion kinetics in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:3553-3561.
- Volden, H. 1999. Effects of level of feeding and ruminally undegraded protein on ruminal bacterial protein synthesis, escape of dietary protein, intestinal amino acid profile, and performance of dairy cows. *J. Anim. Sci.* 77:1905-1918.
- Warner, D., J. Dijkstra, W. H. Hendriks, and W. F. Pellikaan. 2013. Passage kinetics of ¹³C-labeled corn silage components through the gastrointestinal tract of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96:5844-5858.
- Warner, D., S. C. Podesta, B. Hatew, G. Klop, H. van Laar, A. Bannink, and J. Dijkstra. 2015. Effect of nitrogen fertilization rate and regrowth interval of grass herbage on methane emission of zero-grazing lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:3383-3393.
- Warner, D., B. Hatew, S. C. Podesta, G. Klop, S. Van Gastelen, H. Van Laar, J. Dijkstra, and A. Bannink. 2016. Effects of nitrogen fertilisation rate and maturity of grass silage on methane emission by lactating dairy cows. *Animal* 10:34-43.
- Warner, D., A. Bannink, B. Hatew, H. van Laar, and J. Dijkstra. 2017. Effects of grass silage quality and level of feed intake on enteric methane production in lactating dairy cows. *J. Animal Sci.* 95:3687-3699.
- Yang, W. Z. and K. A. Beauchemin. 2005. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88:1090-1098.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2000. Effects of barley grain processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 83:554-568.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2001. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:2203-2216.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2002. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on site and extent of digestion. *J. Dairy Sci.* 85:1958-1968.
- Zhu, J. S., S. R. Stokes, and M. R. Murphy. 1997. Substitution of neutral detergent fiber from forage with neutral detergent fiber from by-products in the diets of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80:2901-2906.

5. Validatie geactualiseerde ME-behoefte op voederproefdata en berekenen van ME-behoefte voor beweging

5.1 Introductie

In Hoofdstuk 2 en 3 van dit rapport zijn ME-behoefte voor onderhoud en melkproductie geschat gebaseerd op koeien in klimaatrespiratiecellen met weinig bewegingsruimte. Het is mogelijk dat dit resulteert in een onderschatting van de energiebehoefte van koeien in de praktijk, die gehouden worden onder condities waar meer beweging mogelijk is zoals in ligboxenstallen. Tevens blijkt uit Hoofdstuk 4 dat het niet nodig is om ME-gehalten van rantsoenen/voedermiddelen te corrigeren voor VN.

Dit hoofdstuk heeft de volgende doelstellingen:

- a. Nagaan in hoeverre de nieuwe behoeftenormen voor ME (zoals geschat in hoofdstukken 2 en 3) en de oude ME-behoefte normen (zoals vastgesteld door van Es (1975)) in staat zijn om de geschatte ME-opname van koeien in een ligboxenstal te voorspellen en of het gewenst is om een extra energiebehoefte norm voor beweging op te nemen.
- b. Nagaan in hoeverre de oude energiebehoefte normen in het VEM-systeem zoals vastgesteld door van Es (1975, 1978) in staat zijn om de gemeten ME-opname van hedendaagse koeien in ligboxenstallen te voorspellen en in hoeverre de nieuwe energiebehoefte normen een verbetering zijn
- c. Nagaan wat de gevolgen zijn voor het al of niet corrigeren voor een verteringsdepressie op de relatie tussen voorspelde en waargenomen ME-opnames.

Om deze doelen te bereiken zijn de resultaten van 6 voederproeven gebruikt:

1. Een voederproef met lacterende en droogstaande dieren van Gert van Duinkerken, uitgevoerd in de periode 1998 – 2000 (Van Duinkerken et al., 2005) (proef 1; NH₃).
2. Een voederproef van Ariette van Knegsel met droogstaande en lacterende dieren, uitgevoerd in de periode 2010 – 2011 in het kader van het WHYDRY project (proef 2; WHYDRY).
3. Een voederproef met lacterende koeien, uitgevoerd door het ILVO in 2019 – 2020, waarbij effecten van aminozuursupplementen zijn getest (proef 3; AZ).
4. Een voederproef van Ariette van Knegsel met droogstaande en lacterende dieren, uitgevoerd in de periode 2014 – 2015 in het kader van het Droogstand op Maat project (proef 4; DOM).
5. Een voederproef met lacterende dieren, uitgevoerd door het ILVO in 2019, waarbij het effect van een inkuiladditief bij gras- en maaskuil op de koeprestaties werd getest (proef 5; Additief).
6. Een voederproef met droogstaande koeien, uitgevoerd door het ILVO in 2019 – 2020, waarbij effecten van eiwitgehalte van het rantsoen op de biestkwaliteit is getest (proef 6; Biest).

5.2 Materiaal en Methoden

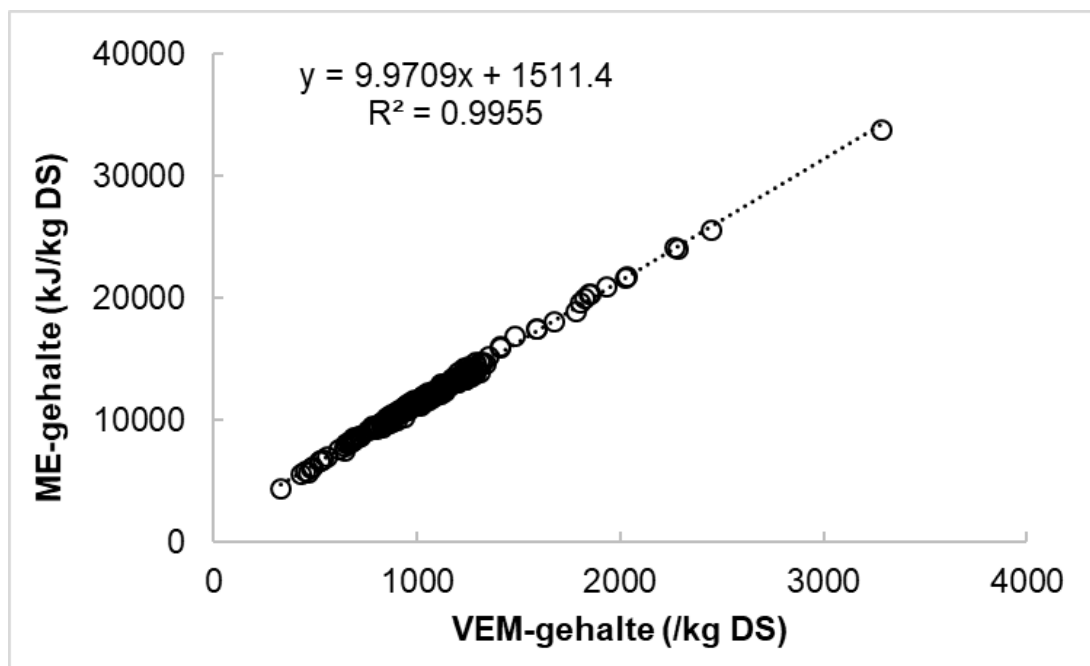
- 1) Proef 1 (NH₃) werd elders beschreven (Van Duinkerken et al., 2005) en had een factoriële 3 × 3 opzet met 3 types ruwvoer (100% maiskuil, 100% kuilgras en een 50/50 gras-/maiskuilrantsoen) en 3 onbestendig eiwit balans (OEB) niveaus (0, 500 en 1000 g/d). Dagelijks is de voeropname en melkproductie gemeten. De melksamenstelling en lichaamsgewichten van de koeien werden wekelijks gemeten. Elke week werden ruwvoermonsters genomen en per 3 weken gepoold en in vitro geanalyseerd op VC-OS (Tilley en Terry, 1963). De ME-waarden van de ruwvoerders werden voorspeld op basis van de CVB (2011) rekenregels waarin de fecaal verteerbare organische stof zoals bepaald door de Tilley en Terry methode als input werd gebruikt. Ook voor de voorspelling van de bruto energiewaarden (BE) van de voedermiddelen zijn CVB (2011) rekenregels gebruikt. Voor het voorspellen van de ME waarden van de krachvoergrondstoffen zijn de CVB (2011) rekenregels gebruikt.
- 2) Proef 2 (WHYDRY) werd elders beschreven (van Knegsel et al., 2014 en Chen et al., 2016) en had een 3 × 2 factoriële opzet met 3 droogstandslengtes (0, 30 en 60 dagen) en twee vroege lactatierantsoenen (glucogeen en lipogeen). Dagelijks werd de voeropname en melkproductie gemeten. De melksamenstelling en lichaamsgewichten van de koeien werden wekelijks gemeten. De VEM gehalten van ruwvoerders zijn gebaseerd op VEM uitslagen van Eurofins.
- 3) In proef 3 (ILVO; AZ) waren er 3 behandelingen waarin bij hoogproductieve dieren het effect van 2 aminozuursupplementen op productie is onderzocht en is vergeleken met een controlebehandeling. Dagelijks is de voeropname en melkproductie gemeten en wekelijks de melksamenstelling. De VEM gehalten van de ruwvoerders zijn geanalyseerd door ILVO zelf d.m.v. een op cellulase-afbraak gebaseerde methode. Uit ILVO data blijkt verder dat VEM gehalten van ruwvoerders geanalyseerd door zowel ILVO als geanalyseerd door Eurofins resulteren in vergelijkbare VEM gehalten.
- 4) Proef 4 (DOM) is elders beschreven (Van Hoeij et al., 2017). Deze studie had 2 droogstandslengtes (0 en 30 dagen) waarbij koeien met droogstandslengte 0 dagen onderverdeeld werden in een groep met een standaard krachtvoeraanbod en in een groep met een laag krachtvoeraanbod (in totaal 3 behandelingen). Dagelijks werd de voeropname en melkproductie gemeten en wekelijks de melksamenstelling.
- 5) In proef 5 (ILVO; Additief) werd een inkuiladditief bij gras- en maiskuil getest. Dagelijks werden de voeropname en melkproductie gemeten en wekelijks de melksamenstelling. De VEM-gehalten van de ruwvoerders zijn geanalyseerd door ILVO zelf d.m.v. een op cellulase-afbraak gebaseerde methode.
- 6) In proef 6 (ILVO; Biest) werd het effect van een laag en hoog rantsoeneiwitgehalte op biestkwaliteit nagegaan. Dagelijks is de voeropname gemeten en wekelijks het lichaamsgewicht. De VEM-gehalten van de ruwvoerders zijn geanalyseerd door ILVO zelf d.m.v. een op cellulase-afbraak gebaseerde methode.

Voor al deze proeven werd de energiewaarde van melk voorspeld op basis van de concentraties van vet en eiwit (Tyrell and Reid, 1965). Koe-dag observaties zijn gemiddeld tot koe-week observaties. Daarnaast zijn observaties van dieren, die minder dan 28 dagen en dieren die meer dan 184 dagen in lactatie waren, verwijderd uit de dataset doordat bij deze observaties mogelijk grote gewichtsschommelingen plaatsvinden vanwege veranderingen in voeropname, mobilisatie en retentie van lichaamsenergie, en gewichtstoename vanwege dracht en dat deze schommelingen niet nauwkeurig kunnen ingeschat worden om een aantal redenen. Eén van die redenen voor koeien minder dan 28 dagen in lactatie is het feit dat gewichtsverlies als gevolg van energiemobilisatie mogelijk onderschat wordt doordat koeien

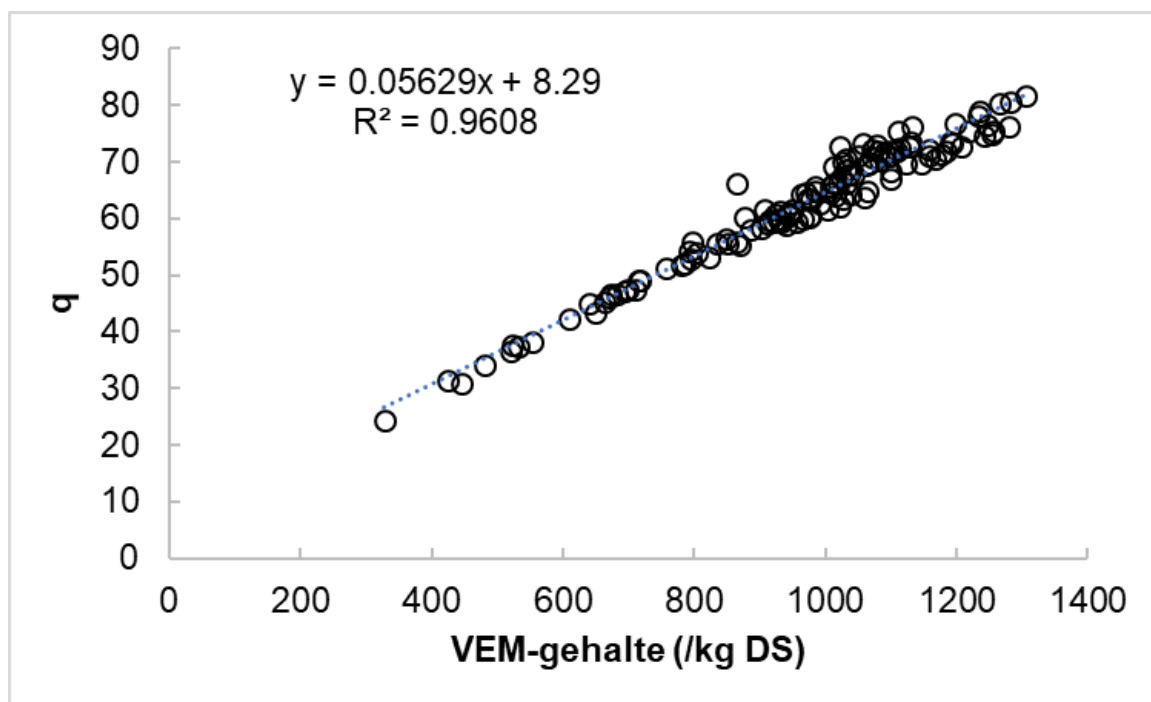
in deze periode een stijgende voeropname hebben en het gewicht van digesta in het dier toeneemt. Een ander aspect is het feit dat voor de koeien die meer dan 184 dagen in lactatie zijn de verwachte afkalfdatum en dagen dracht is ingeschat. Deze inschatting van afkalfdatum en dagen dracht hoeft niet per se juist te zijn. Daarnaast zijn ook koe-week observaties met slechts één observatie verwijderd uit de dataset.

Omdat koeien in het begin van de lactatie energie uit lichaamsreserves mobiliseren en later in de lactatie energie uit voer vastleggen in lichaamsreserves is het gewenst om hiervoor te corrigeren. Dit is gedaan door het gewichtsverloop van de individuele melkgevende dieren te schatten m.b.v. een derde-orde polynoom op de dataset van koe-week gegevens voor de NH₃ proef en met een tweede-orde polynoom voor de overige proeven. Vanwege de lange meetperiode in de NH₃ proef presteerde een derde-orde polynoom beter dan een tweede-orde polynoom terwijl voor de overige proeven een tweede-orde polynoom net zo goed presteerde als een derde-orde polynoom vanwege de beperkte meetperiode van deze proeven. Vervolgens is voor elke kg gewichtsverlies of -toename een energiegelalte toegekend van 20.9 MJ in navolging van Van Es (1978).¹ De door de polynoom geschatte lichaamsgewichten van drachtige lacterende koeien zijn vervolgens gecorrigeerd voor het gewicht van het kalf, vruchtwater en vruchtvliezen d.m.v. een regressieformule die is gebaseerd op data van Putnam en Henderson (1946) volgens de relatie weergegeven in Fig. 6. Vanwege de selectie van observaties tussen 28 en 184 dagen in lactatie was het effect van het gewicht van kalf, vruchtwater en vruchtvliezen op koegewicht te verwaarlozen. De als volgt tot stand gekomen lichaamsgewichten voor lacterende koeien zijn gebruikt voor het berekenen van de ME_{ond} voor de verschillende modellen.

¹ Terugkijkend was het juister geweest om gemeten lichaamsgewichten éérst te corrigeren voor het gewicht van kalf, vruchtwater en vruchtvliezen en om pas daarna het gewichtsverloop te schatten en op basis van het geschatte gewichtsverloop de energieretentie en energiemobilisatie te berekenen. Echter, vanwege de selectie van alleen observaties tussen de 28 en 184 dagen in lactatie bleek de invloed van dracht op het geschatte gewichtsverloop te verwaarlozen.



Figuur 7. Relatie tussen ME-gehalte en VEM-gehalte van voedermiddelen in de CVB Veevoedertabel 2019 (n = 279).



Figuur 8. Relatie tussen q (ME : BE ratio × 100) en VEM-gehalte van voedermiddelen in de CVB Veevoedertabel 2019 (n = 128).

De berekende ME-opname is gecorrigeerd voor VN zoals vastgesteld door van Es (1975) en volgens hoofdstuk 4 van dit rapport (Zie Tabel 14 voor de gebruikte formule om te corrigeren

voor VN). In Tabel 14 is een overzicht gegeven van de gebruikte rekenregels in deze studie. De nieuwe formules om ME-behoeften van lacterende koeien te voorspellen zijn gebaseerd op modellen 7 en 8 uit hoofdstuk 3 en de nieuwe formule om ME-behoeften van droogstaande koeien te voorspellen is beschreven in hoofdstuk 2.

In de verschillende tabellen (Tabellen 14 – 19) zijn energiehoeveelheden in de meeste gevallen weergegeven per kg metabool lichaamsgewicht ($LG^{0.75}$; kg). Deze metabole lichaamsgewichten zijn voor de lacterende koeien gebaseerd op de door de polynoom model geschatte lichaamsgewichten die vervolgens zijn gecorrigeerd voor het gewicht van dracht volgens de relatie weergegeven in Fig. 6. Voor de droogstaande dieren zijn deze gewichten gebaseerd op de gemeten gewichten die zijn gecorrigeerd voor dracht volgens de relatie weergegeven in Fig. 6.

Tabel 14. Overzicht van formules gebruikt voor het schatten van ME-gehalten en q in rantsoenen, voor het voorspellen van de ME_{opn} van zowel de lacterende als droogstaande dieren alsook de gebruikte efficiënties voor de benutting van energie uit voer voor melkproductie (k_l), en voor groei (k_g) en voor de benutting van energie uit lichaamsreserves voor melkproductie (k_t).

	Oude formules (van Es, 1975) gebruikt in het VEM-systeem	Nieuwe formules o.b.v. een recente meta-analyse (model 8 in Hoofdstuk 3) en hoofdstuk 2)
ME-gehalte rantsoen (kJ/kg DS)	$(9.9709 \times \text{VEM-gehalte rantsoen per kg DS} + 1511.4)$	
q	$0.05629 \times \text{VEM-gehalte rantsoen per kg DS} + 8.29$	
ME_{opn} (kJ/d/kg $LG^{0.75}$)	$(\text{ME-gehalte rantsoen (kJ/kg DS)} \times \text{DSO (kg/d)}) / LG^{0.75} \text{ (kg)}$	
ME_{opn} gecorrigeerd voor VN (kJ/d/kg $LG^{0.75}$)	$(1 - (ME_{\text{opn}}/488 - 1) \times 0.018) \times ME_{\text{opn}}$	Zowel zonder correctie als met correctie volgens van Es (1975) gerekend voor model 8. Voor model 7 alleen met correctie volgens van Es (1975) gerekend.
ME-melk (kJ/d/kg $LG^{0.75}$)	$= (E_L^1 \text{ (kJ/d/kg } LG^{0.75}) - 0.80 \times \text{NE-mobilisatie}^2 \text{ (kJ/d/kg } LG^{0.75})) / k_l \text{ (} k_l \text{ is berekend als } 0.463 + 0.0024 \times q^3)$	Model 7: $(E_L \text{ (kJ/d/kg } LG^{0.75}) - 0.773 \times \text{NE-mobilisatie (kJ/d/kg } LG^{0.75})) / (0.460 + 0.00270 \times q^3)$ Model 8: $(E_L \text{ (kJ/d/kg } LG^{0.75}) - 0.807 \times \text{NE-mobilisatie (kJ/d/kg } LG^{0.75})) / (0.405 + 0.00418 \times q^3)$
ME_{ond} (kJ/d/kg $LG^{0.75}$) (gecorrigeerd voor dracht (zie Fig. 6))	$293 / (0.463 + 0.0024 \times q^3)$ voor zowel lacterende als droogstaande koeien	Model 7: $314 / (0.460 + 0.00270 \times q^3)$ Model 8: 562 Voor droogstaande koeien zijn zowel de ME_{ond} waarden volgens modellen 7 en 8 gekozen (gebaseerd op hoofdstuk 3) en de waarde 614 (gebaseerd op hoofdstuk 2)
ME-retentie ⁴ (kJ/d/kg $LG^{0.75}$)	$= (20920 \text{ kJ per kg groei / } k_g) / LG^{0.75} \text{ (} k_g = k_t)$	$= (20920 \text{ kJ per kg groei / } k_g) / LG^{0.75} \text{ (} k_g = 0.833 \text{ voor model 7, en } 0.851 \text{ voor model 8)}$
NE-mobilisatie ⁴ (kJ/d/kg $LG^{0.75}$)	$= 20920 \text{ kJ per kg gewichtsverlies}$	$= 20920 \text{ kJ per kg gewichtsverlies}$
ME-dracht ⁵ (kJ/d/kg $LG^{0.75}$)	$(0.567 \times \text{EXP}(0.0174 \times \text{dagen drachtig})) \times 4.184$	
ME_{opn} voorspeld (kJ/d/kg $LG^{0.75}$)	$ME_{\text{ond}} + \text{ME-melk} + \text{ME-retentie} + \text{ME-dracht}$	

¹ E_L = energie uitgescheiden in melk berekend volgens Tyrell and Reid (1965) = $(40.72 \times \% \text{vet} + 22.65 \times \% \text{eiwit} + 102.77) / 0.4536 \times 4.184 \times \text{kg melk per dag}$. ²NE-mobilisatie = energie vrijgemaakt uit lichaamsreserves. ³ q = ME_{opn} -gecorrigeerd voor VN : bruto energie opname (kJ/d/kg $LG^{0.75}$) $\times 100$. ⁴Gebaseerd op een zelfde aanname als eerder gemaakt door van Es (1978) waarbij een toename of afname in lichaamsgewicht van één kg gelijk staat aan een toe of afname van lichaamsenergie van 20900 kJ. ⁵ME-dracht gebaseerd op formule van Moe en Tyrell (1972).

In Tabel 15 is een overzicht gegeven van de uiteindelijke datasets van lacterende en droogstaande koeien die zijn gebruikt om 1) te beoordelen in hoeverre de nieuwe energiebehoefthenormen een verbetering zijn t.o.v. de oude energiebehoefthenormen gebaseerd op van Es (1975) en 2) of het wenselijk is om de nieuw voorgestelde energiebehoefthenormen te corrigeren door een extra ME-behoefthenorm op te nemen voor beweging.

Tabel 15. Statistieken van de dataset (gemiddelde $\pm$ standaarddeviatie) per voederproef voor de lacterende en de droogstaande dieren waarbij alleen observaties van lacterende koeien zijn meegenomen die meer dan 28 dagen en minder dan 185 dagen in lactatie zijn. Voor droogstaande koeien zijn de observaties in de laatste week van de droogstand niet meegenomen. Voor een verklaring van de verschillende parameters, zie voetnoot van Tabel 14.

	Lacterende koeien datasets						Droogstaande koeien datasets			
	Proef 1 (NH ₃)	Proef 2 (WHYDRY)	Proef 3 (AZ)	Proef 4 (DOM)	Proef 5 (Additief)		Proef 1 (NH ₃)	Proef 2 (WHYDRY)	Proef 4 (DOM)	Proef 6 (Biest)
Observaties ¹ (n)	2112	960	349	2718	195		492	424	230	267
Koeien (n)	74	164	39	127	28		63	133	73	65
Behandelingen (n)	9	6	4	6	6					
LG (kg)	606 $\pm$ 64.6	680 $\pm$ 60.7	635 $\pm$ 71.6	676 $\pm$ 65.2	660 $\pm$ 51.8		703 $\pm$ 80.9	764 $\pm$ 72.0	705 $\pm$ 86.5	756 $\pm$ 70.9
Pariteit	2.4 $\pm$ 1.68	3.5 $\pm$ 1.27	1.7 $\pm$ 1.08	3.0 $\pm$ 1.24	2.4 $\pm$ 1.16		2.1 $\pm$ 2.27	2.6 $\pm$ 1.27	2.0 $\pm$ 1.28	1.8 $\pm$ 1.03
Dagen drachtig	18 $\pm$ 30.8	0	26 $\pm$ 37.1	0	23 $\pm$ 36.3		242 $\pm$ 22.3	266 $\pm$ 3.50	257 $\pm$ 10.7	251 $\pm$ 14.2
Dagen in lactatie	104 $\pm$ 44.7	41 $\pm$ 7.88	132 $\pm$ 34.1	104 $\pm$ 44.4	139 $\pm$ 29.7					
Droge stof opname (kg/d)	22.1 $\pm$ 3.18	24.0 $\pm$ 2.29	22.6 $\pm$ 2.76	22.8 $\pm$ 2.30	24.3 $\pm$ 2.24		11.7 $\pm$ 2.31	14.2 $\pm$ 2.13	14.5 $\pm$ 2.37	13.9 $\pm$ 2.11
Melkproductie (kg/d)	34.3 $\pm$ 7.24	42.6 $\pm$ 7.88	32.2 $\pm$ 6.14	31.2 $\pm$ 7.89	35.7 $\pm$ 4.17					
Melkvet (%)	4.39 $\pm$ 0.560	4.19 $\pm$ 0.618	4.24 $\pm$ 0.643	4.49 $\pm$ 0.711	4.20 $\pm$ 0.410					
Melkeiwit (%)	3.29 $\pm$ 0.298	3.33 $\pm$ 0.381	3.64 $\pm$ 0.300	3.71 $\pm$ 0.429	3.50 $\pm$ 0.213					
Melk : droge stofopname ratio	1.56 $\pm$ 0.246	1.78 $\pm$ 0.321	1.44 $\pm$ 0.192	1.36 $\pm$ 0.311	1.47 $\pm$ 0.142					
VEM gehalte rantsoen	956 $\pm$ 20.4	992 $\pm$ 19.4	1018 $\pm$ 9.5	962 $\pm$ 27.4	1003 $\pm$ 8.4		735 $\pm$ 24.0	777 $\pm$ 29.2	837 $\pm$ 76.9	849 $\pm$ 55.2
ME ² :GE $\times$ 100 (g)	62.1 $\pm$ 1.15	64.1 $\pm$ 1.09	65.6 $\pm$ 0.54	62.4 $\pm$ 1.55	64.8 $\pm$ 0.48		50.1 $\pm$ 1.35	52.0 $\pm$ 1.64	55.4 $\pm$ 4.33	56.1 $\pm$ 3.11
VN	3.9 $\pm$ 0.47	4.0 $\pm$ 0.36	4.0 $\pm$ 0.32	3.7 $\pm$ 0.37	4.1 $\pm$ 0.27		1.6 $\pm$ 0.32	2.0 $\pm$ 0.31	2.3 $\pm$ 0.49	2.1 $\pm$ 0.37
ME-opname gec. ³ (kJ/d/kg LG ^{0.75})	1886 $\pm$ 230.5	1942 $\pm$ 176.7	1959 $\pm$ 154.7	1813 $\pm$ 182.5	2015 $\pm$ 131.0		793 $\pm$ 155.4	954 $\pm$ 149.1	1104 $\pm$ 240.6	1004 $\pm$ 179.5
E _L (kJ/d/kg LG ^{0.75})	918 $\pm$ 153.8	1025 $\pm$ 165.2	834 $\pm$ 107.1	797 $\pm$ 180.2	891 $\pm$ 90.6					
ME-dracht (kJ/d/kg LG ^{0.75})	4 $\pm$ 3.3	0	5 $\pm$ 4.5	0	5 $\pm$ 4.2		180 $\pm$ 57.2	258 $\pm$ 16.2	224 $\pm$ 40.9	203 $\pm$ 43.2
NE-retentie (kJ/d/kg LG ^{0.75})	29 $\pm$ 92.5	35 $\pm$ 132.3	37 $\pm$ 45.6	32 $\pm$ 53.1	52 $\pm$ 50.3					
ME-balans ⁴ (kJ/d/kg LG ^{0.75})	-177 $\pm$ 210.1	-297 $\pm$ 280.4	49 $\pm$ 109.5	-45 $\pm$ 177.9	-21 $\pm$ 126.8		109 $\pm$ 155.4	196 $\pm$ 150.2	386 $\pm$ 265.4	307 $\pm$ 169

¹koe-week observaties.

²ME-gehalte van voer indien gevoerd op onderhoudsniveau.

³ME-opname gecorrigeerd voor VN waarbij gerekend is met een ME_{ond} van 488 (kJ/d/kg LG^{0.75}).

⁴ME-balans gebaseerd op toepassing van de oude rekenregels gebaseerd op van Es (1975).

5.3 Resultaten en Discussie

In Tabel 16 is voor de verschillende datasets voor lacterende en droogstaande koeien de relatie weergegeven tussen m.b.v. Van Es (1975) voorspelde ME_{opn} en de waargenomen ME_{opn} . In Tabel 16a is hetzelfde gedaan maar dan zonder uitbijter observaties (observaties met standardized residuals groter dan 3 of kleiner dan - 3). Voor de ME_{ond} behoefte voor droge koeien is dezelfde ME_{ond} aangehouden als voor de lacterende koeien.

In Tabel 17 is voor de verschillende datasets voor lacterende en droogstaande koeien de relatie weergegeven tussen m.b.v. model 7 voorspelde ME_{opn} en waargenomen ME_{opn} . In Tabel 17a is hetzelfde gedaan maar dan zonder uitbijter observaties (observaties met standardized residuals groter dan 3 of kleiner dan - 3). Voor zowel Tabel 17 als 17a zijn waargenomen ME_{opn} gecorrigeerd voor een negatief effect van VN volgens van Es (1975). Voor de ME_{ond} behoefte van droge koeien is dezelfde ME_{ond} aangehouden als voor de lacterende koeien.

In Tabel 18 is voor de verschillende datasets voor lacterende en droogstaande koeien de relatie weergegeven tussen m.b.v. model 8 voorspelde ME_{opn} en waargenomen ME_{opn} . In Tabel 18a is hetzelfde gedaan maar dan zonder uitbijter observaties (observaties met standardized residuals groter dan 3 of kleiner dan - 3). Voor zowel Tabel 18 als 18a zijn waargenomen ME_{opn} gecorrigeerd voor VN volgens van Es (1975). Voor de ME_{ond} behoefte van droge koeien is dezelfde ME_{ond} aangehouden als voor de lacterende koeien.

In Tabel 19 is voor de verschillende datasets voor lacterende en droogstaande koeien de relatie weergegeven tussen m.b.v. model 8 voorspelde ME_{opn} en waargenomen ME_{opn} . In Tabel 19a is hetzelfde gedaan maar dan zonder uitbijter observaties (observaties met standardized residuals groter dan 3 of kleiner dan - 3). Eerder is berekend dat het negatieve effect van VN op fecale verteerbaarheid van organische stof volledig teniet gedaan wordt door de toename in ME per eenheid fecaal verteerde organische stof (Hoofdstuk 4). Daarom zijn voor zowel Tabel 19 als 19a de waargenomen ME_{opn} niet gecorrigeerd voor VN. Voor de ME_{ond} behoefte voor droge koeien is verder de waarde 614 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ aangehouden (zie Hoofdstuk 2).

In Tabel 20 is voor lacterende koeien de relatie tussen m.b.v. model 8 voorspelde ME_{opn} en waargenomen ME_{opn} voor alle data gecombineerd weergegeven waarbij deze relatie is onderzocht met een mixed model waarin dataset en koe genest binnen dataset als random effect zijn opgenomen. De waargenomen ME_{opn} zijn daarbij niet gecorrigeerd voor VN. Verder is gekeken naar de relatie tussen waargenomen en voorspelde ME_{opn} in het geval observaties met hoge gewichtsveranderingen (minder of meer dan 1 kg/d) weggelaten werden om zodoende het risico van verkeerde inschattingen m.b.t. retentie en mobilisatie van lichaamsenergie te beperken. Daarnaast is ook geanalyseerd wat het effect is van het weglaten van observaties met extreme melk : droge stof opname ratio's (lager dan 1.2 of hoger dan 1.8).

In Tabel 21 is voor lacterende koeien de relatie tussen m.b.v. model 8 voorspelde ME_{opn} en waargenomen ME_{opn} voor alle data gecombineerd weergegeven waarbij deze relatie is onderzocht met een mixed model waarin dataset en koe genest binnen dataset als random effect zijn opgenomen. De waargenomen ME_{opn} zijn daarbij gecorrigeerd voor VN volgens van Es (1975). Verder is gekeken naar de relatie tussen waargenomen en voorspelde ME_{opn} in het geval observaties met hoge gewichtsveranderingen (minder of meer dan 1 kg/d) weggelaten werden om zodoende het risico van verkeerde inschattingen m.b.t. retentie en mobilisatie van lichaamsenergie te beperken. Daarnaast is ook geanalyseerd wat het effect is van het weglaten van observaties met extreme melk : droge stof opname ratio's (lager dan 1.2 of hoger dan 1.8).

In Tabel 22 is voor lacterende koeien de relatie tussen m.b.v. model 8 voorspelde ME_{opn} en waargenomen ME_{opn} voor alle data gecombineerd weergegeven waarbij deze relatie is onderzocht met een mixed model waarin dataset en koe genest binnen dataset als random effect zijn opgenomen. De waargenomen ME_{opn} zijn daarbij niet gecorrigeerd voor VN. Tevens is rekening gehouden met een 10% hogere energiebehoefte voor onderhoud vanwege het feit dat koeien in een ligboxenstal extra bewegingsenergie nodig hebben t.o.v. koeien in een klimaatrespiratiecel. De keuze voor een 10% hogere energiebehoefte voor onderhoud (energietoeslag voor beweging) is in eerste instantie gebaseerd op de studie van van Es (1975) waarin ook een extra bewegingstoeslag van 10% werd geadviseerd. Omdat deze extra bewegingstoeslag goed het verschil tussen berekende en geobserveerde ME_{opn} verklaarde is niet verder onderzocht wat de optimale energietoeslag voor beweging is. Verder is gekeken naar de relatie tussen waargenomen en voorspelde ME_{opn} in het geval observaties met hoge gewichtsveranderingen (minder of meer dan 1 kg/d) weggelaten werden om zodoende het risico van verkeerde inschattingen m.b.t. retentie en mobilisatie van lichaamsenergie te beperken. Daarnaast is ook geanalyseerd wat het effect is van het weglaten van observaties met extreme melk : droge stof opname ratio's (lager dan 1.2 of hoger dan 1.8).

Tabel 16. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op model van **van Es (1975)** en waargenomen, voor VN gecorrigeerde ME_{opn}. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld¹

Dataset	Dataset	N	Intercept ¹	Helling ¹	R ²	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Gemiddeld verschil in %
						Waargen.	Voorspeld	
Lact.	NH ₃	2112	726	0.562	0.430	1886	2063	+9.9
	WHYDRY	960	1292	0.290	0.302	1942	2239	+15.4
	AZ	349	614	0.704	0.605	1959	1909	-2.4
	DOM	2718	863	0.511	0.595	1813	1859	+2.4
	Additief	195	942	0.527	0.320	2015	2037	+1.2
Droog	NH ₃	492	451	0.500	0.034	793	684	-10.1
	WHYDRY	424	1066	-0.147	0.000	954	758	-18.3
	DOM	230	3015	-2.66	0.242	1104	719	-31.5
	Biest	267	-143	1.646	0.140	1004	696	-28.6

¹Het negatieve effect van VN op energiebenutting is berekend o.b.v. de van Es (1975) rekenregels. Voor zowel lacterende koeien als droogstaande koeien is de ME_{ond} behoefte berekend volgens van Es (1975) als volgt: $293 / (0.463 + 0.0024 \times q)$.

Tabel 16a. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op model **van Van Es (1975)** en waargenomen, voor VN gecorrigeerde ME_{opn} waarbij standaard residuals groter dan 3 of kleiner dan -3 zijn verwijderd. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld¹

Dataset	Dataset	N	Intercept ¹	Helling ¹	R ²	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Gemiddeld verschil in %
						Waargen.	Voorspeld	
Lact.	NH ₃	2095	694	0.580	0.466	1890	2062	+9.6
	WHYDRY	959	1312	0.282	0.293	1943	2240	+15.4
	AZ	348	612	0.706	0.614	1960	1910	-2.5
	DOM	2687	850	0.520	0.637	1816	1857	+2.1
	Additief	194	892	0.550	0.347	2014	2038	1.3
Droog	NH ₃	489	437	0.519	0.039	792	684	-10.4
	WHYDRY	420	924	0.043	0.000	957	758	-18.8
	DOM	230	3015	-2.66	0.242	1104	719	-31.5
	Biest	266	-113	1.600	0.137	1001	696	-28.5

¹Het negatieve effect van VN op energiebenutting is berekend o.b.v. de van Es (1975) rekenregels. Voor zowel lacterende koeien als droogstaande koeien is de ME_{ond} behoefte berekend volgens van Es (1975) als volgt: $293 / (0.463 + 0.0024 \times q)$.

Tabel 17. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 7** (Hoofdstuk 3) en waargenomen, voor VN gecorrigeerde, ME_{opn}. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld¹

Dataset	Dataset	N	Intercept ¹	Helling ¹	R ²	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Gemiddeld verschil in %
						Waargen.	Voorspeld	
Lact.	NH ₃	2112	657	0.606	0.446	1886	2030	+8.2
	WHYDRY	960	1254	0.314	0.304	1942	2192	+13.0
	AZ	349	557	0.746	0.637	1959	1880	-4.0
	DOM	2718	867	0.517	0.595	1813	1833	+0.9
	Additief	195	863	0.577	0.358	2015	1998	-0.7
Droog	NH ₃	492	437	0.501	0.034	793	710	-6.7
	WHYDRY	424	1071	-0.149	0.000	954	783	-15.6
	DOM	230	3095	-2.681	0.253	1104	743	-29.2
	Biest	267	-162	1.619	0.134	1004	720	-26.2

¹Het negatieve effect van VN op energiebenutting is berekend o.b.v. de van Es (1975) rekenregels. Voor zowel lacterende koeien als droogstaande koeien is de ME_{ond} behoefte berekend volgens model 7 als volgt: $314 / (0.460 + 0.00270 \times q)$.

Tabel 17a. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 7** (Hoofdstuk 3) en waargenomen, voor VN gecorrigeerde ME_{opn} waarbij standaard residuals groter dan 3 of kleiner dan -3 zijn verwijderd. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld¹

Dataset	Dataset	N	Intercept ¹	Helling ¹	R ²	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Gemiddeld verschil in %
						Waargen.	Voorspeld	
Lact.	NH ₃	2097	648	0.612	0.471	1890	2030	+7.9
	WHYDRY	959	1275	0.304	0.294	1943	2193	+13.0
	AZ	348	555	0.747	0.646	1960	1880	-4.0
	DOM	2687	853	0.526	0.637	1816	1831	+0.6
	Additief	194	819	0.598	0.384	2014	1999	-0.6
Droog	NH ₃	489	423	0.520	0.039	792	709	-7.0
	WHYDRY	420	921	0.046	0.000	957	783	-16.1
	DOM	230	3095	-2.681	0.253	1104	743	-29.2
	Biest	266	-132	1.574	0.131	1001	720	-26.1

¹Het negatieve effect van VN op energiebenutting is berekend o.b.v. de van Es (1975) rekenregels. Voor zowel lacterende koeien als droogstaande koeien is de ME_{ond} behoefte berekend volgens model 7 als volgt: $314 / (0.460 + 0.00270 \times q)$.

Tabel 18. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 8** (Hoofdstuk 3) en waargenomen, voor VN gecorrigeerde ME_{opn}. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld¹

Dataset	Dataset	N	Intercept ¹	Helling ¹	R ²	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Gemiddeld verschil in %
						Waargen.	Voorspeld	
Lact.	NH ₃	2112	614	0.633	0.445	1886	2010	+7.2
	WHYDRY	960	1230	0.329	0.307	1942	2163	+11.5
	AZ	349	492	0.786	0.633	1959	1867	-4.6
	DOM	2718	820	0.545	0.596	1813	1823	+0.4
	Additief	195	819	0.604	0.354	2015	1980	-1.6
Droog	NH ₃	492	429	0.491	0.033	793	742	-2.5
	WHYDRY	424	1056	-0.124	0.000	954	820	-11.7
	DOM	230	2974	-2.378	0.163	1104	786	-25.2
	Biest	267	-357	1.777	0.182	1004	766	-21.5

¹Het negatieve effect van VN op energiebenutting is berekend o.b.v. de van Es (1975) rekenregels. Voor zowel lacterende koeien als droogstaande koeien is gerekend met een ME_{ond} behoefte volgens model 8 van 562 kJ/d/kg LG^{0.75}.

Tabel 18a. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 8** (Hoofdstuk 3) en waargenomen, voor VN gecorrigeerde ME_{opn} waarbij standaard residuals groter dan 3 of kleiner dan -3 zijn verwijderd. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld¹

Dataset	Dataset	N	Intercept ¹	Helling ¹	R ²	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Gemiddeld verschil in %
						Waargen.	Voorspeld	
Lact.	NH ₃	2097	603	0.640	0.470	1890	2011	+6.9
	WHYDRY	959	1252	0.319	0.297	1943	2164	+11.5
	AZ	348	490	0.787	0.642	1960	1867	-4.7
	DOM	2688	806	0.554	0.637	1816	1821	+0.2
	Additief	194	770	0.628	0.381	2014	1981	-1.5
Droog	NH ₃	489	413	0.511	0.038	792	742	-2.8
	WHYDRY	420	936	0.026	0.000	957	820	-12.2
	DOM	230	2974	-2.378	0.163	1104	786	-25.2
	Biest	267	-357	1.777	0.182	1004	766	-21.5

¹Het negatieve effect van VN op energiebenutting is berekend o.b.v. de van Es (1975) rekenregels. Voor zowel lacterende koeien als droogstaande koeien is gerekend met een ME_{ond} behoefte volgens model 8 van 562 kJ/d/kg LG^{0.75}.

Tabel 19. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 8** (Hoofdstuk 3) en waargenomen ME_{opn}. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld. Er is **niet gerekend met een negatief effect van VN** op ME.¹ Verder is in dit geval gerekend met een **ME_{ond} behoefte van droge koeien van 614 (kJ/d/kg LG^{0.75})**.

Dataset	Dataset	N	Intercept ¹	Helling ¹	R ²	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Gemiddeld verschil in %
						Waargen.	Voorspeld	
Lact.	NH ₃	2112	539	0.738	0.428	2000	1979	-0.2
	WHYDRY	960	1253	0.381	0.294	2063	2127	+3.4
	AZ	349	376	0.929	0.615	2083	1837	-11.6
	DOM	2718	775	0.635	0.586	1916	1797	-6.2
	Additief	195	769	0.708	0.333	2148	1947	-9.1
Droog	NH ₃	492	399	0.509	0.032	803	794	+3.3
	WHYDRY	424	1085	-0.129	0.000	973	872	-7.6
	DOM	230	3283	-2.564	0.164	1134	838	-22.0
	Biest	267	-521	1.891	0.181	1025	817	-17.8

¹Eerder is berekend dat het negatieve effect van VN op fecale verteerbaarheid van organische stof volledig teniet gedaan wordt door de toename in ME per eenheid fecaal verteerde organische stof (Hoofdstuk 4).

Tabel 19a. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 8** (Hoofdstuk 3) en waargenomen ME_{opn} waarbij standaard residuals groter dan 3 of kleiner dan -3 zijn verwijderd. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld. Er is **niet gerekend met een negatief effect van VN** op ME.¹ Verder is in dit geval gerekend met een **ME_{ond} behoefte van droge koeien van 614 (kJ/d/kg LG^{0.75})**.

Dataset	Dataset	N	Intercept ¹	Helling ¹	R ²	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Gemiddeld verschil in %
						Waargen.	Voorspeld	
Lact.	NH ₃	2098	511	0.754	0.457	2004	1979	-0.5
	WHYDRY	959	1277	0.370	0.284	2065	2128	+3.3
	AZ	348	373	0.931	0.624	2084	1837	-11.7
	DOM	2688	757	0.647	0.627	1918	1796	-6.5
	Additief	194	709	0.738	0.360	2147	1948	-9.0
Droog	NH ₃	489	382	0.530	0.037	802	794	+3.0
	WHYDRY	421	1011	-0.042	0.000	974	872	-8.0
	DOM	230	3283	-2.564	0.164	1134	838	-22.0
	Biest	267	-521	1.891	0.181	1025	817	-17.8

¹Eerder is berekend dat het negatieve effect van VN op fecale verteerbaarheid van organische stof volledig teniet gedaan wordt door de toename in ME per eenheid fecaal verteerde organische stof (Hoofdstuk 4).

Tabel 20. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 8** (Hoofdstuk 3) en waargenomen ME_{opn} (Mixed model met dataset en koe genest binnen dataset als random effecten). Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen

tussen waargenomen en voorspeld. Er is **niet gerekend met een negatief effect van VN** op ME.¹ De relatie tussen voorspelde en waargenomen ME_{opn} is geanalyseerd voor de gehele dataset en voor een selectie van de dataset gebaseerd op gewichtsverandering en melk : DSO ratio.²

Dataset ²	N	Intercept ¹	Helling ¹	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		
				Waargen.	Voorspeld	Verschil
Alle data	6334	958	0.560	1983	1915	-3.1
Selectie 1	5960	866	0.609	1982	1907	-3.5
Selectie 2	4050	444	0.840	2019	1924	-4.3

¹Eerder is aangenomen dat het negatieve effect van VN op fecale verteerbaarheid van organische stof volledig teniet gedaan wordt door de toename in ME per eenheid fecaal verteerde organische stof.

²Selectie 1: Observaties met een gewichtsverandering naar boven of naar beneden van meer dan 1 kg/d dag zijn verwijderd. Selectie 2: Observaties met een gewichtsverandering naar boven of naar beneden van meer dan 1 kg/d dag en observaties met een melk : DSO ratio kleiner dan 1.2 kg/kg en groter dan 1.8 kg zijn verwijderd.

Tabel 21. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 8** (Hoofdstuk 3) en waargenomen, voor VN gecorrigeerde ME_{opn} (Mixed model met dataset en koe genest binnen dataset als random effecten). Er is in tegenstelling tot Tabel 20 **gecorrigeerd voor een voeropname effect volgens van Es (1975)**. Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld. De relatie tussen voorspelde en waargenomen ME_{opn} is geanalyseerd voor de gehele dataset en voor een selectie van de dataset gebaseerd op gewichtsverandering en melk : DSO ratio.¹

Dataset ²	N	Intercept ¹	Helling ¹	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		
				Waargen.	Voorspeld	Verschil
Alle data	6334	966	0.487	1871	1944	4.0
Selectie 1	5960	887	0.528	1871	1936	3.7
Selectie 2	4050	534	0.719	1903	1954	3.0

¹Selectie 1: Observaties met een gewichtsverandering van meer of minder dan 1 kg/d dag zijn verwijderd.

Selectie 2: Observaties met een gewichtsverandering van meer of minder dan 1 kg/d dag en observaties met een melk : DSO ratio kleiner dan 1.2 kg/kg of groter dan 1.8 kg zijn verwijderd.

Tabel 22. Relatie tussen voorspelde ME_{opn} gebaseerd op **model 8** (Hoofdstuk 3) en waargenomen ME_{opn} (Mixed model met dataset en koe genest binnen dataset als random effecten). Tevens zijn de gemiddelde waargenomen en voorspelde ME_{opn} weergegeven en de procentuele verschillen tussen waargenomen en voorspeld. Er is **niet gerekend met een negatief effect van VN** op ME .¹ Tevens is rekening gehouden met een **10% hogere ME_{ond}** vanwege het feit dat koeien in een ligboxenstal extra bewegingsenergie nodig hebben t.o.v. koeien in respiratiekamers. De relatie tussen voorspelde en waargenomen ME_{opn} is geanalyseerd voor de gehele dataset en voor een selectie van de dataset gebaseerd op gewichtsverandering en melk : DSO ratio.²

Dataset ²	N	Intercept ¹	Helling ¹	Gemiddelde ME-opname (kJ/d/kg LG ^{0.75})		Verschil
				Waargen.	Voorspeld	
Alle data	6334	927	0.560	1983	1971	-0.3
Selectie 1	5960	832	0.609	1982	1963	-0.6
Selectie 2	4053	397	0.840	2019	1980	-1.5

¹Eerder is aangenomen dat het negatieve effect van VN op fecale verteerbaarheid van organische stof volledig teniet gedaan wordt door de toename in ME per eenheid fecaal verteerde organische stof.

²Selectie 1: Observaties met een gewichtsverandering naar boven of naar beneden van meer dan 1 kg/d dag zijn verwijderd. Selectie 2: Observaties met een gewichtsverandering naar boven of naar beneden van meer dan 1 kg/d dag en observaties met een melk : DSO ratio kleiner dan 1.2 kg/kg en groter dan 1.8 kg zijn verwijderd.

5.3.1 Verschillen tussen datasets voor lacterende dieren

Resultaten laten zien dat de 5 datasets van elkaar verschillen m.b.t. verschillen tussen voorspelde en waargenomen ME_{opn} . Zo resulteren voor de lacterende koedata de ILVO studies (AZ en Additief datasets) voor het van Es model en modellen 7 en 8 (modellen met correctie op waargenomen ME_{opn} voor VN) in het algemeen in lagere voorspelde ME_{opn} dan waargenomen terwijl voor de overige datasets uitgevoerd in Lelystad (WHYDRY en NH_3 datasets) en Leeuwarden (DOM dataset) de voorspelde ME_{opn} hoger liggen dan de waargenomen ME_{opn} .

Daarnaast zijn er grote verschillen in interceptwaarden en hellingswaarden van de relatie tussen waargenomen ME_{opn} (afhankelijke parameter) en voorspelde ME_{opn} (onafhankelijke parameter). Zo is voor alle modellen de hellingswaarde voor lacterende dieren het hoogst (variërend van 0.704 tot 0.931) en de interceptwaarde het laagst (variërend van 373 tot 614) voor de AZ dataset, terwijl voor de WHYDRY dataset de hellingswaarden voor alle modellen het laagst was (variërend van 0.282 tot 0.381) en de interceptwaarde het hoogst (variërend van 1230 tot 1312). Een hellingwaarde van 1.0 en een interceptwaarde van 0.0 is ideaal en betekent een perfecte relatie. De verschillen tussen datasets kunnen enerzijds veroorzaakt worden door het verschil tussen onderzoeksinstituten (ILVO versus WUR) waarbij systematische verschillen in voederwaardering (1: cellulase methode ILVO versus Eurofins labuitslagen WUR en 2: dat ILVO corrigeert voor verlies van vluchtige componenten tijdens drogen resulterend in een DSO die ongeveer 300 g per dag hoger ligt dan in het geval niet gecorrigeerd wordt voor verlies van vluchtige componenten), huisvesting, diermanagement, en genetica een rol spelen. Anderzijds kunnen verschillen ook veroorzaakt worden door de onnauwkeurigheid waarmee VEM-gehalten van met name ruwvoerders is geschat, de onnauwkeurigheid waarmee retentie en mobilisatie van lichaamsenergie kan worden geschat, (sub)klinische infecties, klimaat etc.

5.3.2 Verschillen tussen modellen voor lacterende dieren (met correctie voor VN)

Het blijkt dat het oude van Es (1975) model om de energiebehoefte van melkkoeien te voorspellen (zie waarden in Tabellen 16 en 16a) voor de verschillende datasets resulteert in hogere interceptwaarden en lagere hellingswaarden voor de relatie tussen ME_{opn} waargenomen en ME_{opn} voorspeld dan met model 7 (Tabellen 17 en 17a) en model 8 (Tabellen 18 en 18a). Dit betekent dat modellen 7 en 8 beter in staat zijn om variatie in ME_{opn} te voorspellen. Verder zijn de interceptwaarden lager en de hellingswaarden hoger bij gebruik van model 8 t.o.v. model 7 wat er op wijst dat model 8 beter in staat is om variatie in ME_{opn} te voorspellen dan model 7. Dit komt overeen met de resultaten Hoofdstuk 3 waar de goodness-of-fit van modellen 7 en model 8 met elkaar zijn vergeleken en model 8 beter presteerde (zie Tabel 7 in Hoofdstuk 3).

5.3.3 Effect correctie voor VN voor lacterende dieren

In Tabel 18 en Tabel 18a zijn waargenomen en door model 8 voorspelde ME_{opn} met elkaar vergeleken in het geval de waargenomen ME_{opn} zijn gecorrigeerd voor een negatief effect van voeropname op de ME-gehalte van het rantsoen volgens van Es (1975). In Tabel 19 en Tabel 19a zijn waargenomen en door model 8 voorspelde ME_{opn} met elkaar vergeleken in het geval de waargenomen ME_{opn} niet zijn gecorrigeerd voor een negatief effect van voeropname op de ME-gehalte. Eerder is berekend dat het negatieve effect van VN op fecale verteerbaarheid van organische stof volledig teniet gedaan wordt door de toename in ME per eenheid fecaal verteerde organische stof (Hoofdstuk 4). Uit een vergelijking tussen resultaten in Tabellen 18 en 19 en tussen 18a en 19a blijkt dat de hellingswaarden substantieel stijgen (van de range 0.319 – 0.787 naar de range 0.370 – 0.931) en interceptwaarden in mindere mate dalen (van de range 490 – 1252 naar de range 373 – 1277) in het geval geen rekening gehouden wordt met een negatief effect van voeropname niveau op de ME-gehalte van rantsoenen. Dit suggereert dat er inderdaad geen sprake is van een negatief effect van VN op ME-gehalten van voedermiddelen. In het geval er niet gerekend wordt met een negatief effect van voeropname niveau op ME-gehalte van rantsoenen dan blijkt dat voor 4 van de 5 datasets de voorspelde gemiddelde ME_{opn} lager te liggen dan de gemiddelde waargenomen ME_{opn} . In het geval er **wel** rekening gehouden wordt met een negatief effect van voeropname niveau dan blijkt dat voor 2 van de 5 datasets de gemiddelde voorspelde ME_{opn} lager ligt dan de gemiddelde waargenomen ME_{opn} . Indien de 5 datasets gepoold worden dan blijkt dat, **met** een correctie voor VN, de gemiddelde voorspelde ME_{opn} 4.0% hoger ligt dan de waargenomen ME_{opn} (Tabel 21). Indien observaties met hoge gewichtsveranderingen van meer of minder dan 1 kg niet mee worden genomen dan is dit verschil 3.7%, of 3.0% in het geval ook observaties met hoge (> 1.8) en lage (< 1.2) melk : DSO ratio's weggelaten worden (Tabel 21). Indien de 5 datasets gepoold worden en er **niet** gecorrigeerd wordt voor VN, dan blijkt de gemiddelde voorspelde ME_{opn} 3.1% lager te liggen dan de waargenomen ME_{opn} (Tabel 20). Indien observaties met hoge gewichtsveranderingen van meer of minder dan 1 kg niet mee worden genomen dan is dit verschil -3.5%, of -4.3% in het geval ook observaties met hoge (> 1.8) en lage (< 1.2) melk : DSO opnameratio's weggelaten worden (Tabel 20). Ook bij de gepoolde dataset blijkt dat het niet corrigeren voor VN resulteert in hellingswaarden van 0.560 tot 0.840 (Tabel 20) die dicht bij de gewenste waarde van 1.0 liggen dan in het geval er wel gecorrigeerd wordt voor VN (hellingswaarden van 0.487 – 0.719). Verder valt op dat het weglaten van observaties met hoge gewichtsveranderingen en hoge of lage melk : DSO ratio's resulteert in een sterke stijging van hellingswaarden (van 0.560 naar 0.840 zonder correctie voor VN (Tabel 20) en van 0.487 naar 0.719 met correctie voor VN (Tabel 21)).

5.3.4 Effect energietoeslag voor beweging voor lacterende dieren

De energiebehoefte voor onderhoud van modellen 7 en 8 zijn geschat op dieren in respiratiecellen die weinig beweging hadden en daardoor mogelijk ook minder energie voor beweging nodig hadden dan dieren in ligboxenstallen. Daarom is voor model 8 ook gerekend met een 10% extra hogere ME_{ond} . Indien deze toeslag ingerekend wordt dan blijkt, in het geval er niet gecorrigeerd wordt voor een negatief effect van VN op het ME-gehalte van rantsoenen, dat voor de gepoolde dataset de voorspelde ME_{opn} zo goed als gelijk is aan de waargenomen ME_{opn} (-0.3% verschil; Tabel 22). Indien observaties met hoge gewichtsveranderingen van meer of minder dan 1 kg niet mee worden genomen dan is dit verschil -0.6, of -1.5% in het geval ook observaties met hoge (> 1.8) en lage (< 1.2) melk : DSO ratio's weggelaten worden (Tabel 22).

5.3.5 Droogstaande dieren

Resultaten laten zien dat de 4 datasets van elkaar verschillen m.b.t. verschillen tussen voorspelde en waargenomen ME_{opn} . Deze verschillen zijn voor een groot deel te verklaren uit de energiedichtheid van de rantsoenen. Zo waren de gemiddelde VEM-gehalten (/kg DS) van de NH_3 dataset van 735 en de WHYDRY dataset van 777 laag terwijl de gemiddelde gehalten hoog waren voor de DOM dataset (VEM-gehalte van 837) en de Biest dataset (VEM-gehalte van 849). De lage VEM-gehalten van de NH_3 en WHYDRY dataset hebben ervoor gezorgd dat dieren beperkt werden in hun energieopname. Het feit dat in het algemeen de waargenomen ME_{opn} hoger lag dan de voorspelde ME_{opn} is niet verwonderlijk doordat in de voorspelde ME_{opn} geen inschatting gemaakt kon worden voor energieretentie terwijl er vrijwel zeker sprake geweest moet zijn van energieretentie tijdens de droogstand.

Er is geprobeerd om de ME die is gebruikt voor het aanzetten van lichaamsreserves van de koe in te schatten. Dit is gedaan door verschillen in het voor dracht gecorrigeerde lichaamsgewicht (het lichaamsgewicht dat is gecorrigeerd voor dracht: het gewicht van het kalf, vruchtwater en vliezen; volgens relatie weergegeven in Fig. 6) per week te delen door 7 dagen om zodoende de dagelijkse groei in te schatten. Daarnaast is gerekend met een energiegehalte van het aangezette gewicht van 20292 kJ en een k_g van 0.60. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 23. Ook is in Tabel 23 het verschil tussen waargenomen ME_{opn} en voorspelde ME_{opn} weergegeven waarbij voor de voorspelde ME_{opn} niet is gerekend met een negatief effect van voeropname niveau op ME-gehalte en waarbij voor het berekenen van de voorspelde ME_{opn} is gerekend met een ME_{ond} van 614 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ zonder een energietoeslag voor beweging (voor de gemiddelde ME_{opn} waargenomen en ME_{opn} voorspelde waarden per dataset: zie Tabel 19). Er is niet gerekend met een extra energiebehoefte voor beweging doordat droge koeien in ligboxenstallen weinig stress hebben (doordat er geen melkmomenten zijn, en vanwege de afwezigheid van stress bij het voerhek/krachtvoerbox) en er daardoor waarschijnlijk geen extra bewegingsenergie nodig is t.o.v. de situatie in een klimaatrespiratiecel. Uit de resultaten in Tabel 23 blijkt dat de berekende extra benodigde ME voor groei goed het verschil tussen waargenomen en voorspelde ME_{opn} kan voorspellen voor 3 van de 4 datasets. Voor de DOM dataset is dit in mindere mate het geval (hiervoor hebben we geen verklaring). Wanneer voor de berekende ME-behoefte rekening gehouden wordt met de ME-behoefte voor groei, dracht en een ME_{ond} van 614 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ dan zijn de verschillen tussen waargenomen ME_{opn} en voorspelde ME_{opn} -12, 18, 156 en 7.1 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ voor respectievelijk de NH_3 , WHYDRY, DOM en Biest dataset. In het geval gerekend zou worden met een lagere ME_{ond} van 562 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ dan zijn de verschillen tussen ME-opname en ME-berekend 30, 51, 178 en 37.1 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ voor respectievelijk de NH_3 , WHYDRY, DOM en Biest dataset.

Deze uitkomsten suggereren dat een ME_{ond} van 614 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ resulteert in een nauwkeuriger schatting van de ME-behoefte dan wanneer uitgegaan wordt van een ME_{ond} van 562 kJ/d/kg $LG^{0.75}$ of lager.

Tabel 23. Gemiddelde dagelijkse gewichtstoename tijdens de droogstand voor de 4 datasets en de gemiddelde berekende ME-behoefte voor deze gewichtstoename waarbij gerekend is met een energiegehalte per kg groei van 20920 kJ en een conversie efficiëntie van omzetting van ME naar lichaamsenergie van 0.60.

	N	LG ^{0.75} gecorrigeerd voor dracht (kg)	Groei (kg/d)	Extra ME voor groei (kJ/d/kg LG ^{0.75})	Verschil in ME _{opn} (kJ/d/kg LG ^{0.75}) tussen ME _{opn} - waargenomen en ME _{opn} - voorspeld*
NH ₃	441	128	0.076±1.597	21	9
WHYDRY	394	136	0.323±1.641	83	101
DOM	207	129	0.516±1.778	140	296
Biest	247	136	0.786±2.922	201	208

*Bij het berekenen van ME_{opn}-waargenomen is niet gerekend met een negatief effect van VN op ME-gehalte. Verder is bij de berekening van ME-voorspeld gerekend met een ME_{ond} van 614 kJ/d/kg LG^{0.75} en is aangenomen dat er geen extra energiebehoefte voor beweging nodig is (ME_{opn}-waargenomen en ME_{opn}-voorspeld zijn weergegeven in Tabel 19).

5.4 Conclusies

1. Voor lacterende koeien is de goodness-of-fit van de relatie tussen waargenomen en voorspelde ME_{opn} beter met model 8 dan met het van Es (1975) model en met model 7.
2. Het niet corrigeren van de waargenomen ME_{opn} voor VN resulteert in een betere goodness-of-fit van de relatie tussen waargenomen en voorspelde ME_{opn} dan in het geval wel gecorrigeerd wordt voor VN volgens van Es (1975).
3. Indien ME_{opn} niet gecorrigeerd wordt voor VN, is het gewenst om voor lacterende koeien de ME_{ond} van 562 kJ/d/kg LG^{0.75} van model 8 te verhogen met 10%, zodat voor de gepoolde dataset gemiddelde waargenomen ME_{opn} en gemiddelde voorspelde ME_{opn} aan elkaar gelijk zijn. Deze 10% kan is te verantwoorden omwille van de extra energietoeslag voor beweging in ligboxenstallen in vergelijking met respiratiecellen.
4. Gebruik van een ME_{ond} van 614 kJ/d/kg LG^{0.75} voor droogstaande koeien zoals vastgesteld in Hoofdstuk 2 resulteert in een betere voorspelling van de waargenomen ME-opname dan gebruik van de ME_{ond} zoals deze berekend wordt in 1) het van Es (1975) model, 2) model 7, of 3) model 8.
5. Bij gebruik van een ME_{ond} van 614 kJ/d/kg LG^{0.75} voor droogstaande koeien is het niet nodig om nog een extra energietoeslag voor beweging op te nemen.

6. ME-behoefte voor dracht

6.1 Inleiding

Het is onduidelijk hoe de oude CVB energiebehoefthenormen voor dracht voor melkkoeien tot stand zijn gekomen. Daarnaast bleek uit de richtlijn van het IPPC (2006; met toevoeging in 2019) dat de energiebehoefte voor dracht ongeveer 20% hoger zou liggen dan de oude CVB energiebehoefthenormen. Het doel van deze studie is om de wetenschappelijke literatuur t.a.v. de energiebehoefte voor dracht op een rijtje te zetten en een nieuw voorstel te doen voor de energiebehoefte voor dracht.

6.2 Materiaal en Methoden

In de literatuur zijn de volgende studies gevonden: Jakobsen et al. (1957), Moe and Tyrrell (1972), Ferrell et al. (1976; alleen abstract), Bell et al. (1995), CVB (2000; CVB-documentatierapport nr. 27), IPCC (2006; met aanpassingen in 2019) en Sguizzato et al. (2020). De formules die worden gerapporteerd in deze studies, die van belang zijn voor het berekenen van de energiebehoefte voor dracht zijn in Tabel 24 weergegeven.

Tabel 24. In studies gerapporteerde formules voor het berekenen van de energiebehoefte voor dracht

	Y*	Eenheid	Formule/waarde	Gebaseerd op
Ferrell et al. (1976)	k _{preg}	geen	0.14	Hereford pinken
Sguizzato et al. (2020)			0.141	Holstein × Gyr kruising
CVB (2000)			0.15	Onduidelijk
IPPC (2006)	NE _{preg}	(MJ benodigd voor de gehele drachtperiode)	$0.1 \times NE_m (0.386 \times LG^{0.75}) \times 365$	NRC (1996) and AFRC (1993; 1995) + 20% gedurende lactatie
Jakobsen et al. (1957)	E _{preg}	cal (cumulatief) (als functie van t (t = dagen drachtig))	$416.2 \times \exp(0.0174 \times t)$ (t = dagen drachtig)	Rood Deens melkras volgens Bell et al. (1995). Gemiddeld kalfgewicht van 36 – 40 kg.
Bell et al. (1995)		Mcal (cumulatief) (als functie van t (t = dagen drachtig))	$0.00159 \times t^2 - 0.0352 \times t - 35.4$ (t = dagen drachtig)	Meerdere kalfs Holstein koeien; gem. gewicht einde dracht was 716 kg
Sguizzato et al. (2020)		Mcal/d (als functie van t (t = dagen drachtig))	$0.02105 \times \exp(0.0141 \times t) \times (\text{verwacht gewicht kalf (kg)} / 35)$ (t = dagen drachtig)	Holstein × Gyr kruising; gem. gewicht was 480 kg
Moe and Tyrrell (1972)	ME _{preg}	kcal/LG ^{0.75} /d (LG = lichaamsgewicht in kg)	$0.567 \times \exp(0.0174 \times t)$ (t = dagen drachtig)	Holstein; gem. gewicht 672 kg.

*Y=te berekenen parameter. K_{preg} = efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie wordt omgezet in vrucht en vruchtvliezen. NE_{preg} = netto energie (lactatie) behoefte voor dracht. E_{preg} = energieretentie in vrucht en vruchtvliezen (Jakobsen et al., 1957; Bell et al., 1995) of retentie in vrucht, vruchtvliezen en melkklierweefstel (Sguizzato et al., 2020)). ME_{preg} = metaboliseerbare energie behoefte voor dracht.

Uit de studies van Ferrell et al. (1976) en Sguizzato et al. (2020) blijkt dat de efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie wordt omgezet in vrucht en vruchtvliezen (k_{preg}) 0.14 bedraagt. De waarde 0.14 is daarom ook gebruikt in de vervolgberekeningen om E_{preg} formules (E_{preg} = energie die is vastgelegd in vrucht en vruchtvliezen) uit Tabel 24 om te rekenen naar ME-behoeften voor

dracht per dag. De ME-behoeften voor dracht per dag drachtig zijn als volgt berekend naar een ME-behoefte (kJ/d) per dag in dracht (t = dagen drachtig):

Voor Jacobsen et al. (1957):

$$(416.2 \times \exp(0.0174 \times t) - 416.2 \times \exp(0.0174 \times (t - 1))) / 0.14 \times 4.184$$

Voor Bell et al. (1995):

$$((0.00159 \times t^2 - 0.0352 \times t - 35.4) - (0.00159 \times (t - 1)^2 - 0.0352 \times (t - 1) - 35.4)) / 0.14 \times 4.184 \times 1000$$

Voor Sguizzato et al. (2020), rekenend met een kalfgewicht van 44 kg (CVB, 2000):

$$0.02105 \times \exp(0.0141 \times t) \times (44 / 35) \times 4.184 \times 1000 / 0.14$$

Voor Moe en Tyrrell (1972), rekenend met een koegewicht van 675 kg (CVB, 2022a) waarbij de gewichtstoename (bestaande uit kalf, vruchtvliezen en vruchtwater) toeneemt met de formule $0.00113 \times t^2 - 0.0612 \times t$ (volgens relatie weergegeven in Fig. 6):

$$0.567 \times \exp(0.0174 \times t) \times (675 + 0.00113 \times t^2 - 0.0612 \times t)^{0.75} \times 4.184$$

In de studie van Ferrell et al. (1976) is verder aangegeven dat de geschatte ME-behoefte voor dracht 257, 1021, 3264, en 8336 kcal/d bedroeg voor respectievelijk 100, 160, 220 en 280 dagen in dracht. Voor deze waarden kan een relatie berekend worden tussen ME-behoefte voor dracht (ME_{preg}) en t . Dit is gedaan waarbij dezelfde exponentiële waarde van 0.0174 is aangehouden als in de studie van Jacobsen et al. (1957) en Moe en Tyrrell (1972) en waarbij de waarden zijn uitgedrukt in kJ i.p.v. kcal. Dit resulteerde in de volgende relatie voor de studie van Ferrell et al. (1976):

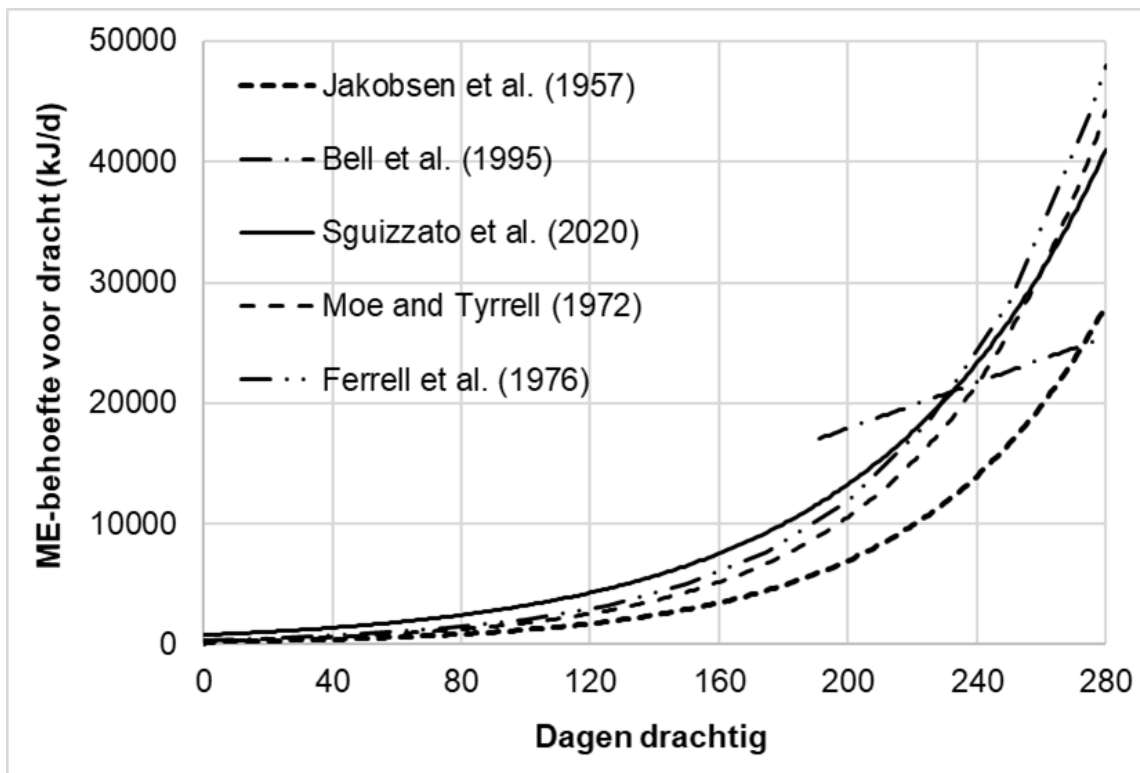
$$ME_{\text{preg}} \text{ (kJ/d)} = 267 \times \exp(0.0174 \times t)$$

Omdat het geboortegewicht van Hereford kalveren beduidend lager is dan voor Holstein koeien (gemiddeld 32 kg volgens Lawson (1976)), is bovenstaande formule vervolgens aangepast voor een ME_{preg} voor een Holstein kalf van 44 kg (CVB, 2000).

$$ME_{\text{preg}} \text{ (kJ/d)} = 267 \times \exp(0.0174 \times t) \times (44/32)$$

6.3 Resultaten en Discussie

In Fig. 9 is de relatie tussen de in de Materiaal en Methoden weergegeven ME-behoefte formules voor dracht weergegeven voor de totale drachtperiode van 0 – 280 dagen.



Figuur 9. Relatie tussen de metaboliseerbare energie (ME) behoefte voor dracht (kJ/d) en dagen drachtig voor de studies van Jakobsen et al. (1957), Bell et al. (1995), Sguizzato et al. (2020), Moe en Tyrrell (1972) en Ferrell et al. (1976).

Uit een visuele analyse van Fig. 9. valt op dat de geschatte ME_{preg} voor de studie van Bell et al. (1995) nagenoeg lineair is, terwijl voor de overige studies de relatie duidelijk exponentieel is. Verder valt op dat de geschatte ME_{preg} volgens Jakobsen et al. (1957) resulteert in duidelijk lagere waarden dan volgens de overige studies, behalve bij een drachtperiode van bijna 280 dagen waar de ME-behoefte voor dracht overeenkomt met de studie van Bell et al. (1995).

Uit een visuele analyse van Fig. 9 blijkt verder dat de relatie tussen berekende ME_{preg} en t vergelijkbaar is voor de studies van Sguizzato et al. (2020), Moe and Tyrrell (1972) en Ferrel et al. (1976) met één kanttekening dat de geschatte ME_{preg} voor de studie van Sguizzato et al. (2020) aan het begin van de dracht vrij hoog is in vergelijking met de studies van Moe and Tyrrell (1972) en Ferrell et al. (1976). De hogere ME_{preg} in de studie van Sguizzato et al. (2020) wordt veroorzaakt door het (als enige) meenemen van energieretentie in melklierweefsel; de energieretentie in melklierweefsel was op d 140 van dracht aanzienlijk hoger dan energieretentie in vrucht en vruchtvliezen en bleef tot aan eind van de dracht nagenoeg gelijk terwijl energieretentie in vrucht en vruchtwefsel exponentieel toenam.

6.4 Voorstel

Het voorstel is om CVB waarden voor ME_{preg} te baseren op de studies van Sguizzato et al. (2020), Moe and Tyrrell (1972) en Ferrel et al. (1976). Twee andere studies worden niet in aanmerking genomen nl. de studie van Jakobsen et al. (1975) resulteert in een duidelijk lagere berekende ME-behoefte, terwijl de studie van Bell et al. (1995) een lineaire ipv exponentiële relatie voorstelt. Als de gemiddelde ME_{preg} waarde volgens de studies van Sguizzato et al. (2020), Moe and Tyrrell (1972) en Ferrel et al. (1976) berekend wordt voor de range van 1 tot 280 dagen dracht en deze gemiddelde waarden voor elke dag in dracht gefit worden volgens het model:

$ME_{preg} = a \times \exp(b \times t)$, dan wordt de uitkomst van dit model:

$$ME_{\text{preg}} \text{ (kJ/d)} = 455 \times \exp(0.01634 \times t)$$

Vervolgens is ME_{preg} omgerekend naar VEM d.m.v. het gebruik van de oude VEM-rekenregels (waarbij er geen rekening wordt gehouden met een effect van VN vanwege de onduidelijkheid in hoeverre deze relatie ook geldt voor droogstaande koeien):

$$\text{VEM-oud} = (ME_{\text{preg}} \times (0.463 + 0.0024 \times q)) / 6.9$$

De ME_{preg} is omgerekend naar VEM d.m.v. de nieuwe VEM-rekenregels als volgt:

$$\text{VEM-nieuw} = (ME_{\text{preg}} \times (0.405 + 0.00418 \times q)) / 7.82$$

Vervolgens zijn de gemiddelde ME_{preg} en VEM-behoeftenormen voor dracht per maand uitgerekend, rekening houdend met een q-waarde van het rantsoen van 61.1 (VEM-gehalte van 973 /kg DS) voor de eerste 7 maanden van de dracht (periode waarin dieren melk geven) en een q-waarde van het rantsoen van 51.1 (VEM-gehalte van 783 /kg DS) voor de laatste 2 maanden van de dracht (periode waarin dieren droog staan). Deze waarden, inclusief de oude CVB behoeftenormen voor dracht, zijn weergegeven in Tabel 25. Uit de resultaten in Tabel 25 blijkt dat de nieuw voorgestelde VEM-behoeftenormen voor dracht bij gebruik van de nieuwe VEM-rekenregels 47%, 28%, 12% en 2% hoger liggen dan de oude VEM-behoeftenormen voor respectievelijk de 6^e, 7^e, 8^e en 9^e maand van de dracht.

De totale netto energiebehoefte voor dracht (van dag 1 tot en met dag 280) bij gebruik van de oude en de nieuwe VEM-rekenregels is, respectievelijk, 1604 en 1711 MJ. Gebruik van de IPCC rekenregel resulteert in een totale netto energiebehoefte voor dracht van:

$$0.1 \times (0.386 \times 675^{0.75}) \times 365 = 1866 \text{ MJ}$$

Gebruik van de IPCC rekenregel resulteert dus in een aanzienlijk hogere energiebehoefte voor dracht (16% hoger bij gebruik van de oude rekenregels en 9% hoger bij gebruik van de nieuwe rekenregels).

Tabel 25. Oude en nieuw voorgestelde energiebehoefthenormen voor dracht voor de verschillende maanden van dracht, rekening houdend met een q-waarde van het rantsoen van 61.1 (VEM-gehalte van 973 /kg DS) voor de eerste 7 maanden van de dracht (periode waarin dieren melk geven) en een q-waarde van het rantsoen van 51.1 (VEM-gehalte van 783 /kg DS) voor de laatste 2 maanden van de dracht (periode waarin dieren droog staan). De nieuw voorgestelde energiebehoefthenormen voor dracht zijn gebaseerd op de studies van Sguizzato et al. (2020), Moe en Tyrrell (1972) en Ferrel et al. (1976).

	Oude behoefthenorm	Nieuw voorstel energiebehoefthen dracht gebaseerd		
Maand van dracht	VEM-oud (VEM/d)	ME _{preg} (kJ/d)*	Oude VEM rekenregels (VEM/d)**	Nieuwe VEM rekenregels (VEM/d)**
4		2889	255	244
5		4758	420	402
6	450	7826	691	661
7	850	12891	1139	1089
8	1500	21205	1801	1680
9	2700	34928	2967	2767

*ME_{preg} = metaboliseerbare energiebehoefte voor dracht.

**Het verschil tussen de oude en nieuwe VEM rekenregels komt voort uit het verschil in de berekening van de conversie-efficiëntie van ME naar melk. Deze conversie-efficiëntie is nodig om de berekende ME-behoefte voor dracht te converteren naar een NE-behoefte en om vervolgens deze berekende NE-behoefte om te rekenen naar een VEM-behoefte door de berekende NE-behoefte te delen door 6.9 (oude VEM-rekenregel) of 7.82 (nieuwe VEM-rekenregel, zie hoofdstuk 10).

7. ME-behoefte voor beweiding

7.1 Introductie

Tot op heden had CVB geen energiebehoeftenormen voor beweiding voor lacterende koeien. Het doel van dit hoofdstuk is om een inschatting te maken van de energiebehoefte voor beweiding. Als uitgangspunt is ervoor gekozen om de energiebehoefte voor beweiding uit te drukken als een energiebehoefte t.o.v. de energiebehoefte voor onderhoud voor koeien in een ligboxenstal. Om een inschatting te maken van de energiebehoefte voor beweiding is het idealiter gewenst om:

1. de energiebehoefte voor liggen (per uur), staan (per uur), lopen (per km), vreten aan het voerhek (per uur) en grazen (per uur) te kennen en
2. de tijdsbesteding en aantallen gelopen kilometers te kennen voor bovengenoemde activiteiten voor koeien in een ligboxenstal en koeien die onbeperkt/beperkt beweiden worden

Daartoe is de beschikbare informatie in de wetenschappelijke literatuur onderzocht.

7.2 Resultaten en Discussie

7.2.1 Tijdsbesteding koeien op stal en in de wei

Een overzicht van resultaten uit de wetenschappelijke literatuur m.b.t. tijdsbesteding (uur/dag) van melkkoeien die geweid worden of op stal gehuisvest worden is weergegeven in Tabel 26.

Tabel 26. Overzicht van resultaten uit de wetenschappelijke literatuur m.b.t. tijdsbesteding (uur/dag) van melkkoeien die geweid worden of op stal gehuisvest worden.

Studie	Type studie	Huisvesting	Aantal studies (aantal koeien)	Gemiddelde tijdsbesteding (uur/dag)				
				Liggen (stal-huisvesting)	Liggen (beweiding)	Vreten/ grazen	staan	melken
Munksgaard et al. (2005)	Experiment	ligboxenstal	(16)	12.8		4.5		
Tucker et al. (2021)	Review	ligboxenstal	12 (12421)	11.2 (10.5 – 12.0)				
		Aanbindstal	100 (400)	12.5				
		Weide	2 (574)		9.0			
Gomez and Cook (2010)	Experiment	ligboxenstal	(205) 16 stallen	11.9		4.3	2.7	2.7
Hetti Arachchige et al. (2013)	Experiment (20 uur beweiding per dag)	Weide (8, 10, 12 en 14 kg DS bijvoeding)	(32)		10.4	5.0*		3.0
			(32)		10.7	4.9*		
			(32)		10.2	4.5*		
			(32)		10.8	4.1*		
Dohme-Meier et al. (2014)**	Experiment	grazen (16-18.5 uur/dag)	(14)		9.7	8.8	9.1	
		ligboxenstal		10.3		6.6	11.5	

*Tijd besteed aan grazen, waarbij vreetijd van supplement niet is meegenomen.

** De som van liggen, vreten/grazen en staan is meer dan 24 uur omdat een deel van de tijd zowel is geregistreerd als staan als vreten/grazen.

Tucker et al. (2021) vonden een gemiddelde ligtijd van 11 uur per etmaal voor koeien in ligboxen- en aanbindstallen gebaseerd op 3122 individuele koeien op bedrijven in Canada en de Verenigde Staten. Verder rapporteerden Tucker et al. (2021) voor koeien die worden geweid een ligduur van rond de 9 uur per etmaal (gebaseerd op 2 studies). Tucker et al. (2021) vonden verder een

negatieve relatie tussen vreet/graastijd en ligtijd waarbij koeien in de weide meer tijd besteden aan grazen (bulk van de observaties tussen de 7 en 10 uur) dan koeien in ligboxen- en aanbindstallen besteden aan vreten (bulk van de observaties tussen de 2 en 6 uur) en ook dat weidende koeien een kortere ligtijd hadden. Tucker et al. (2021) concludeerden verder dat in het geval de waarde van de graastijd per dag van grazende koeien zich in de range van vreettijden van stal gehuisveste dieren lag dat dit resulteerde in vergelijkbare lichtijden. Hetti Arachchige et al. (2013) onderzochten het effect van bijvoeding naast beweiding op graasgedrag en vonden dat het verhogen van de bijvoeding van 8 naar 14 kg DS/dag resulteerde in een significante verkorting van de graastijd van 5.0 uur per etmaal naar 4.1 uur per etmaal maar dit resulteerde echter niet in een significant langere ligtijd (lichtijd varieerde van 10.4 uur per etmaal bij een bijvoeding van 8 kg DS/dag tot 10.8 uur per etmaal bij een bijvoeding van 14 kg DS/dag). Echter, de variatie in ligtijd van 10.4 – 10.8 uur per etmaal ligt al zeer dicht bij de gemiddelde ligtijd van 11 uur per etmaal voor koeien gehuisvest in ligboxenstallen zoals gevonden in de studie van Tucker et al. (2021). Gomez en Cook (2010) vonden bij 205 melkkoeien in 16 ligboxenstallen dat per etmaal 4.3 uur besteed werd aan vreten, 2.7 uur aan melken, 5.2 uur aan staan en 11.9 uur aan liggen. Motupalli et al. (2014) onderzochten het effect van aanbod van gras (3000 versus 1800 kg DS/ha) en afstand van de stal naar de weide (38 versus 254 m) op gedrag van de koeien wanneer deze vrije toegang hadden tot de weide. Gemiddeld spendeerden de koeien 69% van de tijd in de weide. Opmerkelijk was dat koeien bijna al het voer opnamen in de stal, 21.2 – 21.6 kg DS per dag, en slechts 0.8 – 1.6 kg als vers gras. Gedragsobservaties zoals liggen, lopen en staan werden overdag uitgevoerd en resulteerden in de volgende uitkomsten: zowel een hoog als laag aanbod van gras resulteerde in een gemiddelde ligtijd in de weide van 44.2% van de totale gemeten tijd overdag terwijl de lange afstand resulteerde in een substantieel kortere ligtijd t.o.v. de korte afstand (36.3 versus 52.1% van tijd overdag) terwijl de gemiddelde ligtijd overdag voor stal gehuisveste dieren 34.6% bedroeg. Graastijd overdag was 18.4% van de totale gemeten tijd bij het hoge grasaanbod en 11.1% van de totale gemeten tijd bij het lage grasaanbod. Bij de korte afstand was de graasduur 17.8% van de totale tijd overdag versus 11.6% bij de lange afstand. De overdag gemeten staantijd bedroeg 61.8% voor stal gehuisveste dieren vergeleken met 44.9% van grazende dieren in de weide op korte afstand terwijl er geen verschil in staantijd was tussen stal gehuisveste dieren en dieren in de weide op grote afstand. Dohme-Meier et al. (2014) onderzochten het verschil in energieverbruik tussen grazende en niet grazende melkkoeien waarbij de niet grazende dieren vers gemaaid gras kregen van hetzelfde stuk land als de grazende dieren. Grazende koeien waren buiten gedurende 16-18.5 uur per etmaal. Zowel de grazende als de niet grazende dieren kregen ruim 5 kg DS aan krachtvoer. Grasopname was 16.8 kg DS voor de grazende dieren en 18.9 kg DS voor de niet grazende dieren (significant verschil). Gemiddeld per etmaal lagen de grazende dieren 9.7 uur en de niet grazende dieren 10.3 uur (significant verschil). In tegenstelling tot de studie van Gomez en Cook (2010) stonden de grazende dieren per etmaal meer dan niet grazende dieren, respectievelijk 9.1 uur en 11.5 uur (significant verschil). Gemiddeld per etmaal graasden de grazende dieren 8.8 uur en de niet grazende dieren vraten gemiddeld 6.6 uur (significant verschil). Per etmaal liepen de grazende dieren 5.2 uur en de niet grazende dieren 2.2 uur (significant verschil). Het is opmerkelijk dat de niet grazende dieren 6.6 uur per etmaal aan vreten besteden aangezien dit substantieel meer is dan de 4.3 uur per etmaal in het onderzoek van Gomez en Cook (2010) en dit zich ook aan de rand van de range aan vreettijd per dag van stal gehuisveste dieren van 6 uur/dag bevindt van de studie van Tucker et al. (2021). Een verklaring hiervoor is dat, omdat vers gras een vochtrijk product is, er meer tijd nodig is om de benodigde hoeveelheid voer op te nemen om te voldoen aan de energiebehoefte voor onderhoud en melkproductie. Dit blijkt ook wel uit het feit dat de grazende dieren in de studie van Dohme-Meier et al. (2014) een negatieve energiebalans hadden terwijl dit niet het geval was voor de niet grazende dieren. In de studie van Kaufmann et al. (2011) wilde men het verschil in energieverbruik meten tussen net afgekalfde (gem. 38 dagen in lactatie) grazende melkkoeien en stalgehuisveste koeien. Beide

groepen hadden hetzelfde rantsoen waarbij gras van dezelfde weide als waar de koeien graasden aan de dieren op stal werd gevoerd. Gedurende een tijdsperiode van 6 uur overdag (van 7:00 – 13:00 uur) werd het gedrag gemeten van zowel de koeien op stal als in de wei. Gemiddeld stonden de koeien in de stal 46.9% van de tijd t.o.v. 34.9% in de wei, lagen de koeien in de stal 43.7% van de tijd t.o.v. 37.3% in de wei, liepen de koeien in de stal 9.4% van de tijd t.o.v. 27.9% in de wei en aten de koeien in de stal 36.5% van de tijd t.o.v. 47.1% van de tijd in de wei. Vers grasopname was 16.1 kg DS per etmaal in de stal en 15.0 kg DS per etmaal in de weide terwijl voor beide groepen krachtvoeropname 6.39 kg DS bedroeg. De berekende energiebalans was negatief voor beide groepen maar was het meest negatief voor de weidende dieren. Op basis van bovenstaande studies wordt geconcludeerd dat in het algemeen beweiden t.o.v. stalhuisvesting resulteert in langere graastijden t.o.v. vreettijden aan het voerhek en in het algemeen in kortere ligtijden voor weidende dieren t.o.v. stal gehuisveste dieren met als mogelijke reden dat weidende dieren langer grazen om voldoende energie binnen te krijgen en dit compenseren met een kortere ligtijd. Uit twee van bovenstaande studies blijkt ook dat weidende koeien moeite kunnen hebben om aan hun energiebehoefte te voldoen, wat resulteert in lagere voeropnames dan stal gehuisveste dieren en in energiebalansen die negatiever of minder positief zijn dan op stal gehuisveste dieren. Weidende dieren besteden in het algemeen meer tijd aan lopen wat goed te verklaren is door het feit dat dieren moeten lopen tijdens het grazen en vanwege de afstand tussen de weide en de melkput. Met betrekking tot de tijdbesteding staan is het lastig om conclusies te trekken op basis van bovenstaande gegevens.

7.2.2 Energiebehoefte voor beweiden t.o.v. stalgehuisveste dieren

Brosh et al. (2010) onderzochten de energiekosten van vleeskoeien die bijgevoerd werden met kippenmest (gemiddeld 1.31 kg DS/dag). Het gemiddelde grasaanbod was 1084 kg DS/ha in maart, 2415 kg DS/ha in mei en 1104 kg DS/ha in september. Gemeten ligtijden bedroegen 5.43, 6.23 en 7.07 uur per etmaal voor respectievelijk de maanden maart, mei en september. Gemeten staantijden bedroegen 6.63, 9.03, en 8.42 uur per etmaal voor respectievelijk de maanden maart, mei en september. Gemeten graastijden bedroegen 11.68, 8.32, en 7.43 uur per etmaal voor respectievelijk de maanden maart, mei en september. Gemeten looptijden zonder ogenschijnlijk doel bedroegen 0.18, 0.40, en 1.07 uur per etmaal voor respectievelijk de maanden maart, mei en september. Warmteproductie werd geschat door het meten van de hartslag. Modelmatig geschatte energiebehoeften voor activiteiten boven de energiebehoefte voor liggen waren als volgt waarbij 60% van de gemeten variatie geschat kon worden:

1. staan: 43.2 kJ/kg LG^{0.75} per uur
2. grazen: 89.4 kJ/kg LG^{0.75} per uur
3. lopen: 86.1 kJ/kg LG^{0.75} per uur
4. verplaatsing: 2.8 kJ/kg LG^{0.75} per km (horizontale verplaatsing)

Kaufman et al. (2011) onderzochten het energieverbruik van grazende dieren t.o.v. stal gevoerde dieren waarbij de stal gevoerde dieren vers gras kregen van het stuk land waar ook de grazende dieren op weiden. Energieverbruik van dieren werd geschat d.m.v. de ¹³C verdunningstechniek (pulsdosys) voor een periode van 6 uur (van 7:00 – 13:00 uur). Het energieverbruik in de periode bleek voor de stal gevoerde en grazende dieren respectievelijk 253 en 307 kJ/kg LG^{0.75} te bedragen, een verschil van 54 kJ/kg LG^{0.75}. In het geval gerekend wordt met de energiebehoeften voor staan, grazen, lopen en verplaatsing van Brosh et al. (2011) dan wordt een verschil in energiebehoefte van 47 kJ/kg LG^{0.75} uitgerekend zoals toegelicht in Tabel 27. Dit berekende verschil is lager dan de gemeten waarde van 54 kJ/kg LG^{0.75} en het verschil zou nog groter worden in het geval ook rekening gehouden zou worden met de CO₂ productie als gevolg van het metabolisme van de 1.1 kg DS vers gras die stal gevoerde koeien meer opnamen dan de

weidende dieren. In het geval gerekend wordt met ME-behoefte voor onderhoud van 562×1.1 kJ/kg LG^{0.75} (zie Hoofdstuk 3 en 5) dan zou dit betekenen in het geval van de studie van Kaufmann et al. (2011) en bij extrapolatie van de 6-uurs periode naar een 24 uurs periode dat onbeperkt grazende dieren t.o.v. stal gevoerde dieren een extra energiebehoefte van 31% van de energiebehoefte voor onderhoud nodig hebben. Indien rekening gehouden wordt met de extra warmteproductie als gevolg van het metaboliseren van 1.1 kg extra vers gras bij de stal gevoerde dieren dan verandert het beeld. Bijvoorbeeld, in het geval gerekend wordt met een ME-gehalte van vers gras van 11314 kJ/kg DS (waarde van vers gras in CVB Veevoedertabel 2021), een bijbehorende q-waarde van 62.6, en een conversie efficiëntie van ME naar melk van 0.667 (berekend als $0.405 + 0.00418 \times q$ volgens hoofdstuk 3) dan kan gesteld worden dat de extra warmteproductie $(1 - 0.667) \times 1.1 \times 11314 = 4144$ kJ per dag bedraagt. Uitgedrukt per kg LG^{0.75} is dit $4144 / 660^{0.75} = 31.8$ kJ/kg LG^{0.75} per etmaal of 8.0 kJ/kg LG^{0.75} per 6 uur. Dit betekent een 6-uurs verschil van $54 + 8 = 62$ kJ/kg LG^{0.75} of In het geval gerekend wordt met een ME-behoefte voor onderhoud van 562×1.1 kJ/kg LG^{0.75} (o.b.v. hoofdstuk 3 en 5) en bij extrapolatie van de 6-uurs periode naar een 24 uurs periode dat onbeperkt grazende dieren t.o.v. stal gevoerde dieren een extra energiebehoefte van 40% van de energiebehoefte voor onderhoud hebben. Opgemerkt dient te worden dat het gebruik van een pulsdosis ook een steady state situatie vereist. In hoeverre in de studie van Kaufmann et al. (2011) er in de meetperiode sprake was van een steady state situatie, en in hoeverre een niet-steady-state situatie de meetresultaten heeft beïnvloed is de vraag. Ook is het de vraag in hoeverre de tijdsbesteding van koeien in de gemeten 6-uur periode representatief is voor een etmaal en in hoeverre extrapolatie al of niet leidt tot foutieve resultaten. Resultaten van de studie van Dohme-Meijer et al. (2014) laten zien dat de tijdsbesteding in de gemeten 6 uur zeker afwijkend kan zijn van de 24-uurs tijdsbesteding.

Tabel 27. Voorspelling van het verschil in energiebehoefte voor beweiding t.o.v. stalhuisvesting o.b.v. modeluitkomsten van de studie van Brosh et al. (2010) voor de studie van Kaufmann et al. (2011). De verschillen zijn gebaseerd op een tijdsperiode van 6 uur. Verder zijn de verschillen ook geëxtrapoleerd naar tijdsperiodes van 12 en 24 uur.

Activiteit	Stal (% van tijd)	Weide (% van tijd)	Verskil (uur) Per 6 uur	Verskil (kJ/kg LG ^{0.75}) Per 6 uur	Verskil (kJ/kg LG ^{0.75}) per 12 uur	Verskil (kJ/kg LG ^{0.75}) per 24 uur
Liggen	43.7	37.3	-0.4			
Staan ¹	10.4	6.2	-0.3	-11	-22	-44
Vreten/Grazen	36.5	47.1	0.6	57	114	227
Lopen ¹	9.4	9.4	0.0	0	0	0
Stappen (n)	370 ²	1224 ²	427 ³	1	2	5
Totaal				47	94	189
extra energiebehoefte voor grazen (% van energiebehoefte voor onderhoud) ⁴				8	15	31

¹In de studie van Kaufmann et al. (2011) is niet gekeken naar de tijd dat koeien staan of lopen zonder te grazen terwijl deze tijdperiodes wel nodig zijn voor het berekenen van het energieverbruik voor grazen wanneer de energieverbruikswaarden uit de studie van Brosh et al. (2010) gebruikt worden. Daarom is de tijdsperiode voor staan voor de stal-behandeling berekend als percentage staan minus het percentage vreten ($46.9\% - 36.5\% = 10.4\%$). Voor de weideperiode is aangehouden dat dieren eenzelfde percentage van de tijd lopen.

²stappen gezet door de koe in een tijdsperiode van 6 uur

³uitgedrukt in meter waarbij is aangenomen dat per stap een afstand van 0.5 meter wordt afgelegd.

⁴Als energiebehoefte voor onderhoud is gerekend met een waarde van 562 kJ/kg LG^{0.75} o.b.v. hoofdstuk 3 + 10% extra energie boven onderhoudsbehoefte voor beweging in een ligboxenstal t.o.v. aangebonden huisvesting (zie hoofdstuk 5).

Dohme-Meijer et al. (2014) onderzochten het energieverbruik van grazende dieren t.o.v. stal gevoerde dieren waarbij de stal gevoerde dieren vers gras kregen van het stuk land waar ook de grazende dieren op weiden. Energieverbruik van dieren werd, net als in de studie van Kaufmann et al. (2011), geschat d.m.v. de ^{13}C verdunningstechniek (pulsdosis) voor een periode van 6 uur (van 7:00 – 13:00 uur).

Het energieverbruik in de periode bleek voor de stal gevoerde en grazende dieren respectievelijk 269 en 319 kJ/kg $\text{LG}^{0.75}$ te bedragen, een verschil van 50 kJ/kg $\text{LG}^{0.75}$ of 18.6%. In het geval gerekend wordt met de energiebehoeften voor staan, grazen, lopen en verplaatsing van Brosh et al. (2011) dan wordt een verschil in energiebehoefte van 34 kJ/kg $\text{LG}^{0.75}$ uitgerekend zoals toegelicht in Tabel 28. Dit is een stuk lager dan de gemeten verschilwaarde van 50 kJ/kg $\text{LG}^{0.75}$. Het verschil zou nog groter worden als in dit geval ook rekening gehouden zou worden met de CO_2 productie als gevolg van het metabolisme van de 2.0 kg DS vers gras die stal gevoerde koeien meer opnamen dan de weidende dieren. Indien rekening gehouden wordt met de extra warmteproductie als gevolg van het metaboliseren van 2.0 kg extra vers gras bij de stal gevoerde dieren dan verandert het beeld. Bijvoorbeeld, in het geval gerekend wordt met een ME-gehalte van vers gras van 11314 kJ/kg DS (waarde van vers gras in CVB Veevoedertabel 2021), een bijbehorende q-waarde van 62.6, en een conversie efficiëntie van ME naar melk van 0.667 (berekend als $0.405 + 0.00418 \times q$ (zie hoofdstuk 3) dan kan gesteld worden dat de extra warmteproductie $(1 - 0.667) \times 2.0 \times 11314 = 7535$ kJ per dag bedraagt. Uitgedrukt per kg $\text{LG}^{0.75}$ is dit $7535 / 665^{0.75} = 57.7$ kJ/kg $\text{LG}^{0.75}$ per etmaal of 14.4 kJ/kg $\text{LG}^{0.75}$ per 6 uur. Dit betekent een 6-uurs verschil van $50 + 14.4 = 64$ kJ/kg $\text{LG}^{0.75}$ (23.8%). In het geval gerekend wordt met een ME_{ond} van 562×1.1 kJ/kg $\text{LG}^{0.75}$ (zie hoofdstuk 3 en 5) en bij extrapolatie van de 6-uurs periode naar een 24 uurs periode dat onbepaaldt grazende dieren t.o.v. stal gevoerde dieren een extra energiebehoefte van 42% van de energiebehoefte voor onderhoud nodig hebben. Overigens lijkt het erop dat in de studie van Dohme-Meijer et al. (2014) een deel van de resultaten van de studie van Kaufmann et al. (2011) worden herbruikt gezien het begingewicht, de dagen in lactatie en melkproductie (inclusief standaarddeviaties) in serie 1 resultaten van de studie van Dohme-Meijer exact overeenkomen met de waarden weergegeven in de studie van Kaufmann et al. (2011). Deze extra energiebehoefte voor grazen van 42% bovenop de energiebehoefte voor onderhoud in de studie van Dohme-Meijer et al. (2014) is bijna identiek aan de geëxtrapoleerde 24-uurs waarde (geëxtrapoleerd vanuit een meetperiode van 6 uur) van 40% uit de studie van Kaufmann et al. (2011). In tegenstelling tot de studie van Kaufmann, is in de studie van Dohme-Meijer ook gemeten wat de activiteit van dieren was op 24-uurs basis. Daaruit blijkt dat de vreettijd uitgedrukt als percentage van tijd bij stal gevoerde dieren 44% bedraagt voor de 6-uurs periode en slechts 27.6% voor de 24-uurs periode (vermindering van 37%). De graastijd, uitgedrukt als percentage van tijd, is bij weidende dieren 49.6% voor de 6-uurs periode en 36.6% voor de 24-uurs periode (vermindering van 26%). Verder is de ligperiode, uitgedrukt als percentage van tijd, bij stal gevoerde dieren 36.5% voor de 6-uurs periode en 42.9% voor de 24-uurs periode (toename van 17.6%) en is de ligperiode, uitgedrukt als percentage van tijd, bij weidende dieren 29.9% voor de 6-uurs periode en 40.4% voor de 24-uurs periode (toename van 35.2%). Dit laat zien dat resultaten van de 6-uurs metingen niet zomaar geëxtrapoleerd kunnen worden naar 24-uurs waarden en dat de extra energiebehoefte voor beweiding van 40% (studie van Kaufmann et al. (2011)) en 42% (studie van Dohme-Meijer et al. (2014)) van de energiebehoefte voor onderhoud mogelijk wat te hoog is ingeschat. Verder wordt opgemerkt dat het gebruik van een pulsdosis ook een steady state situatie vereist. In hoeverre in de studie van Dohme-Meijer et al. (2014) er in de meetperiode sprake was van een steady state situatie en in hoeverre een niet-steady-state situatie meetresultaten heeft beïnvloed is onduidelijk.

Tabel 28. Voorspelling van het verschil in energiebehoefte voor beweiding t.o.v. stalhuisvesting o.b.v. modeluitkomsten van de studie van Brosh et al. (2010) voor de studie van Dohme-Meijer et al. (2014). De verschillen zijn gebaseerd op een tijdsperiode van 6 uur.

Activiteit	Stal (% van tijd)	Weide (% van tijd)	Vershil in tijd (uur) per 6 uur	Vershil (kJ/kg LG ^{0.75}) per 6 uur
Liggen	36.5	29.9	-0.4	
Staan ¹	9.6	10.6	0.1	3
Vreten/Grazen	44.0	49.6	0.3	30
Lopen ¹	9.9	9.9	0.0	0
Stappen (n)	404 ²	1392 ²	494 ³	1
Totaal				34
extra energiebehoefte voor grazen (% van energiebehoefte voor onderhoud) ⁴				5

¹In de studie van Dohme-Meijer et al. (2014) is niet gekeken naar de tijd dat koeien staan of lopen zonder te grazen terwijl deze tijdperiodes wel nodig zijn voor het berekenen van het energieverbruik voor grazen wanneer de energieverbruikswaarden uit de studie van Brosh et al. (2010) gebruikt worden. Daarom is de tijdsperiode voor staan voor de stal-behandeling berekend als percentage staan minus het percentage vreten (53.6% - 44.0% = 6.6%). Voor de weideperiode is aangehouden dat dieren eenzelfde percentage van de tijd lopen.

²stappen gezet door de koe in een tijdsperiode van 24 uur en teruggerekend naar een periode van 6 uur.

³uitgedrukt in meter waarbij is aangenomen dat per stap een afstand van 0.5 meter wordt afgelegd.

⁴Als energiebehoefte voor onderhoud is gerekend met een waarde van 562 kJ/kg LG^{0.75} (hoofdstuk 3) + 10% extra energie boven onderhoudsbehoefte voor beweging in een ligboxenstal t.o.v. aangebonden huisvesting (hoofdstuk 5).

Jasinsky et al. (2019) onderzochten het energieverbruik van luzerne grazende lacterende vaarzen (6 uur grazen per dag) t.o.v. 100% stal gevoerde vaarzen. Energieverbruik van dieren werd geschat d.m.v. het meten van de hartslag en zuurstofverbruik. Onduidelijk in dit onderzoek was het gedrag van de dieren (uren staan, liggen, vreten, grazen) en hoeveel voer er via het rantsoen op stal en in de wei is opgenomen. De grazende dieren kregen 70% van het PMR van de stal gevoerde vaarzen plus 4 kg DS aan krachtvoer per dag, dat is dezelfde hoeveelheid krachtvoer als de stal gevoerde vaarzen. De gemeten warmteproductie voor de stal gevoerde dieren en 6-uur per dag geweide dieren was respectievelijk 858 en 896 kJ/kg LG^{0.75} per dag. Dit is een verschil van 38 kJ/kg LG^{0.75} (=4.4%). In het geval gerekend wordt met een ME-behoefte voor onderhoud van 562 × 1.1 kJ/kg LG^{0.75} (zie hoofdstukken 3 en 5) en bij extrapolatie van de 6-uurs periode naar een 12- en een 24 uren periode betekent dit dat onbeperkt grazende dieren t.o.v. stal gevoerde dieren een extra energiebehoefte van respectievelijk 6%, 12% en 25% van de energiebehoefte voor onderhoud nodig hebben bij 6, 12 of 24 uur weiden per dag. Deze 25% extra energiebehoefte boven onderhoud voor grazen is mogelijk een onderschatting als aangenomen wordt dat de voeropname van de grazende dieren lager was dan de stalgevoerde dieren (wat waarschijnlijk wel het geval was gezien de lagere melkproductie van 26.3 kg/dag voor de grazende dieren t.o.v. 28.1 kg melk voor de stalgevoerde dieren).

In een studie van Talmón et al. (2019) zijn twee beweidingsstrategieën met elkaar vergeleken. In de ene strategie kregen melkkoeien toegang tot een luzerne/kropaar weide met een aanbod van 21 kg DS/koe/dag (gemeten vanaf 5 cm boven de grond) in twee graassessies (in totaal 18 uur beweiding/dag) en gesupplementeerd met 7.5 kg DS aan krachtvoer. In de tweede strategie kregen melkkoeien beperkt toegang tot een luzerne/kropaar weide met een aanbod van 9.7 kg DS/koe/dag (gemeten vanaf 5 cm boven de grond) in één graassessie na de middagmelking (in totaal 12 uur beweiding/dag) en gesupplementeerd met 15 kg DS aan TMR met een 50:50

krachtvoer/ruwvoer verhouding in de DS. In beide strategieën was de voorspelde ME-opname en gemeten ME-excretie in melk gelijk (ME-opname van gem. 2025 ± 49 kJ/kg $LG^{0.75}$ en ME in melk van 924 ± 100 kJ/kg $LG^{0.75}$ (gem. 33 kg melk per dag)). De gemeten warmteproductie (gemeten met de O_2 -pulstechniek) was 1212 ± 36 kJ/kg $LG^{0.75}$ voor de onbeperkt weiden behandeling en 1091 ± 36 kJ/kg $LG^{0.75}$ voor de beperkt weiden behandeling. Dit verschil van 121 kJ/kg $LG^{0.75}$ betekent, uitgaande van een ME-behoefte voor onderhoud van 562×1.1 kJ/kg $LG^{0.75}$ (zie hoofdstukken 3 en 5) dat de 18 uur weidende dieren t.o.v. de 12 uur weidende dieren een extra energiebehoefte van 20% van de energiebehoefte voor onderhoud nodig hadden. Deze extra 20% energiebehoefte voor onderhoud is dus gemeten voor een situatie waarin van een min of meer beperkt weiden scenario wordt overgegaan naar een onbeperkt weiden scenario.

In een studie van Jasinsky et al. (2022) is onderzocht wat de extra energiebehoefte is voor weidende dieren (één graassessie van 14 uur per dag (aanbod van 20 kg DS luzerne per koe per dag) met een TMR aanbod van 50% van de op stal gehuisveste dieren gevoerd tijdens de overige 10 uur op stal) t.o.v. de op stal gehuisveste dieren. Uit de resultaten bleek dat grazende dieren minder lang rusten (15.9 versus 17.9 uur per dag voor op stal gehuisveste dieren) en meer tijd besteden aan eten (7.3 versus 5.4 uur per dag voor stalgehuisveste dieren). De (d.m.v. de O_2 -pulstechniek) gemeten extra energieverbruik lag gemiddeld 15% hoger (dan energiebehoefte voor onderhoud) voor de weidende dieren. Informatie m.b.t. voeropname en melkproductie is verder niet gegeven en dit maakt het lastig om een beeld te vormen in hoeverre verschillen in energieverbruik beïnvloed zijn door verschillen in voeropname.

In een review schatte Osuji (1974) in dat t.o.v. stal gevoerde schapen, beweiding van schapen resulteerde in een toename van de energiebehoefte voor onderhoud van 29%. Het is echter de vraag of berekende energiebehoeften voor grazen, staan en lopen voor schapen (Osuji, 1974) en vleeskoeien (Brosh et al., 2010) ook gelden voor melkkoeien.

Uit een vergelijking tussen waargenomen verschillen in energieverbruik tussen stal gevoerde melkkoeien en grazende melkkoeien in de studies van Kaufmann et al. (2011) en Dohme-Meijer et al. (2014) en voorspelde verschillen in energiegebruik o.b.v. modelresultaten van Brosh et al. (2010) gebaseerd op vleeskoeien lijkt het erop dat vleeskoeien en melkkoeien van elkaar verschillen m.b.t. energieverbruik bij lopen, grazen en staan. Daarom is voorzichtigheid geboden om energiebehoeften voor begrazing bij melkkoeien te baseren op data van vleeskoeien en mogelijk ook schapen. Van Es (1974) vermeldt dat metingen bij grazende melkkoeien resulteerden in een geschatte extra energiebehoefte voor beweiding van 30% boven de energiebehoefte voor onderhoud als gevolg van energieverbruik voor grazen, lopen, het verwerken van overtollig eiwit (als gevolg van hoge OEB gehalten) en inefficiëntie van opslaan van energie uit gras in vetreserves en vrijmaken van vetreserves voor melkproductie als gevolg van wisselingen in grasaanbod.

Uit onderzoek van Di Marco et al. (1996) lijkt het er verder op dat energieverbruik van grazende dieren mede afhankelijk is van de bijtsnelheid van de koeien (terwijl bijtsnelheid weer afhangt van de hoogte van het gewas). In dit onderzoek werd bij Angus stieren (258 – 327 kg) een bijtsnelheid van gemiddeld 59 happen per minuut gemeten op een raaigrasweide met een laag aanbod en een bijtsnelheid van 28 happen per minuut werd gemeten bij een haverweide met een hoger aanbod (gewaslengte was hoger; geen details beschikbaar in de publicatie). In vergelijking met de gemeten warmteproductie vóór grazen (14.9 en 14.3 kJ/uur per kg $LG^{0.75}$ voor respectievelijk de raaigrasweidebehandeling en de haverweidebehandeling; gemeten in een situatie waarin koeien 24 uur geen voedsel kregen) steeg de warmteproductie naar 22.6 kJ/uur per kg $LG^{0.75}$ (relatieve toename van 52%) voor de koeien met een hoge bijtsnelheid (gemeten tijdens een graasperiode van 5.5 uur) en steeg de warmteproductie naar 16.6 kJ/uur per kg $LG^{0.75}$ (relatieve toename van 16%) voor de koeien met een lage bijtsnelheid (gemeten tijdens een graasperiode van 1 uur).

7.3 Conclusies en aanbevelingen

Er wordt geconcludeerd dat de hoeveelheid informatie m.b.t. de extra energiebehoefte voor beweiding t.o.v. stalgehuisveste melkkoeien beperkt is en dat het lastig is om nauwkeurige inschattingen te geven voor de extra energiebehoefte voor beweiding. Dat dit lastig is komt onder meer door een aantal zaken zoals:

1. dat de extra energiebehoefte voor beweiding wordt beïnvloed door de zwaarte van de grassnede die weidende koeien krijgen aangeboden
2. het feit dat meerdere relevante studies slechts gedurende een deel van de dag meetgegevens hebben verzameld en dat extrapolatie van een deel van de dag naar een volledig etmaal fouten met zich meebrengt
3. het feit dat in een aantal studies gebruik gemaakt wordt van bolussen om CO₂ productie te meten en het onduidelijk is in hoeverre een niet steady state situatie invloed heeft op de meetresultaten
4. dat verschillen in voeropname tussen grazende en stalgehuisveste dieren kunnen resulteren in verschillen in CO₂ productie die niet kunnen worden toegeschreven aan de energiebehoefte voor beweiden.
5. de mogelijkheid dat de fysiologische status van het dier (energiebalans/productieniveau) en de bijbehorende motivatie om te grazen waarschijnlijk een rol zal spelen in de extra energiebehoefte voor beweiding.

Op basis van de studies van Kaufmann et al. (2011), Dohme-Meijer et al. (2014) en Jasinsky et al. (2019) kan ruwweg geconcludeerd worden dat (na eventuele extrapolatie van resultaten van 6-uurs metingen naar resultaten per etmaal en na correctie voor warmteproductie als gevolg van extra voeropname bij stal gevoerde dieren) onbeperkt grazende dieren t.o.v. stal gevoerde dieren een extra energiebehoefte voor beweiding hebben variërend van 25 tot 42% van de energiebehoefte voor onderhoud of gemiddeld 36%.

Beweidingstoeslag

Omdat in de studies van Kaufmann et al. (2011) en Dohme-Meijer et al. (2014) er waarschijnlijk sprake is van een onderschatting van de ligtijd als gevolg van extrapolatie van 6-uurs resultaten naar 24-uurs resultaten wordt aanbevolen om voor onbeperkte beweiding (meer dan 20 uur toegang tot de weide) een energiebehoefte voor beweiding te hanteren van 30% van de energiebehoefte voor onderhoud en beweging in een ligboxenstal of $562 \times 1.1 \times 0.30 = 185$ kJ ME/kg LG^{0.75} per dag. Afhankelijk van de intensiteit van beweiding kan de energietoeslag voor beweiden berekend worden als een lineaire toename van 0 (geen beweiding) tot 185 kJ ME/kg LG^{0.75} per dag (bij 20 uur of meer beweiding per dag). Dit geldt zowel voor jongvee, droogstaande koeien als lacterende koeien.

8. Energiebehoefte voor negatieve energiebalans

8.1 Introductie

Aan het begin van de lactatie mobiliseert een melkkoe energie uit lichaamsreserves (voornamelijk lichaamsvet en in mindere mate spiereiwit) voor het produceren van melk. Naarmate de lactatie vordert en de voeropname maximaal is worden deze lichaamsreserves weer aangevuld waarbij metaboliseerbare energie (ME) uit voer wordt gebruikt voor het aanzetten van lichaamsreserves (vet en spiereiwit). Echter, zowel bij de mobilisatie van energie uit lichaamsreserves voor melkproductie als voor het aanvullen van lichaamsreserves vinden energieverliezen plaats vanwege conversie inefficiënties. Omdat een NEB een energiebehoefte voor de koe betekent, is het ook gewenst dat CVB hiervoor een normering heeft. In deze notitie wordt een voorstel gedaan voor de ME-behoefte voor NEB.

8.2 Materiaal en Methoden en Resultaten en Discussie

Om de NEB te berekenen is de volgende informatie nodig:

1. Gewichtsverlies als gevolg van energiemobilisatie
2. De hoeveelheid energie van het verloren gewicht
3. De conversie efficiëntie waarmee gemobiliseerde energie wordt omgezet in melk (k_m)
4. De conversie efficiëntie waarmee ME wordt gebruikt voor het weer aanvullen van de lichaamsreserves (k_g)

8.2.1 Gewichtsverlies als gevolg van energiemobilisatie

In CVB Documentatierapport nr. 78 zijn maximale gewichtsverliezen (gemeten als het verschil tussen lichaamsgewicht (LG; kg) tijdens week 1 na afkalven en minimaal gewicht na afkalven) berekend voor de verschillende pariteiten. Informatie over deze gewichtsverliezen zijn weergegeven in Tabel 29.

Tabel 29. Maximaal gewichtsverlies per pariteit, uitgedrukt als kg en percentage, voor koeien (bron: CVB, 2022a). Ook de week in lactatie (WIL) waar gemiddeld de laagste LG werd gemeten is weergegeven

Pariteit	Gewichtsverlies (kg)		WIL (laagste LG)
	kg	%	
1	25	4.3	6.0
2	28	4.2	7.9
3	45	6.3	11.4
4	50	6.8	10.8
5	56	7.7	12.1
>5	53	7.2	11.2

Uit de literatuur worden de volgende maximale gewichtsverliezen gerapporteerd. Tamminga et al. (1997) vond gemiddelde maximale (bruto) gewichtsverliezen van 48.5 kg gedurende de eerste 8 weken bij koeien met een gemiddeld gewicht van 610 kg (8.0% gewichtsverlies) waarvan 41.6 kg leeg LG, bestaande uit 30.9 kg vet, 2.4 kg eiwit en 8.3 kg water. Koenen et al. (1999) vonden gemiddelde maximale gewichtsverliezen van 4.8% (in week 7), 3.8% (in week 11) en 3.5% (in week 13) voor respectievelijk 1^e, 2^e en 3^e kalfs koeien. Van Straten et al. (2008) vonden gemiddelde maximale gewichtsverliezen in Israëlische HF koeien (gemiddelde melk productie tussen de 11587 – 13000 kg/jaar) van 8,5% op dag 37, van 10.6% op dag 55 en van 11.1% op

dag 60 van de lactatie bij respectievelijk 1^e, 2^e en 3^e en hogere pariteit koeien. Rehak et al. (2012) vonden bij HF koeien in Tsjechië een gemiddeld maximaal gewichtsverlies van 7,9% op ongeveer 6 weken na afkalven. Zom et al. (2014) rapporteerden maximale gewichtsverliezen van 36.0, 51.6 en 60.9 kg voor 1^e, 2^e en 3^e kalfs koeien respectievelijk gebaseerd op een dataset van koeien met een gemiddeld koegewicht van 620 kg (gemiddeld 8% gewichtsverlies), waarbij opgemerkt dient te worden dat dit gesimuleerde 'bruto' gewichtsverliezen zijn en geen gemeten gewichtsverliezen. Poncheki et al. (2015) vonden bij HF koeien in het zuiden van Brazilië gemiddelde maximale gewichtsverliezen van 8,4% (op dag 36), 6,6% (op dag 33) en 7,3% (op dag 38) voor, respectievelijk eerste, tweede en derde (en hoger) kalfs koeien. Op basis van bovenstaande literatuurdatabasis lijkt er geen duidelijke relatie te zijn tussen procentueel gewichtsverlies en pariteit. De maximale gewichtsverliezen uit CVB Documentatierapport nr. 78 liggen verder in de range van gerapporteerde maximale gewichtsverliezen uit de literatuur. Op basis van bovenstaande databasis is in dit document verder gerekend met koegewichten en maximale gewichtsverliezen zoals gerapporteerd in CVB Documentatierapport nr. 78.

Het is aannemelijk dat het gemeten maximale verlies aan LG een onderschatting is van het werkelijke verlies aan leeg LG (LLG: LG zonder gewicht van digesta) vanwege een hogere DSO en digestamassa van koeien op het moment van maximaal gewichtsverlies (dat is het moment waarop het LG na afkalven het laagst is) in vergelijking met de DSO en digestamassa van koeien in de eerste week na afkalven. Wanneer we bijvoorbeeld rekening houden met een toename van digestagewicht van 4 kg per kg extra DSO zoals ook Tamminga et al. (1997) en Zom (2014) hebben gedaan (gebaseerd op werk van Jarrige (1989) (INRA Feed Tables 1989) en verder aannemen dat het verschil in DSO tussen de eerste week na afkalven en het moment waarop het maximale gewichtsverlies is bereikt 10 kg DS bedraagt dan betekent dit 40 kg extra verlies aan gewicht. Dit zou betekenen dat dieren op het moment waarop het laagste lichaamsgewicht gemeten wordt na afkalven in werkelijkheid 80 tot 90 kg gewicht verliezen i.p.v. het gemeten gewichtsverlies van 40 – 50 kg. Echter, in een update van de INRA Feeding System for Ruminants (INRA, 2018) wordt de volgende formule (gebaseerd op een meta-analyse van 10 experimenten en 50 waarnemingen) weergegeven voor het voorspellen van het LLG wat resulteert in een veel kleiner effect van digestamassa op lichaamsgewicht:

$$\text{LLG (\% van LG)} = 82.72 - 3.077 \times (1 - \exp(-0.048 \times \text{dagen in lactatie}))$$

Vervolgens kan het digestagewicht als volgt berekend worden:

$$\text{Digestagewicht (kg)} = (100 - \text{LLG (\% van LG)}) / 100 \times \text{LG (kg)}$$

Toepassen van deze formule resulteert in berekende digestagewichten en gecorrigeerde gewichtsverliezen zoals weergegeven in Tabel 30.

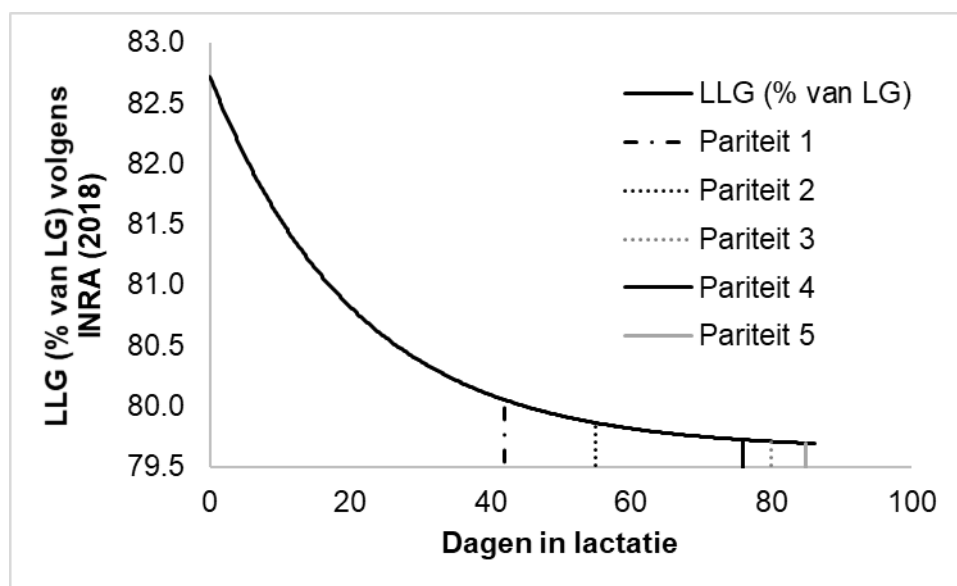
In Fig. 10 is de relatie tussen dagen in lactatie (DIL) en % LLG grafisch weergegeven inclusief de DIL waarop voor de verschillende pariteiten het laagste LG is gemeten. Figuur 1 laat zien dat het grootste deel van de afname in LLG plaatsvindt tussen dag 0 en dag 40 van lactatie waardoor verschillen in gemeten dagen waarop het laagste LG wordt gemeten bij de verschillende pariteiten weinig effect hebben op het voor digestamassa gecorrigeerde gewichtsverlies.

Tabel 30. Berekende maximale gewichtsverliezen en dagen in lactatie (DIL) waarop laagste LG is gemeten gebaseerd op CVB (2022). Tevens zijn volgens INRA (2018) berekende digestagewichten op DIL 3 en DIL waarop laagste LG is gemeten, verschillen in berekende digestagewichten tussen dag 3 en DIL waarop laagste LG is gemeten en voor digestagewicht gecorrigeerde berekende gewichtsverliezen gegeven voor de verschillende pariteiten.

Pariteit	LG (kg)	Gewichts-verlies (kg) (a)	DIL laagste LG	Digestagewicht		Verschil in digesta-gewicht (kg) (b)	Gecorrigeerd gewichts-verlies (kg) (a + b)
				Dag 3 van lactatie	DIL laagste LG		
1	572	25	42	101.2	109.1	7.9	33
2	653	28	55	115.5	125.9	10.3	38
3	694	45	80	122.8	131.7	8.9	54
4	711	50	76	125.8	134.0	8.2	58
5	728	56	85	128.8	136.4	7.6	64
>5	716	53	78	126.7	134.5	7.8	61

Wat opvalt is dat toepassen van de nieuwe formule van INRA (2018) resulteert in substantieel lagere verschillen in digestagewichten (7.6 – 10.3 kg) dan toepassen van de formule van Jarrige (1989) (~ 40 kg).

In deze studie is verder gerekend met de voor digesta gecorrigeerde gewichtsverliezen zoals weergegeven in de laatste kolom van Tabel 30.



Figuur 10. Relatie tussen dagen in lactatie en % leeg LG (LLG) grafisch weergegeven inclusief de dagen in lactatie waarop voor de verschillende pariteiten de laagste LG is gemeten.

8.2.2 Hoeveelheid energie van gewichtsverlies

Gedurende de eerste twee weken in lactatie is er sprake van eiwitmobilisatie van de koe (Van Knegsel et al., 2007) en deze kan aanhouden tot de eerste 4 weken (Van der Drift, 2012) of 5 weken (Tamminga et al., 1997) na afkalven. Dit betekent dat de koe naast vetreserves ook spierweefsel mobiliseert. Per kg gewicht bevat spierweefsel minder energie dan vetweefsel en daarom is het gewenst om dit gewicht aan eiwitweefsel te kunnen kwantificeren. Er kan gesteld worden dat het moment waarop de mobilisatie van spiereiwit stopt en de aanzet van spiereiwit start eerder bereikt wordt (tussen 2 tot 5 weken) dan het moment waarop mobilisatie van

lichaamsvet stopt en de aanzet van lichaamsvet start (tussen 5 en 13 weken). Dit betekent dat in de meeste gevallen de koe in werkelijkheid 'op bruto basis' meer gewicht verloren heeft dan het gemeten 'netto' gewicht gemeten als het verschil in gewicht net na afkalven en het laagste gewicht na afkalven. Echter, het is lastig vast te stellen wat de totale hoeveelheid gemobiliseerd eiwit en vet is en hoe dit gerelateerd is aan het verlies aan LG.

Tamminga et al. (1997) berekenden dat van het netto verlies van 41.6 kg LLG na 8 weken lactatie, 30.9 kg bestond uit vet (74.3%), 2.4 kg bestond uit eiwit (5.8%) en 8.3 kg water (20.0%). Echter, het totale verlies aan eiwit in de studie van Tamminga et al. (1997) was 4.6 kg en 15.6 kg water (rekenend met een water:eiwit ratio van 3.4 voor spierweefsel). In totaal komt dit neer op een totaal gewichtsverlies van 51.1 kg (30.9 kg vet, 4.6 kg eiwit en 15.6 kg water). Dit betekent dat koeien beginnen met eiwit aanzetten terwijl ze nog in een NEB zijn. Zom (2014) kwam tot een zelfde conclusie in zijn promotieonderzoek. Wanneer in de studie van Tamminga et al. (1997) de totale hoeveelheid gemobiliseerd eiwit (4.6 kg) wordt uitgedrukt als een percentage van de totale hoeveelheid gemobiliseerd vet (30.9 kg) dan is het resultaat 14.9%. Zom (2014) berekende een mobilisatie van 12.0, 9.3, 9.2 en 8.5 kg eiwit en 15.3, 34.9, 43.4 en 58.8 kg vet of ratio's eiwit/vet van 78.4, 26.6, 21.2 en 15.6% voor respectievelijke pariteiten 1, 2, 3 en 6. Het is echter mogelijk dat de berekende eiwitverliezen die zijn berekend door Tamminga et al. (1997) en Zom (2014) te hoog zijn ingeschat vanwege een mogelijke overschatting van het effect van voeropname op digestagewicht bij gebruik van de formule van Jarrige (1989). Alles bij elkaar overwegende zijn daarom de volgende aannames gemaakt:

1. de in Tabel 30 voorgestelde (voor digestamassa gecorrigeerde) gewichtsverliezen in de laatste kolom bestaan voor 100% uit verlies aan vet en het eiwitverlies in de eerste 4 weken van de lactatie is volledig aangevuld op het moment dat koe het laagste LG bereikt.
2. de totale hoeveelheid gemobiliseerd eiwit bedraagt 15% van het totale gewicht aan verloren vet.
3. vet en eiwit hebben energiegehaltes van respectievelijk 39.7 en 23.8 MJ/kg (Armsby, 1917)
4. de energie conversie efficiëntie van lichaamsreserves naar melk (k_m) bedraagt 0.81 en de energie conversie efficiëntie van ME naar lichaamsreserves (k_g) bedraagt 0.85 (gebaseerd op hoofdstuk 3 van dit rapport)

De totale hoeveelheid gemobiliseerde energie (E_{mob} ; MJ) wordt berekend door de totale hoeveelheid gemobiliseerd vet en eiwit te vermenigvuldigen met respectievelijk 39.7 en 23.8 MJ/kg.

De efficiëntie waarmee ME benut wordt voor melkproductie via de omweg van vastlegging in lichaamsreserves en vervolgens van het mobiliseren van deze lichaamsreserves voor melkproductie is $0.85 \times 0.81 = 0.689$. Deze waarde komt overeen met de conversie efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in melk (k_i) bij een q-waarde van 67.8 ($0.405 + 0.00418 \times 67.8$) (q) = 0.689 (bij gebruik van de nieuwe k_i formule (zie hoofdstuk 3)). Een q-waarde van 67.8 betekent een rantsoen met een zeer hoog energiegehalte van ongeveer 1058 VEM/kg DS.

Dit betekent dat het produceren van melk via de omweg van ME uit voer naar lichaamsreserves en vervolgens uit lichaamsreserves naar melk energetisch minstens zo efficiënt is als het direct produceren van melk uit ME. Op het eerste gezicht lijkt dit niet logisch maar een mogelijke verklaring hiervoor is dat we het hier voornamelijk hebben over de conversie efficiëntie van ME naar lichaamsvet en van lichaamsvet naar melkvet. Deze conversie efficiënties van energie naar vet zijn hoog en een stuk hoger dan conversie efficiënties van ME naar lichaamseiwit of van ME naar melkeiwit. Het is goed mogelijk dat bij koeien met een hoge mate van energiemobilisatie en waarvan veel lichaamsvet wordt omgezet in melkvet dat de efficiëntie waarmee ME wordt omgezet in melk lager wordt omdat relatief gezien een groter aandeel van ME wordt omgezet in melksuiker

en melkeiwit waarvan de conversie efficiënties een stuk lager liggen. In hoofdstuk 3 is geschat dat ME wordt omgezet in melkvet met een conversie efficiëntie van 0.84 terwijl een conversie efficiëntie van ME naar melkeiwit van 0.40 werd geschat. Dit kan betekenen dat koeien in een NEB lagere k_l waarden hebben dan koeien in een positieve energiebalans (PEB). Deze hypothese is getest waarbij de dataset van klimaatrespiratieproeven waarop de geactualiseerde energiebehoefte-normen voor onderhoud, groei en melkproductie van lacterende koeien zijn gebaseerd (zie hoofdstuk 3) te splitsen in een dataset met observaties van koeien in een NEB en een dataset met koeien in een PEB. Vervolgens zijn op beide datasets de energiebehoefte voor onderhoud en de conversie efficiënties voor ME uit voer naar groei (alleen voor de PEB dataset) en melkproductie geschat en de conversie efficiëntie van energie uit lichaamsreserves naar melk (alleen voor de NEB dataset). Het volgende model is daarvoor gebruikt zoals ook beschreven in hoofdstuk 3 van dit rapport:

$$ME_{\text{opn}} = a + (E_L - k_m * MOB) / (B_8 + B_9 \times q) + RET / k_g + \text{studie} + \text{error}$$

Waarbij:

ME_{opn} = metaboliseerbare energieopname uit voer (kJ/d/kg LG^{0.75})

a = interceptwaarde of energiebehoefte voor onderhoud (ME_{ond} ; kJ/d/kg LG^{0.75})

E_L = energieoutput in melk (kJ/d/kg LG^{0.75})

MOB = gemobiliseerde energie uit lichaamsreserves (kJ/d/kg LG^{0.75})

B_8 en B_9 = regressiecoëfficiënten voor het berekenen van k_l (conversie efficiëntie van ME uit voer naar energie in melk) waarbij k_l gelijk is aan $(B_8 + B_9 \times q)$

k_g = efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in lichaamsreserves

RET = energie vastgelegd in lichaamsenergie (kJ/d/kg LG^{0.75})

studie = random studie effect

error = onverklaarde variatie

De geschatte waarden voor de 3 datasets (complete dataset, NEB dataset en PEB dataset) zijn weergegeven in Tabel 31 samen met gemiddelden m.b.t. diergegevens, rantsoengegevens en fecale verteerbaarheden. In Fig. 11 zijn voor q -waarden in de range van 55 tot 65 de berekende k_l waarden weergegeven volgens de 3 modeluitkomsten in Tabel 31 voor de volledige dataset, de NEB dataset en de PEB dataset.

Uit Fig. 11 blijkt dat berekende k_l waarden volgens het model gebaseerd op de NEB dataset inderdaad lager liggen dan deze volgens het model gebaseerd op de PEB dataset, namelijk 1.7, 2.4 en 3.1% lager bij q niveaus van respectievelijk 61, 63 en 65%. Dit ondersteunt de hypothese dat bij koeien in een NEB waarbij lichaamsvet wordt omgezet in melkvet, de efficiëntie waarmee ME wordt omgezet in melk lager wordt omdat relatief gezien een groter aandeel van ME wordt omgezet in melksuiker en melkeiwit waarvan de conversie efficiënties een stuk lager liggen dan de conversie efficiëntie van ME in melkvet.

In het geval we aannemen dat de conversie efficiëntie van ME via de omweg van lichaamsreserves naar melk voor 100% bestaat uit de omzetting van vet uit lichaamsreserves naar vet in melk met een efficiëntie van $0.85 \times 0.81 = 0.689$, dan is deze efficiëntie een stuk lager dan de geschatte directe efficiëntie van ME naar melkvet van 0.81 gebaseerd op model 9 beschreven in hoofdstuk 3 van dit rapport. Bij een mobilisatie van 54 kg vet (berekend voor een derde kalfs koe, zie Tabel 30) is $(54 \text{ kg vet} \times 39.7 \text{ MJ} \times 0.81 =)$ 1736 MJ energie in melk afkomstig van gemobiliseerd vet. Dit komt neer op een ME-behoefte van $(1736 / 0.81 =)$ 2144 MJ ME bij een directe conversie en $(1736 / 0.689 =)$ 2522 MJ ME bij een dubbele conversie van 1) ME naar lichaamsreserves en 2) van lichaamsreserves naar melk. Het verschil in ME is 378 MJ. Deze extra

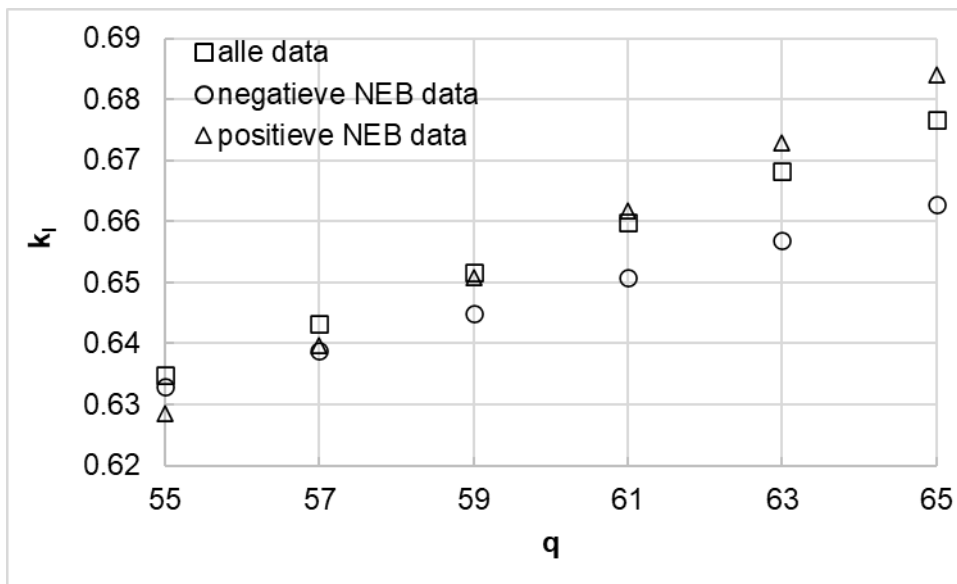
ME-behoefte van 378 MJ (als gevolg van de inefficiëntie van omzetting van ME in melkvet via lichaamsreserves is $(378 \times (0.405 + 0.00418 \times 63.6) / 7.82) = 32.5$ kVEM.

Het is echter ongewenst om voor dit energieverlies van ongeveer 32 kVEM een energiebehoefte te formuleren (en op te nemen in het CVB Tabellenboekje herkauwers) omdat deze inefficiëntie (in ieder geval deels) ook al verwerkt is in de nieuwe schattingen voor ME_{ond} en conversie efficiënties (k_l , k_g , k_m) van de gehele dataset en dit zou resulteren in een dubbele correctie.

Tabel 31. Gemiddelden voor diergegevens, rantsoengegevens en fecale verteerbaarheden alsook de geschatte modelparameters voor de 3 klimaatrespiratie datasets (dataset 1: alle data; dataset 2: alleen observaties met een PEB; dataset 3: alleen observaties met een NEB).

	Alle data (n=316)	Data PEB (n=197)	Data NEB (n=119)
Diergegevens			
LG ^{0.75} (kg) ¹	122.2±9.12	122.5±9.28	121.6±8.85
Pariteit	2.8±1.25	2.7±1.31	2.9±1.15
Dagen in lactatie	154±85.2	178±74.0	116±89.0
DSO (kg/d) ²	17.2±3.15	17.2±2.82	17.1±3.65
Melkproductie (kg)	27.1±8.34	25.7±7.31	29.4±9.37
Melkvet (%)	4.59±0.665	4.54±0.661	4.67±0.667
Melkeiwit (%)	3.32±0.359	3.34±0.364	3.27±0.347
Rantsoengegevens			
RE (g/kg DS)	172±33.4	174±36.3	169±27.9
NDF (g/kg DS)	384±47.1	379±43.8	392±51.3
Zetmeel (g/kg DS)	133±81.3	127±78.2	143±85.6
q (ME:BE × 100) ³	63.6±4.45	65.4±3.68	60.5±3.86
Fecale verteerbaarheden (%)			
OS	75.6±4.82	76.7±4.48	73.4±4.74
RE	70.1±7.35	70.7±7.82	69.0±6.17
NDF	68.4±10.13	69.6±9.98	65.6±9.98
Zetmeel	94.5±12.14	93.8±14.54	96.2±1.81
Modeluitkomsten			
a of ME _{ond}	562±19.1	572±24.4	543±23.1
k _m	0.807±0.0204		0.777±0.0230
k _g	0.851±0.0262	0.863±0.0318	
B ₈	0.405±0.0469	0.323±0.0682	0.468±0.0643
B ₉	0.00418±0.000734	0.00555±0.001060	0.00301±0.001016

¹metabool lichaamsgewicht; ²drogestofopname; ³BE = bruto energie en ME = metaboliseerbare energie.



Figuur 11. Relatie tussen q ($ME : BE \times 100$) en berekende k_l (efficiëntie waarmee ME uit voer wordt omgezet in melk) waarden volgens de 3 modeluitkomsten weergegeven in Tabel 3 voor de volledige dataset, de NEB dataset en de PEB dataset.

Uitgaande van bovenstaande wordt geconcludeerd **dat het ongewenst is om een energiebehoefte op te nemen voor een NEB** omdat de berekende energieverliezen die gepaard gaan met het omzetten van ME naar melk via de omweg van ME naar lichaamsreserves (voornamelijk vet) en vervolgens naar melk gering zijn en (deels) al verdisconteerd zitten in de combinatie van modelschattingen voor ME_{ond} , k_l , k_g en k_m van de gehele dataset van observaties met zowel koeien in een NEB als koeien in een PEB.

9. Vergelijking nieuwe en oude energiebehoefthenormen op berekende voeropname

9.1 Introductie

Het doel van dit hoofdstuk is om inzicht te geven welke consequenties bovengenoemde aanpassingen in de energiebehoefthenormen voor HF melkkoeien hebben op de berekende voeropname bij koeien in verschillende productiestadia t.o.v. gebruik van de eerdere VEM-rekenregels van van Es (1975).

9.2 Materiaal en Methoden

Voor 5 productieniveaus nl. droogstand (rekening houdend met energiebehoefte voor dracht gedurende de laatste maand vóór afkalven), 20, 30, 40 en 50 kg FPCM per dag is de energiebehoefte berekend volgens zowel het oude VEM-systeem als volgens de nieuw voorgestelde VEM rekenregels waarbij het effect van de verschillende aanpassingen stapsgewijs zijn meegenomen om een idee te geven van het effect op de voeropname van de individuele onderdelen zoals beweging en LG. Omdat de berekende voeropname afhankelijk is van de q waarde van het rantsoen, was het gewenst om q- en ME-gehalten van rantsoenen voor deze 5 productieniveaus zo te kiezen dat deze realistisch zijn en praktijkconform. Daarom werden eerst voor de 5 productieniveaus rantsoenen berekend waarbij de energie- (volgens de nieuwe VEM rekenregels) en eiwitbehoeften (volgens DVE-91 systeem) voor een tweedekalfs koe zijn gedekt en waarbij de maximale voeropnamecapaciteit (VOC) niet wordt overschreden. De maximale VOC is berekend volgens het voeropnamemodel beschreven in CVB (2007; CVB Documentatierapport 51, Voeropnamemodel Melkvee, Versie 2007) met als enige aanpassing dat de berekende VOC is vermenigvuldigd met een factor 1.02 om rekening te houden met het feit dat de VOC berekend volgens het voeropnamemodel is gebaseerd op data van Holstein Friesian (HF) koeien met een gemiddeld LG van 611 kg, terwijl recent het gemiddeld LG van de HF koe is vastgesteld op 675 kg. Omdat het aannemelijk is dat grotere koeien ook een grotere VOC hebben is daarom de berekende VOC voorzichtigheidshalve verhoogd met 2%. Bij het berekenen van deze rantsoenen is gebruik gemaakt van voedermiddelen uit de CVB Veevoedertabel 2021 (inclusief de bijbehorende nutriëntgehalten en voederwaarden). De in deze rantsoenen berekende gehalten aan VEM, ME, en q zijn vervolgens gebruikt voor het berekenen van de DSO van melkkoeien voor de verschillende productieniveaus volgens de rekenregels van het oude VEM-systeem en volgens de nieuwe rekenregels beschreven in de voorgaande hoofdstukken. Daarbij zijn de effecten van de verschillende aanpassingen geanalyseerd; dit betreft aanpassingen t.a.v.:

1. Lichaamsgewicht (LG) (zie CVB (2022))
2. ME-toeslag voor beweging
3. ME_{ond}
4. Conversie efficiëntie van ME uit voer naar melk (k_i)
5. Een afwezigheid van een negatief effect van VN op ME gehalten van voedermiddelen

De volgende formules en waarden zijn daarbij gebruikt:

Oude systeem:

VEM-behoefte-onderhoud-per-dag = $(42.4 \times LG^{0.75}) \times (1 + (FPCM - 15) \times 0.00165)$

VEM-behoefte-beweging-per-dag = $0.1 \times VEM\text{-behoefte-onderhoud}$

VEM-behoefte-melkproductie-per-dag = $(442 \times FPCM) \times (1 + (FPCM - 15) \times 0.00165)$

VEM-behoefte-dracht-9^e-maand-per-dag = 2700

VEM-behoefte-totaal-per-dag = VEM-behoefte-onderhoud-per-dag + VEM-behoefte-beweging-per-dag + VEM-behoefte-melkproductie-per-dag + VEM-behoefte-dracht-9^e-maand-per-dag

Voeropname (oud systeem) (kg DS/dag) = VEM-behoefte-totaal-per-dag / VEM-gehalte (/kg DS)

Nieuwe systeem:

ME-behoefte-onderhoud-droogstaande-koeien-per-dag = $614 \text{ kJ/kg LG}^{0.75}/\text{d}$

ME-behoefte-onderhoud-lacterende-koeien-per-dag = $562 \text{ kJ/kg LG}^{0.75}/\text{d}$

ME-behoefte-beweging-lacterende-koeien-per-dag = $0.1 \times \text{ME-behoefte-onderhoud-lacterende-koeien-per-dag}$

ME-behoefte-dracht-9^e-maand-per-dag = 34928 kJ/d (gemiddelde behoefte tijdens 9^e maand)

ME-behoefte-melkproductie-per-dag = $(442 \times \text{FPCM} \times 6.9) / (0.405 + 0.00418 \times q) \text{ kJ/d}$

ME-behoefte-totaal-per-dag-droogstaande-koeien = ME-behoefte-onderhoud-droogstaande koeien-per-dag + ME-behoefte-dracht-9^e-maand-per-dag

ME-behoefte-totaal-per-dag-lacterende-koeien = ME-behoefte-onderhoud-lacterende-koeien-per-dag + ME-behoefte-beweging-lacterende-koeien-per-dag + ME-behoefte-melkproductie-per-dag

Voeropname (nieuw systeem) (kg DS/dag) = ME-behoefte-totaal / ME-gehalte (kJ/kg DS)

9.3 Resultaten en discussie

In Tabel 32 zijn de berekende VEM-behoeften en voeropname weergegeven voor onderhoud, dracht, en melkproductie voor een koe van 650 kg in het oude VEM-systeem (Scenario 1). Bij Scenario 2 is gerekend met de nieuwe energiebehoeftenormen voor onderhoud en melkproductie maar met het oude gemiddelde LG van 650 kg en zonder een extra energiebehoeftenorm van 10% boven ME_{ond} voor beweging. Bij Scenario 3 is gerekend met de nieuwe energiebehoeften voor onderhoud en melkproductie plus 10% extra energie boven ME_{ond} voor beweging. Bij Scenario 4 is gerekend met de nieuwe energiebehoeften voor onderhoud en melkproductie plus met een nieuw gemiddelde LG van 675 kg (CVB, 2022a) plus 10% extra energie boven ME_{ond} voor beweging.

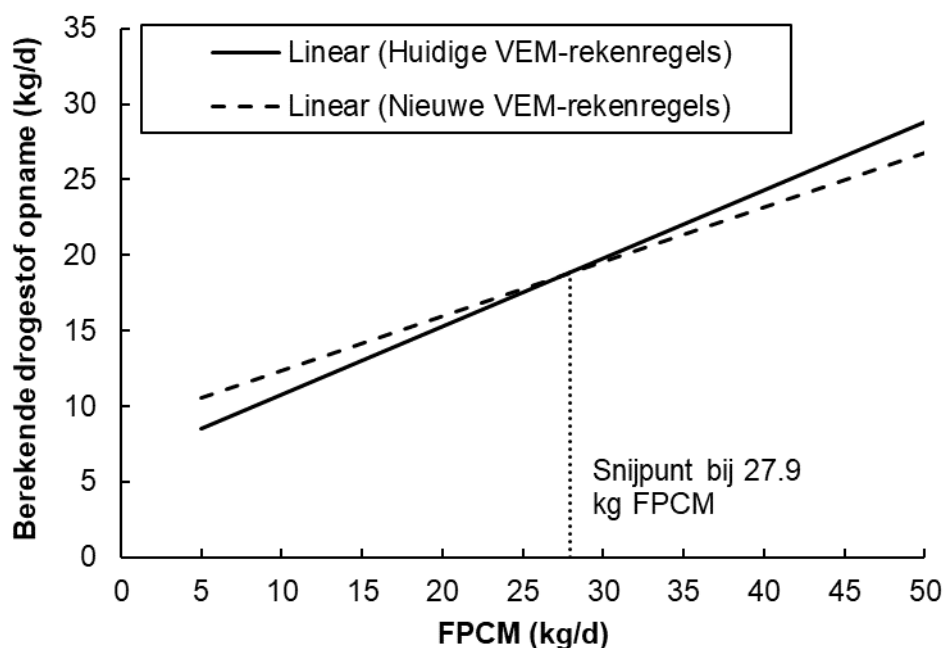
Tabel 32. Effect van berekende VEM-behoefte volgens het oude systeem (van Es, 1975) en ME-behoefte volgens het nieuwe systeem op totale voeropname bij droogstaande koeien in de 9^e maand van de dracht en voor lacterende koeien bij 4 melkproductieniveaus.

	Dracht (9e maand)	Kg FPCM per dag			
		20	30	40	50
q-waarde rantsoen*	51.3	60.1	61.1	62.5	62.6
VEM-gehalte rantsoen (/kg DS)*	783	938	973	1000	1006
ME-gehalte rantsoen zonder correctie VN (kJ/kg DS)*	9300	10912	11253	11486	11545
ME-gehalte rantsoen met correctie VN)** (kJ/kg DS)	9219	10595	10762	10818	10705
VEM-behoefte per dag: Scenario 1 (oude VEM rekenregels voor een koe van 650 kg)					
Onderhoud	5377	5503	5593	5683	5773
Beweging	0	0	0	0	0
Melkproductie	0	8913	13588	18409	23376
Dracht	2700	0	0	0	0
Totaal	8077	14416	19181	24093	29150
Voeropname (kg DS/d)	10.3	15.4	19.7	24.1	29.0
ME-behoefte in kJ per dag: Scenario 2: (oude rekenregel voor LG (650 kg) + nieuwe rekenregels m.b.t. energiebehoefte voor onderhoud en melkproductie, zonder correctie voor VN)					
Onderhoud	79041	72347	72347	72347	72347
Beweging	0	0	0	0	0
Melkproductie	0	92946	138553	183076	228709
Dracht	34928	0	0	0	0
Totaal	113969	165293	210900	255423	301056
Voeropname (kg DS/d)	12.3	15.1	18.7	22.2	26.1
ME-behoefte in kJ per dag: Scenario 3: oude rekenregel voor LG (650 kg) + nieuwe rekenregels m.b.t. energiebehoefte voor onderhoud en melkproductie, zonder correctie voor VN + 10% extra energiebehoefte voor beweging (boven onderhoud)					
Onderhoud	79041	72347	72347	72347	72347
Beweging	0	7235	7235	7235	7235
Melkproductie	0	92946	138553	183076	228709
Dracht	34928	0	0	0	0
Totaal	113969	172527	218135	262658	308291
Voeropname (kg DS/d)	12.3	15.8	19.4	22.9	26.7
ME-behoefte in kJ per dag: Scenario 4: Nieuwe rekenregels m.b.t. energiebehoefte voor onderhoud en melkproductie, zonder correctie voor VN + 10% extra energiebehoefte voor beweging (boven onderhoud), + toepassing LG van 675 kg					
Onderhoud	81310	74424	74424	74424	74424
Beweging	0	7442	7442	7442	7442
Melkproductie	0	92946	138553	183076	228709
Dracht	34928				
Totaal	116238	174812	220420	264942	310576
Voeropname (kg DS/d)	12.5	16.0	19.6	23.1	26.9

Een vergelijking tussen Scenario 1 (oude VEM-systeem) met Scenario 4, waarbij alle voorgestelde aanpassingen in het VEM-systeem worden doorgevoerd, resulteert bij verschillende productieniveau's in de volgende verschuivingen in voeropname:

- Dracht 9^e maand: een toename van de voeropname van 2.2 kg DS/dag
- 20 kg FPCM per dag: een toename in voeropname van 0.6 kg DS/dag
- 30 kg FPCM per dag: een afname van de voeropname van 0.1 kg DS/dag
- 40 kg FPCM per dag: een afname van de voeropname van 1.0 kg DS/dag
- 50 kg FPCM per dag: een afname van de voeropname van 2.1 kg DS/dag

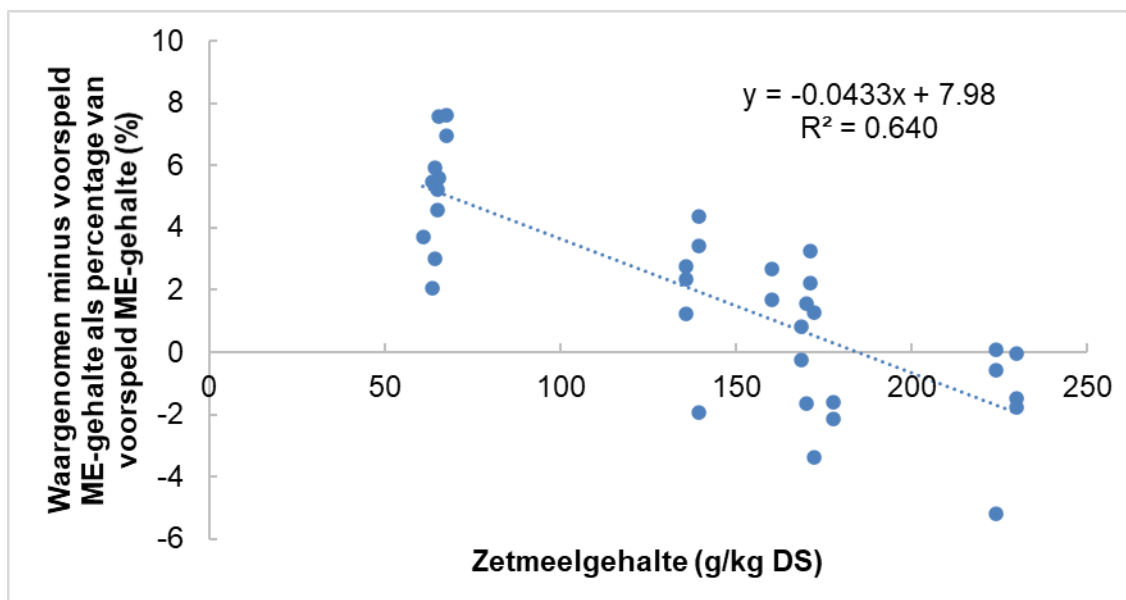
In Fig. 12 is de relatie tussen FPCM en berekende DSO bij gebruik van de oude en de nieuwe VEM-rekenregels weergegeven. De FPCM-productie waarbij de berekende DSO bij gebruik van de oude rekenregels en de nieuwe rekenregels elkaar kruisen is 27.9 kg.



Figuur 12. Relatie tussen FPCM en berekende DSO bij gebruik van de oude VEM-rekenregels (doorgetrokken lijn) en de nieuwe VEM-rekenregels (onderbroken lijn) voor lacterende koeien.

Bij melkproductieniveaus lager dan 27.9 kg FPCM resulteren de nieuw voorgestelde rekenregels in hogere berekende voeropnames, terwijl bij melkproductieniveaus hoger dan 27.9 kg de nieuwe rekenregels resulteren in lagere berekende voeropnames.

Voeropnames in de praktijk zullen waarschijnlijk hoger uitvallen dan de berekende voeropnames vanwege een aantal factoren zoals een extra energiebehoefte voor jeugdgroei (CVB, 2022a), voor dracht in de lactatieperiode (zie hoofdstuk 6) en een overschatting van het ME-gehalte van zetmeelrijke voedermiddelen. Dat het ME-gehalte van zetmeel mogelijk overschat wordt, blijkt bijvoorbeeld uit de studie van Spek en Šebek (2019). De relatie in Fig. 13 laat zien dat naarmate het zetmeelgehalte van het rantsoen toeneemt, de hoeveelheid waargenomen ME t.o.v. de door de generieke rekenregel (van Van Es 1978) voorspelde hoeveelheid ME afneemt.



Figuur 13. Relatie tussen 1) waargenomen ME-gehalten minus door het oude systeem (gebaseerd op Van Es 1978) voorspelde ME-gehalten als percentage van de voorspelde ME-gehalten en 2) het zetmeelgehalte in de studie van Spek en Šebek (2019).

Dat het energiegehalte van zetmeel waarschijnlijk te hoog wordt ingeschat in het oude VEM-systeem blijkt ook uit de resultaten van de NH₃ dataset gebruikt in hoofdstuk 5 van dit rapport. In de NH₃ dataset zijn drie basisrantsoenen vergeleken nl. 100% graskuil, 100% maiskuil en 50/50% graskuil/maiskuil. De berekende VEM-dekking voor deze 3 rantsoenen bedroeg respectievelijk 94, 100 en 101%.

De huidige generieke rekenregel om ME-gehalten van voedermiddelen/rantsoenen te voorspellen bevat geen ME-gehalte voor zetmeel en NDF. Een toekomstige update van het VEM-systeem zal zich onder meer richten op het ontwikkelen van een nieuwe generieke rekenregel om ME gehalten van voedermiddelen te voorspellen waarin ook fecaal verteerbaar zetmeel en NDF een ME-waardering krijgt naast de nutriënten fecaal verteerbaar RE, RVET, suiker en RNSP.

10. Conversiefactor van kJ naar VEM

10.1 Introductie

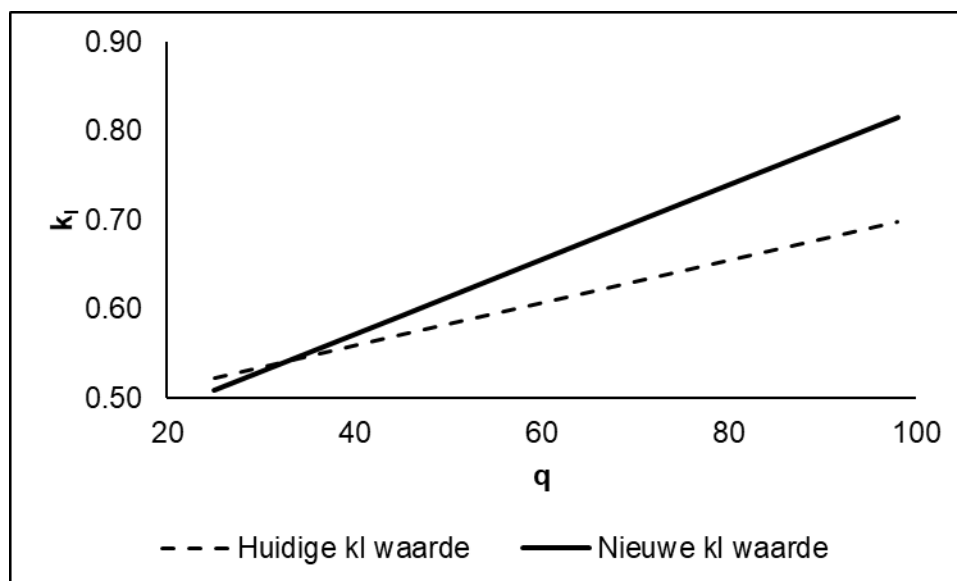
De VEM-waarde van een voedermiddel in het oude VEM-systeem is gerelateerd aan de NE-waarde uitgedrukt in kJ/kg (of kJ/kg DS) gedeeld door de conversiewaarde 6.9. De waarde van 6.9 is zo gekozen dat één gram gerst ongeveer overeenkomt met één VEM (van Es 1978). De NE-waarde van een voedermiddel geeft weer hoeveel melkenergie geproduceerd kan worden en wordt berekend door het ME-gehalte van een voedermiddel te vermenigvuldigen met de conversie-efficiëntie factor waarmee ME omgezet wordt in melkenergie (k_l). De aldus verkregen NE-waarde van een voedermiddel wordt in het oude VEM-systeem vervolgens gedeeld door de VEM-conversiewaarde 6.90 om tot een VEM-waarde te komen. De k_l -waarde van een voedermiddel is in het oude en in het nieuwe VEM-systeem gerelateerd aan de q -waarde van een voedermiddel en wordt als volgt uitgerekend voor beide systemen:

k_l -waarde oud VEM-systeem = $0.463 + 0.00240 \times q$ (beschreven in de CVB Veevoedertabel 2021)

k_l -waarde nieuw VEM-systeem = $0.405 + 0.00418 \times q$ (beschreven in hoofdstuk 3)

In Fig 14. is de relatie tussen q en k_l grafisch weergegeven voor zowel het oude als het nieuwe VEM-systeem. Uit Fig. 14 valt op te maken dat bij voedermiddelen met een q -waarde boven de 33 de k_l -waarde van het nieuwe VEM-systeem hoger ligt dan de k_l -waarde van het oude VEM-systeem en dat verschillen tussen k_l -waardes toenemen naarmate de q -waarde toeneemt. Dit betekent dat in het nieuwe systeem berekende VEM-gehalten van voedermiddelen zullen toenemen, indien de waarde 6.9 gehandhaafd blijft. Dit wordt als ongewenst gezien en de wens is om VEM-gehalten van voedermiddelen zoveel mogelijk gelijk te houden. Helemaal zal dit niet lukken vanwege het feit dat het effect van q op k_l niet gelijk is tussen het oude en nieuwe VEM-systeem. In dit hoofdstuk wordt een voorstel gedaan voor het aanpassen van de VEM-conversiewaarde 6.9 zodat de oude VEM-waarde van één gram gerst en de nieuwe VEM-waarde van één gram gerst exact hetzelfde blijft. In de CVB Veevoedertabel 2021 heeft één gram gerst een VEM-waarde van 0.98.

In het nieuwe VEM-systeem wordt geen rekening gehouden met een negatief effect van VN op de netto energiewaarde van een voedermiddel zoals het geval is in het oude VEM-systeem. De dataset van klimaatrespiratieproeven waarop het nieuwe VEM-systeem is gebaseerd had een gemiddelde q -waarde van 63.6 (zie hoofdstuk 3). Deze waarde is ook gebruikt in het opstellen van een nieuwe rekenregel om vanuit een ME-gehalte van voer het bijbehorende VEM-gehalte te berekenen.



Figuur 14. Relatie tussen k_I en q voor het oude VEM-systeem (onderbroken lijn) en het nieuwe VEM-systeem (doorgetrokken lijn).

10.2 Materiaal en Methoden

In de CVB Veevoedertabel 2021 heeft gerst de gehalten en voederwaarden zoals weergegeven in Tabel 33.

Tabel 33. Nutriëntgehalten van gerst in de CVB Veevoedertabel 2021

Nutriënt	Gehalte
DS (g/kg)	873
RAS (g/kg)	21
RE (g/kg)	102
RVET (g/kg)	18
RC (g/kg)	47
ZETam (g/kg)	502
Suiker (g/kg)	22
NDF (g/kg)	141
OK (g/kg)	685
Bruto energie (BE; kJ/kg)*	15748
Metaboliseerbare energie (ME; kJ/kg)**	10996
q (ME : BE $\times$ 100)	69.8
VEM (/kg)	980

*Berekend met de generieke formule: BE (kJ/kg) = $24.14 \times RE$ (g/kg) + $36.57 \times RVET$ (g/kg) + $20.92 \times RC$ (g/kg) + $16.99 \times OK$ (g/kg)

**Berekend met de generieke formule: ME (kJ/kg) = $15.90 \times VRE$ (g/kg) + $37.66 \times VRVET$ (g/kg) + $13.81 \times VRC$ (g/kg) + $14.64 \times VOK$ (g/kg) waarbij VRE = fecaal verteerbaar ruw eiwit, $VRVET$ = fecaal verteerbaar ruw vet, VRC = fecaal verteerbare ruwe celstof, VOK = fecaal verteerbare overige koolhydraten.

De k_I -waarde van gerst uit de CVB Veevoedertabel 2021 voor het oude en het nieuwe VEM-systeem is berekend als volgt:

k_I -waarde oude VEM-systeem = $0.463 + 0.00240 \times q$

k_I -waarde nieuwe VEM-systeem = $0.405 + 0.00418 \times q$

Het VEM-gehalte van gerst voor het oude VEM-systeem kan als volgt berekend worden:

$$\text{VEM (/(kg)} = [10996 \times (0.463 + 0.00240 \times 69.8) \times 0.9752] / 6.90 = 980$$

Waarbij 0.9752 een correctie is van het ME-gehalte als gevolg van een verteringsdepressie omdat ME-gehalten van voedermiddelen zijn gebaseerd op een VN van 1.0 (onderhoudsniveau) terwijl VEM-gehalten zijn gebaseerd op een VN van 2.38 (melkproductie van 15 kg meetmelk; melk met 4% vet). Dit betekent dat 1 kg gerst in het oude VEM-systeem een VEM waarde van 980 heeft, iets lager dan de oorspronkelijk ingestelde waarde van 1000 VEM per kg gerst, waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in DS gehalte en/of nutriëntgehalten van gerst toen en nu.

Het VEM-gehalte van gerst voor het nieuwe VEM-systeem is op dezelfde manier berekend als voor het oude VEM-systeem met deze verschillen dat er:

1. geen correctie is voor een verteringsdepressie en
2. waarbij de VEM-conversiewaarde 6.90 is aangepast om zodoende een VEM-waarde te verkrijgen waarbij 1 gram gerst een waarde van 0.98 VEM heeft en
3. waarbij de nieuwe k_f -formule is toegepast.

De volgende formule is hiervoor gebruikt om de VEM-conversiewaarde te berekenen:

$$980 = [10996 \times (0.405 + 0.00418 \times 69.8)] / \text{VEM-conversiewaarde}$$

$$\text{VEM-conversiewaarde} = [10996 \times (0.405 + 0.00418 \times 69.8)] / 980 = 7.82$$

10.3 Resultaten, Discussie en Voorstel

Om de oude VEM-waarde van gerst van 0.98 VEM per g gerst te handhaven blijkt het nodig om de VEM-conversiewaarde van 6.9 te verhogen naar 7.82.

De formule om ME-gehalten van voedermiddelen om te rekenen naar VEM wordt dan:

$$\text{VEM (VEM/kg)} = (0.405 + 0.00418 \times q) \times \text{ME (kJ/kg)} / 7.82$$

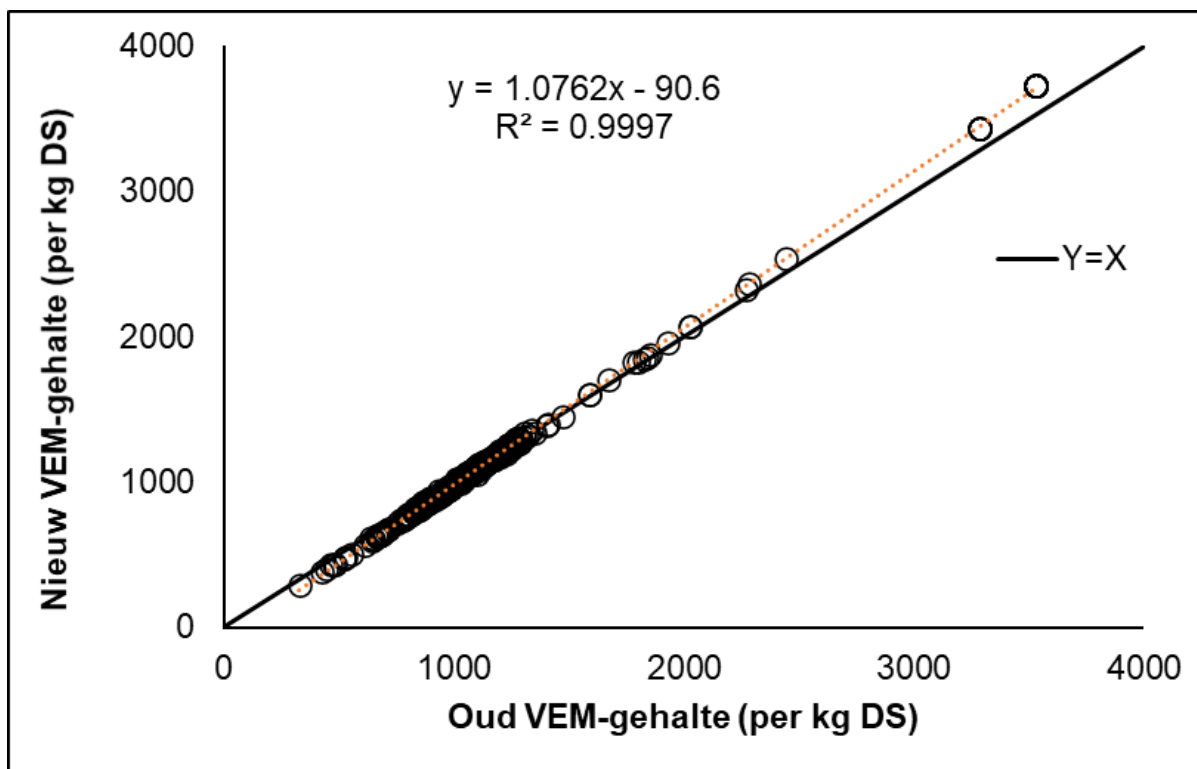
Of, naar analogie van de formule die in de CVB Veevoedertabel 2021 staat (uitgaande van een gemiddelde q -waarde van 63.6, de gemiddelde q -waarde van de meta-analyse dataset van klimaatrespiratieproeven waarop de nieuw k_f -formule en energiebehoefte voor onderhoud is gebaseerd (zie hoofdstuk 3)):

$$\text{VEM (VEM/kg)} = 0.671 \times (1 + 0.00623 \times (q - 63.6)) \times \text{ME (kJ/kg)} / 7.82$$

Of vereenvoudigd:

$$\text{VEM (VEM/kg)} = (0.00053452 \times q + 0.05179) \times \text{ME (kJ/kg)}$$

Wanneer bovenstaande voorgestelde formules worden gebruikt om het VEM-gehalte van voedermiddelen te berekenen resulteert dit in onderstaande relatie tussen oude VEM-gehalten van voedermiddelen en nieuwe VEM-gehalten van voedermiddelen (Fig. 15).



Figuur 15. Relatie tussen oude VEM-gehalten van voedermiddelen en nieuwe VEM-gehalten van voedermiddelen in de CVB Veevoedertabel 2021 bij gebruik van de VEM-conversiewaarde 7.82.

Fig. 15 laat zien dat voedermiddelen met VEM-gehalten van rond 1190 VEM/kg DS resulteren in identieke nieuwe VEM-gehalten, terwijl bij hogere VEM-gehalten de verschillen tussen oude en nieuwe VEM-gehalten in geringe mate toenemen.

Referenties

- Armsby, H. P., 1917. The Nutrition of Farm Animals. MacMillan, New York, USA. Handreiking bedrijfsspecifieke excretie melkvee. Versie per 17 april 2020.
- Bell, A. W., R. Slepatis, and R. A. Ehrhardt. 1995. Growth and accretion of energy and protein in the gravid uterus during late pregnancy in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 78:1954-1961.
- Bereskin, B, and R. W. Touchberry. 1967. Some effects of pregnancy on body weight and paunch girth. *J. Dairy Sci.* 50:220-224.
- Brosh, A., Z. Henkin, E. D. Ungar, A. Dolev, A. Shabtay, A. Orlov, Y. Yehuda, and Y. Aharoni. 2010. Energy cost of activities and locomotion of grazing cows: A repeated study in larger plots. *Journal of Animal Science* 88:315-323.
- Chen, J., G. J. Remmelink, J. J. Gross, R. M. Bruckmaier, B. Kemp, and A. T. M. van Knegsel. 2016. Effects of dry period length and dietary energy source on milk yield, energy balance, and metabolic status of dairy cows over 2 consecutive years: Effects in the second year. *J. Dairy Sci.* 99:4826-4838.
- Capuco, A. V. and R. M. Akers. 1999. Mammary involution in dairy animals. *J. Mammary Gland Biol. and Neoplasia* 4:137-144.
- CVB, 2025. CVB Documentation Report nr. 80. Updated energy and protein requirements of dairy youngstock.
- CVB, 2022. CVB Documentation Report nr. 78. Body weight of the modern Holstein Friesian dairy cow.
- CVB, 2015. CVB Documentation Report nr. 56. A new Dutch net energy formula for feed and feedstuffs for growing and fattening pigs.
- CVB, 2007. CVB Documentatierapport nr. 51. Voeropnamemodel Melkvee, Versie 2007.
- CVB. 2000. CVB Documentatierapport nr. 27. Voeding van drachtige koeien in de droogstand. Literatuurstudie ter actualisering van de voedingsadviezen door het CVB.
- Di Marco, O.N., M. S. Aello, and D. G. Méndez. 1996. Energy expenditure of cattle grazing on pastures of low and high availability. *Animal Science.* 63: 45-50.
- Dohme-Meier, F., L. D. Kaufmann, S. Gors, P. Junghans, C. C. Metges, H. A. van Dorland, R. M. Bruckmaier, and A. Munger. 2014. Comparison of energy expenditure, eating pattern and physical activity of grazing and zero-grazing dairy cows at different time points during lactation. *Livestock Science* 162:86-95.
- Ferrell, C. L., W. N. Garrett, N. Hinman, and G. Grichting. 1976. Energy utilization by pregnant and non-pregnant heifers. *J. Anim. Sci.* 42:937-950.
- Gerrits, W. J. J., J. J. G. C. van den Borne, and E. Labussière. 2015. Deriving heat production from gaseous exchange: validity of the approach. Pages 19-34 in *Indirect Calorimetry. Techniques, Computations and Applications*. W. J. J. Gerrits and E. Labussière, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.
- Gomez, A., and N. B. Cook. 2010. Time budgets of lactating dairy cattle in commercial freestall herds. *Journal of Dairy Science* 93:5772-5781.
- Hatew, B., A. Bannink, H. van Laar, L. H. de Jonge, and J. Dijkstra. 2016. Increasing harvest maturity of whole-plant corn silage reduces methane emission of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:354-368.
- Hatew, B., S. C. Podesta, H. Van Laar, W. F. Pellikaan, J. L. Ellis, J. Dijkstra, and A. Bannink. 2015. Effects of dietary starch content and rate of fermentation on methane production in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:486-499.
- Hetti Arachchige, A. D., A. D. Fisher, M. J. Auldist, W. J. Wales, and E. C. Jongman. 2013. Effects of different systems of feeding supplements on time budgets of cows grazing restricted pasture allowance.

- Huang, W., Y. Tian, Y. Wang, A. Simayi, A. Yasheng, Z. Wu, S. Li, and Z. Cao. 2014. Effect of reduced energy density of close-up diets on dry matter intake, lactation performance and energy balance in multiparous Holstein cows. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5:30-30.
- Huyen, N. T., O. Desrues, S. J. J. Alferink, T. Zandstra, M. W. A. Verstegen, W. H. Hendriks, and W. F. Pellikaan. 2016. Inclusion of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) silage in dairy cow rations affects nutrient digestibility, nitrogen utilization, energy balance, and methane emissions. *J. Dairy Sci.* 99:3566-3577.
- INRA, 2018. INRA feeding system for ruminants. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 640 pp.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 10. Emissions from livestock and manure management. 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Jakobsen, P. E., P. H. Sorensen, and H. Larsen. 1957. Energy investigations as related to fetus formation in cattle. *Acta Agric. Scand.* 7:103-112.
- Jarrige, R., 1989. Ruminant Nutrition: recommended allowances and feed tables. INRA Publications, Paris, John Libbey Eurotext, London, Paris, 389 pp.
- Jasinsky, A., M. Ceriani, D. A. Mattiauda, and A. Casal. 2019. Heat production and body composition of primiparous Holstein cows with or without grazing pastures in early lactation. *Livestock Science* 225:1-7.
- Jasinsky, A., D.A. Mattiauda, M. Ceriani, A. Casal, and M. Carriquiry. 2022. Energy expenditure for eating, grazing and walking of dairy cows on different feeding strategies. In: Abstracts of the 2022 American Dairy Science Association Annual Meeting. *Journal of Dairy Science.* 105 (Suppl. 1): 297.
- Kaufmann, L. D., A. Munger, M. Rerat, P. Junghans, S. Gors, C. C. Metges, and F. Dohme-Meier. 2011. *Journal of Dairy Science* 94:1989-2000.
- Koenen, E. P. C., A. F. Groen, and N. Gengler. 1999. Phenotypic variation in live weight and live-weight changes of lactating Holstein-Friesian cows. *Animal Science* 68:109-114.
- Lawson, J. E.. 1976. Birth and weaning weights of herefords and crosses among the Hereford, Highland, and Angus breeds. *Can. J. Anim. Sci.* 56:147-155.
- Moe, P. W. and H. F. Tyrrell. 1972. Metabolizable energy requirements of pregnant dairy cows. *J. Dairy Sci.* 55:480-483.
- Motupalli, P. R., L. A. Sinclair, G. L. Charlton, E. C. Bleach, and S. M. Rutter. 2014. Preference and behavior of lactating dairy cows given free access to pasture at two herbage masses and two distances. *Journal of Animal Sciences* 92:5175-5184.
- Munksgaard, L., M. B. Jensen, L. J. Pedersen, S. W. Hansen, and L. Matthews. 2005. Quantifying behavioural priorities—effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*. *Applied Animal Behaviour Science* 92:3-14.
- Nickerson, S. C. 1989. Immunological Aspects of mammary involution. *J. Dairy Sci.* 72:1665-1678.
- Pellikaan, W. F. 2014. Ongepubliceerde proef waarin verschillende typen vet met elkaar zijn vergeleken.
- Poncheki, J. K., M. L. S. Canha, S. L. Viechnieski, and R. d. Almeida. 2015. Analysis of daily body weight of dairy cows in early lactation and associations with productive and reproductive performance. *Revista Brasileira de Zootecnia* 44:187-192.
- Potts, S. B., J. P. Boerman, A. L. Lock, M. S. Allen, and M. J. VandeHaar. 2017. Relationship between residual feed intake and digestibility for lactating Holstein cows fed high and low starch diets. *J. Dairy Sci.* 100:265-278.
- Putnam, D. N., and H. O. Henderson. 1946. The effect of pregnancy on the body weight of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 29:657-661.

- Rehak, D., J. Volek, L. Barton, Z. Vodkova, M. Kubesova and R. Rajmon. 2012. Relationships among milk yield, body weight, and reproduction in Holstein and Czech Fleckvieh cows. *Czech J. Anim. Sci.* 57:274-282.
- Spek, J. W. and L.B. Šebek. 2019. Energiebehoefte van droogstaande en lacterende Holstein Friesian koeien. Wageningen Livestock Research, Rapport 1211.
- Sguizzato, A. L. L., M. I. Marcondes, J. Dijkstra, S. C. V. Filho, M. M. Campos, F. S. Machado, B. C. Silva, and P. P. Rotta. 2020. Energy requirements for pregnant dairy cows. *Plos One* 15(7).
- Strathe, A. B., J. Dijkstra, J. France, S. Lopez, T. Yan, and E. Kebreab. 2011. A Bayesian approach to analyze energy balance data from lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94:2520-2531.
- Talmón, D., M. Garcia-Roche, A. Mendoza, D. A. Mattiauda, and M. Carriquiry. 2019. Estimation of activity energy requirement for grazing dairy cows fed with different strategies. In: Abstracts of the 2019 American Dairy Science Association Annual Meeting. *Journal of Dairy Science*. 102 (Suppl. 1): 369.
- Tamminga, S., P. A. Luteijn, R. G. M. Meijer. 1997. Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livest. Prod. Sci.* 52:31-38.
- Tilley, J. M., and R. A. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:104–111.
- Tucker, C. B., M. B. Jensen, A. M. de Passille, L. Hanninen, and J. Rushen. 2020. Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104:20-46.
- Tyrrell, H. F. and J. T. Reid. 1965. Prediction of the energy value of cow's Milk. *J. Dairy Sci.* 48:1215-1223.
- Van der Drift, S. G. A. 2012. Fat and protein mobilization in early-lactation in dairy cows.
- Van Duinkerken, G., G. André, M. C. J. Smits, G. J. Monteny, and L. B. J. Šebek. 2005. Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *J. Dairy Sci.* 88:1099-1112.
- Van Es, A. J. H., 1974. Energy intake and requirement of dairy cows during the whole year. *Livestock Production Science* 1:21-32.
- Van Es, A. J. H. 1975. Feed evaluation for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 2:95-107.
- 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.
- Van Gastelen, S., E. C. Antunes-Fernandes, K. A. Hettinga, G. Klop, S. J. J. Alferink, W. H. Hendriks, and J. Dijkstra. 2015. Enteric methane production, rumen volatile fatty acid concentrations, and milk fatty acid composition in lactating Holstein-Friesian cows fed grass silage- or corn silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 98:1915-1927.
- Van Gastelen, S., M. H. P. W. Visker, J. E. Edwards, E. C. Antunes-Fernandes, K. A. Hettinga, S. J. J. Alferink, W. H. Hendriks, H. Bovenhuis, H. Smidt, and J. Dijkstra. 2017. Linseed oil and DGAT1 K232A polymorphism: Effects on methane emission, energy and nitrogen metabolism, lactation performance, ruminal fermentation, and rumen microbial composition of Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.* 100:8939-8957.
- Van Hoeij, R.J., J. Dijkstra, R.M. Bruckmaier, J.J. Gross, T.J.G.M. Lam, G.J. Remmelink, B. Kemp, en A.T.M. van Knegsel. 2017. The effect of dry period length and postpartum level of concentrate on milk production, energy balance and plasma metabolites of dairy cows across the dry period and in early lactation. *J. Dairy Sci.* 100: 5863-5879.
- Van Knegsel, A T. M., G. J. Remmelink, S. Jorjong, V. Fievez, and B. Kemp. 2014. Effect of dry period length and dietary energy source on energy balance, milk yield, and milk composition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97:1499-1512.

- Van Knegsel, A. T. M., H. van den Brand, J. Dijkstra, W. M. van Straalen, M. J. W. Heetkamp, S. Tamminga, and B. Kemp. 2007. Dietary Energy Source in Dairy Cows in Early Lactation: Energy Partitioning and Milk Composition. *J. Dairy Sci.* 90:1467-1476.
- Van Straten, M., N. Y. Shpigel, and M. Friger. 2008. Analysis of daily body weight of high-producing dairy cows in the first one hundred twenty days of lactation and associations with ovarian inactivity. *J. Dairy. Sci.* 91:3353-3362.
- Warner, D., S. C. Podesta, B. Hatew, G. Klop, H. van Laar, A. Bannink, and J. Dijkstra. 2015. Effect of nitrogen fertilization rate and regrowth interval of grass herbage on methane emission of zero-grazing lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:3383-3393.
- Warner, D., B. Hatew, S. C. Podesta, G. Klop, S. Van Gastelen, H. Van Laar, J. Dijkstra, and A. Bannink. 2016. Effects of nitrogen fertilisation rate and maturity of grass silage on methane emission by lactating dairy cows. *Animal* 10:34-43.
- Warner, D., A. Bannink, B. Hatew, H. van Laar, and J. Dijkstra. 2017. Effects of grass silage quality and level of feed intake on enteric methane production in lactating dairy cows. *J. Animal Sci.* 95:3687-3699.
- Zom, R. L. G. 2014. The development of a model for the prediction of feed intake and energy partitioning in dairy cows. PhD thesis. <https://edepot.wur.nl/312579>.

Bijlage A: Evaluatie van verschillen tussen gebruik van model 8 en model 9 (Hoofdstuk 3) op voorspelde ME_{opn} bij koeien met grote contrasten in melksamenstelling

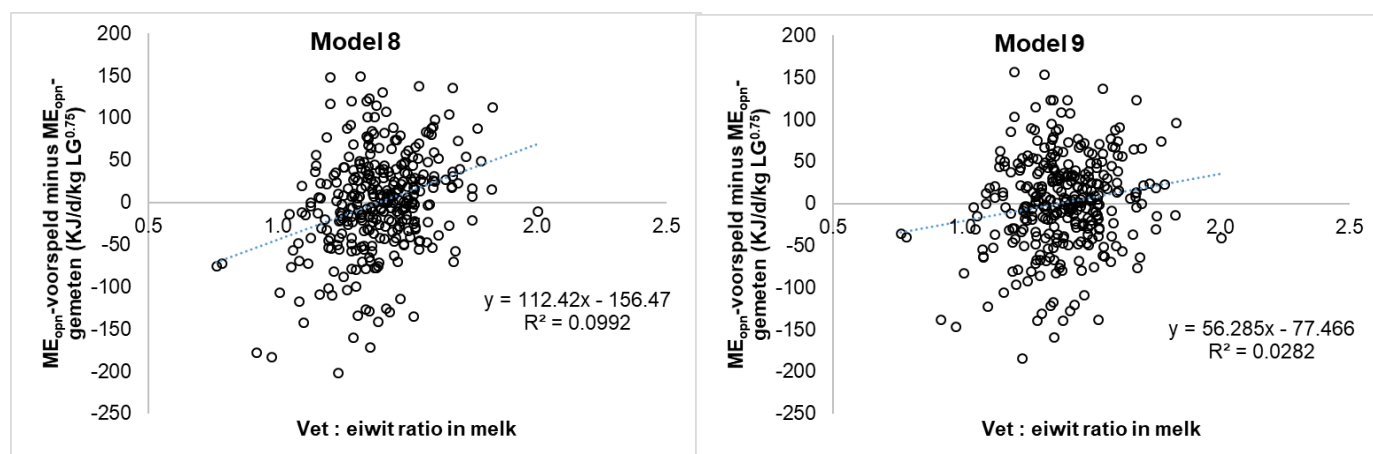
Een werd een vergelijking gemaakt tussen gebruik van model 8 en model 9 om te bepalen welke kwantitatieve verschillen in berekende energiebehoefte men kan verwachten indien aparte efficiëntiefactoren voor de omzetting van ME in melkvet, melkeiwit en een restfractie worden gebruikt (model 9) in vergelijking met het gebruik van een enkele efficiëntiefactor voor de omzetting van ME in melk (model 8).

Uit analyse van de dataset bleek dat zowel voor model 8 als model 9 de relaties tussen de residuals van ME_{opn}-voorspeld en ME_{opn}-gemeten en gehalten aan vet, eiwit, lactose en de vet : eiwitratio laag waren (Tabel 34).

Tabel 34. Relaties (R^2) tussen de residuals van ME_{opn}-voorspeld en ME_{opn}-gemeten en gehalten aan vet, eiwit, lactose en de vet : eiwitratio.

		%vet	% eiwit	% lactose	Vet:eiwit ratio
ME _{opn} -voorspeld minus ME _{opn} -gemeten	Model 8	0.122	-0.210	0.100	0.315
	Model 9	0.058	-0.133	0.133	0.168

In Figuur 16 is de relatie tussen de residuals van ME_{opn}-voorspeld en ME_{opn}-gemeten en de vet : eiwitratio weergegeven bij gebruik van zowel model 8 als model 9.



Figuur 16. Relatie tussen de residuals van ME_{opn}-voorspeld en ME_{opn}-gemeten en de vet : eiwitratio weergegeven bij gebruik van zowel model 8 (linkerpaneel) als model 9 (rechterpaneel).

Vervolgens is berekend wat toepassing van modellen 8 en 9 betekent voor berekende VEM behoeften. Daarbij is gerekend met een standaardkoe van 650 kg, een rantsoen met een q-waarde van 60, en een energiebalans van nul. De behoeften zijn berekend voor verschillende melkproductieniveaus (10, 20, 30 en 40 kg melk per dag) waarbij melkvetgehalten stegen met stapjes van 0.50% van 3.0% naar 6.0 procent (ongeveer de range die ook in de meta-analyse dataset is waargenomen) en is het eiwitgehalte berekend uit het vetgehalte waarbij gebruik is gemaakt van de regressierelatie tussen percentage vet en eiwit in melk van de meta-analyse dataset:

$$\% \text{melkeiwit} = 1.90 + 0.309 \times \% \text{melkvet}; n=316, R^2 = 0.327$$

Daarnaast is bij het berekenen van de VEM-behoefte rekening gehouden met een verteringsdepressie door aan te nemen dat de VEM-behoefte bij elke toename van het VN boven 1 (in dit geval gerekend met een ME-behoefte voor onderhoud van 488 kJ/d/kg LG^{0.75}) toeneemt met 1.05%

Dit resulteerde in de volgende uitkomsten bij gebruik van model 8 (Tabel 35).

Tabel 35. uitkomsten van berekeningen bij gebruik van model 8.

	% melkvet	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
	% melkeiwit	2.82	2.98	3.13	3.29	3.44	3.60	3.75
	%lactose	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60
	vet: eiwit	1.06	1.18	1.28	1.37	1.45	1.53	1.60
		NE-behoefte voor melkproductie (kJ/d/kg LG^{0.75})						
Melk (kg/d)	10	201	219	236	254	271	289	307
	20	402	437	473	508	543	578	613
	30	603	656	709	762	814	867	920
	40	804	875	945	1015	1086	1156	1226
		Energiebehoefte ME_{ond} + melkproductie (kJ ME/d/kg LG^{0.75})						
Melk (kg/d)	10	867	894	921	948	975	1002	1028
	20	1174	1228	1282	1336	1389	1443	1497
	30	1482	1562	1643	1723	1804	1885	1965
	40	1789	1896	2004	2111	2219	2326	2433
	k _l	0.655	0.655	0.655	0.655	0.655	0.655	0.655
		Netto energie behoefte (VEM per dag)						
Melk (kg/d)	10	10678	11015	11353	11691	12029	12368	12707
	20	14558	15242	15927	16614	17303	17993	18685
	30	18490	19530	20574	21622	22673	23728	24787
	40	22476	23882	25296	26716	28143	29577	31018

Dit resulteerde in de volgende uitkomsten bij gebruik van model 9 (Tabel 36).

Tabel 36. uitkomsten van berekeningen bij gebruik van model 9.

	% melkvet	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
	% melkeiwit	2.82	2.98	3.13	3.29	3.44	3.60	3.75
	%lactose	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60
	vet: eiwit	1.06	1.18	1.28	1.37	1.45	1.53	1.60
		NE-behoefte voor melkproductie (kJ/d/kg LG^{0.75})						
Melk (kg/d)	10	201	219	236	254	271	289	307
	20	402	437	473	508	543	578	613
	30	603	656	709	762	814	867	920
	40	804	875	945	1015	1086	1156	1226
		Energiebehoefte ME_{ond} + melkproductie (kJ ME/d/kg LG^{0.75})						
Melk (kg/d)	10	871	896	921	946	971	996	1021
	20	1185	1235	1285	1335	1385	1434	1484
	30	1499	1574	1649	1724	1798	1873	1948
	40	1813	1913	2013	2112	2212	2312	2412
	k _l	0.640	0.645	0.649	0.653	0.656	0.659	0.661
		Netto energie behoefte (VEM per dag)						
Melk (kg/d)	10	10493	10880	11260	11635	12006	12373	12738
	20	14374	15107	15834	16558	17278	17997	18713
	30	18309	19397	20482	21565	22647	23729	24812
	40	22298	23752	25206	26660	28116	29575	31037

Wanneer de VEM behoeften bij gebruik van model 8 en model 9 met elkaar vergeleken worden dan blijkt dat de verschillen minimaal zijn (maximaal 185 VEM verschil per dag bij een melkproductie van 10 kg per dag en een vet/eiwit verhouding van 1.06).

Conclusie

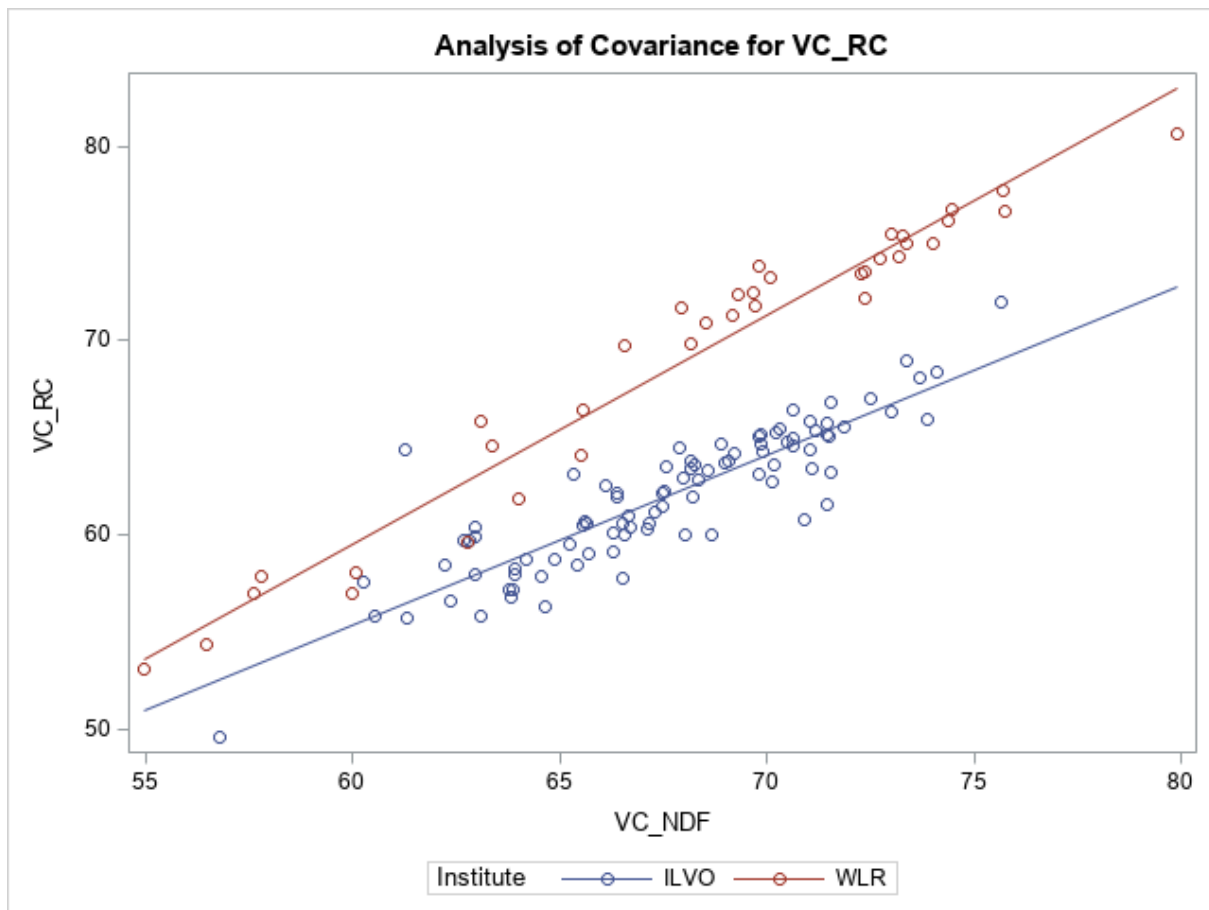
De meerwaarde van een nauwkeuriger voorspelling bij gebruik van een complexer model (model 9 t.o.v. model 8) weegt niet op tegen de extra complexiteit van het model.

Bijlage B: Relatie tussen fecale verteerbaarheid van RC en NDF

De huidige generieke rekenregel voor het berekenen van ME-gehalten van voedermiddelen/rantsoenen o.b.v. fecaal verteerbare nutriënten is gebaseerd op data van laagproductieve koeien. Het is echter duidelijk dat voeropname niveau een positief effect heeft op ME-gehalten van fecaal verteerbare nutriënten. Om het effect van VN op ME-gehalten van rantsoenen opnieuw vast te stellen op een recente dataset van klimaatrespiratieproeven bleek het nodig om een aanname te maken voor de fecaal verteerbare gehalten van RC (VC-RC; %). Dit omdat in de meeste proeven VC-RC niet was gemeten terwijl fecaal verteerbaar RC onderdeel uitmaakt van de generieke rekenregel om ME-gehalten van voedermiddelen te berekenen. Omdat in alle proeven wel gehalten aan fecaal verteerbaar NDF (VC-NDF; %) is bepaald is besloten om VC-RC af te leiden van VC-NDF. Om deze relatie vast te stellen is een dataset gebruikt van één proef uitgevoerd in Wageningen (studie van Spek en Sebek 2019) en 3 proeven uitgevoerd door ILVO. In deze bijlage zijn de resultaten van de relatie tussen VC-NDF and VC-RC weergegeven. In Tabel 37 is een overzicht gegeven van de beide datasets. En in Figuur 17 de relatie tussen VC-RC en VC-NDF voor de Wageningen data en de ILVO data apart.

Tabel 37. Overzicht dataset gebruikt voor relatie tussen VC-NDF en VC-RC.

Instituut	Variabele	N	Gem.	Std Dev	Minimum	Maximum
ILVO	DSO (kg/d)	92	21.5	2.49	14.7	25.8
	Ruwvoeraandeel (ratio)	92	0.68	0.047	0.53	0.80
	ZET gehalte (g/kg DS)	92	215	18.3	179	257
	NDF gehalte (g/kg DS)	92	336	16.3	291	382
	RC gehalte (g/kg DS)	92	172	8.3	150	199
	RE gehalte (g/kg DS)	92	162	7.2	146	191
	VC-RC (%)	92	62.0	3.58	49.6	72.0
	VC-NDF (%)	92	67.6	3.60	56.8	75.7
	VC-ADF (%)	80	60.9	3.80	49.0	71.4
WLR	DSO (kg/d)	36	14.6	5.60	9.1	26.3
	Ruwvoeraandeel (ratio)	36	0.77	0.182	0.49	0.90
	ZET gehalte (g/kg DS)	36	139	59.8	61	230
	NDF gehalte (g/kg DS)	36	445	54.0	346	514
	RC gehalte (g/kg DS)	36	245	26.8	194	276
	RE gehalte (g/kg DS)	36	152	15.6	135	175
	VC-RC (%)	36	69.3	7.41	53.2	80.6
	VC-NDF (%)	36	68.3	6.16	55.0	79.9



Figuur 17. Relatie tussen VC-RC (%) en VC-NDF (%) voor ILVO en WLR data. VC-RC ILVO (%) = $2.8 \pm 3.31 + 0.875 \pm 0.0489 \times \text{VC-NDF} (\%)$ en VC-RC WLR = $-11.0 \pm 3.16 + 1.176 \pm 0.0461 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.922$.

De relaties voor de individuele experimenten waren:

WLR exp 1: VC-RC (%) = $-11.0 \pm 3.03 + 1.176 \pm 0.0443 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.954$

ILVO exp 1: VC-RC (%) = $-1.5 \pm 5.70 + 0.943 \pm 0.0833 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.854$

ILVO exp 2: VC-RC (%) = $21.1 \pm 10.28 + 0.613 \pm 0.1472 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.45$

ILVO exp 3: VC-RC (%) = $-1.3 \pm 6.07 + 0.930 \pm 0.0905 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.841$

De relaties voor de individuele experimenten waarbij de intercept geforceerd is door nul zijn:

WLR exp: VC-RC (%) = $1.016 \pm 0.0046 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.936$

ILVO exp 1: VC-RC (%) = $0.922 \pm 0.0031 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.853$

ILVO exp 2: VC-RC (%) = $0.915 \pm 0.0071 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.342$

ILVO exp 3: VC-RC (%) = $0.910 \pm 0.0045 \times \text{VC-NDF} (\%)$; $R^2 = 0.840$

Er is ook bekeken of factoren zoals DSO, NDF opname en rantsoengegevens zoals gehalten aan zetmeel, NDF en eiwit de relaties tussen VC-NDF en VC-RC beïnvloeden. Dit is gedaan voor de gecombineerde dataset van WLR en ILVO studies waarbij instituut (WLR of ILVO) en experiment genest binnen instituut als random variabelen zijn toegevoegd. Het bleek dat NDF opname minder variatie verklaarde dan DSO, en dat gehalten aan zetmeel en eiwit in het rantsoen niet significant waren. Onderstaand zijn de relaties weergegeven met factoren die resulteerden in een verbeterde modelfit:

VC-RC (%) = $1.019 \pm 0.030 \times \text{VC-NDF} (\%)$: AIC = 536

$$\text{VC-RC (\%)} = -0.251 \pm 0.0420 \times \text{DSO (kg/d)} + 0.950 \pm 0.0316 \times \text{VC-NDF (\%)}; \text{AIC} = 509$$

$$\text{VC-RC (\%)} = -0.186 \pm 0.0340 \times \text{DSO (kg/d)} + 0.874 \pm 0.0318 \times \text{VC-NDF (\%)} + 0.0235 \pm 0.00506 \times \text{NDF-gehalte (g/kg DS)}; \text{AIC} = 499$$

$$\text{VC-RC (\%)} = -0.149 \pm 0.0421 \times \text{DSO (kg/d)} + 0.912 \pm 0.0287 \times \text{VC-NDF (\%)} + 6.71 \pm 1.699 \times \text{ruwvoerratio}; \text{AIC} = 490$$

Het bleek dat het vetgedrukte model met DSO, VC-NDF en NDF-gehalte als verklarende variabelen resulteerde in het kleinste geschatte verschil tussen de instituten WLR en ILVO (WLR = 1.8 en ILVO = -1.0). Toepassen van deze regressierelatie resulteerde in de volgende relaties tussen waargenomen VC-RC ($\text{VC-RC}_{\text{obs.}}$) en voorspeld VC-RC ($\text{VC-RC}_{\text{pred.}}$) voor de individuele experimenten:

$$\text{WLR: } \text{VC-RC}_{\text{obs.}} (\%) = 2.8 \pm 2.14 + 0.986 \pm 0.0315 \times \text{VC-RC}_{\text{pred.}} (\%); R^2 = 0.966$$

$$\text{ILVO exp 2: } \text{VC-RC}_{\text{obs.}} (\%) = -2.1 \pm 5.53 + 1.020 \pm 0.0865 \times \text{VC-RC}_{\text{pred.}} (\%); R^2 = 0.863$$

$$\text{ILVO exp 2: } \text{VC-RC}_{\text{obs.}} (\%) = 16.8 \pm 10.24 + 0.722 \pm 0.1572 \times \text{VC-RC}_{\text{pred.}} (\%); R^2 = 0.502$$

$$\text{ILVO exp 3: } \text{VC-RC}_{\text{obs.}} (\%) = -4.5 \pm 6.79 + 1.054 \pm 0.1092 \times \text{VC-RC}_{\text{pred.}} (\%); R^2 = 0.823$$

Bijlage C: Formule om q en k_l te berekenen uit FPCM productie

Voor het berekenen van VEM2022-behoeften voor melkproductie voor de categorieën Jersey en Overige rassen zoals Holstein Friesian melkkoeien (de categorieën Jersey en Overige rassen zijn overgenomen uit de Handreiking BEX) is het nodig om de q-waarde van het rantsoen te kennen vanwege het effect van q op de efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie uit voer (ME) wordt omgezet in melkenergie (deze efficiëntie wordt afgekort als k_l waarbij $k_l = 0.405 + 0.00418 \times q$). De q-waarde wordt berekend als $ME \text{ (metaboliseerbare energie)} / BE \text{ (bruto energie)} \times 100$. In het algemeen is het zo dat hoogproductieve dieren voer krijgen met een hoge q-waarde terwijl dieren met een lage productie rantsoenen krijgen met een lagere q-waarde. Daarom is ervoor gekozen om de relatie tussen FPCM (vet en eiwit gecorrigeerde melkproductie) en q te gebruiken om uit de gemeten FPCM de q-waarde te berekenen.

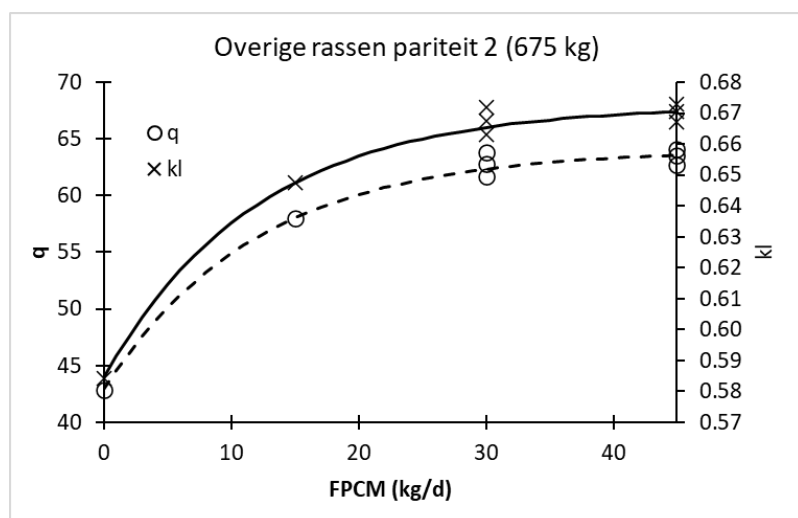
Deze relatie is als volgt vastgesteld voor de categorie 'Overige rassen' door voor een 2^e pariteit koe van 675 kg met een dagelijkse groei van 0.11 kg en met een voeropnamecapaciteit (VOC) van 16.0 rantsoenen. Daarvoor zijn rantsoenen geformuleerd met daarin de keuze uit graskuil, maiskuil, tarwestro, raapzaadschroot, bestendig raapzaadschroot en maismeel. In het formuleren/optimaliseren van deze rantsoenen is verder voldaan aan de behoeften aan ME en DVE volgens de VEM2022- en DVE-behoeftennormen voor FPCM productieniveaus van 0, 15, 30 en 45 kg/d. Verder zijn bij het optimaliseren van deze rantsoenen de berekende ME-behoeften voor de verschillende melkproductieniveaus vermenigvuldigd met een generieke factor 1.046 om rekening te houden met verschillen tussen berekende VEM2022-opname en waargenomen VEM2022-opname op commerciële melkveebedrijven. Verder is voor een melkproductieniveau van 30 kg FPCM per dag het aandeel snijmais vastgezet op 0, 3 en 6 kg DS en is voor een FPCM productie van 45 kg het aandeel snijmais vastgezet op 3, 6 en 9 kg DS. Dit resulteert in geoptimaliseerde rantsoenen zoals weergegeven in Tabel 38.

Tabel 38. Rantsoensamenstelling voor de categorie 'Overige rassen' voor een tweede pariteit koe met een gewicht van 675 kg, een dagelijkse jeugdgroei van 0.11 kg en een voeropnamecapaciteit van 16.0. Daarnaast zijn ook de berekende q-waarden en de bijbehorende berekende k_i -waarden weergegeven. De k_i -waarde is berekend als $0.405 + 0.00418 \times q$.

	FPCM niveau (kg/koe/dag)							
	0	15	30	30	30	45	45	45
Drogestof opname (kg/d)								
graskuil	3.23	12.41	14.49	12.14	9.78	9.97	7.65	5.29
maiskuil	0.00	2.31	0.00	3.00	6.00	3.00	6.00	9.00
tarwestro	7.38	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
raapzaadschroot	1.73	0.00	0.00	0.53	1.15	2.73	2.62	3.24
bestendig raapschroot	0.00	0.00	0.44	0.59	0.72	1.80	2.19	2.31
maismeel	0.00	0.00	5.06	3.99	2.88	7.79	7.00	5.91
Totaal	12.34	15.80	19.99	20.26	20.53	25.27	25.46	25.75
Gehalten								
REin (g/kg DS)	130	150	157	154	153	177	170	169
OEB (g/kg DS)	5	6	1	0	0	6	0	0
VEM (/kg DS)	631	898	1012	999	985	1037	1029	1018
VEM2022 (/kg DS)	596	876	1000	984	968	1025	1016	1003
VW (/kg DS)	1.30	1.01	0.80	0.79	0.78	0.63	0.63	0.62
q	42.9	58.0	63.8	62.8	61.7	64.1	63.5	62.7
k_i	0.58	0.65	0.67	0.67	0.66	0.67	0.67	0.67

Uit Tabel 38 blijkt dat naarmate de FPCM productie toeneemt ook de q-waarde van de rantsoenen toeneemt en dat de stijging in q en k_i vooral plaatsvindt in de range 0 – 30 kg FPCM. Verder blijkt dat verschillen in k_i -waarden tussen rantsoenen klein zijn in de melkproductie range 30 – 45 kg melk.

In Figuur 18 is de relatie tussen FPCM en k_i en tussen FPCM en q weergegeven o.b.v. de berekende rantsoenen weergegeven in Tabel 38.



Figuur 18. Relatie tussen FPCM (kg/d) en q (onderbroken lijn) en tussen FPCM en k_i (doorgetrokken lijn) van de geoptimaliseerde rantsoenen weergegeven in Tabel 38 voor een 2^e pariteit koe. $q = 42.89 + 21.19 \times (1 - \text{EXP}(-0.08336 \times \text{FPCM (kg/d)}))$. $k_i = 0.584 + 0.0883 \times (1 - \text{EXP}(-0.08394 \times \text{FPCM (kg/d)}))$.

De relatie tussen FPCM en q in Fig. 18 kan gebruikt worden voor het berekenen van q-waarden voor de categorie 'Overige rassen' zodat het mogelijk is om o.b.v. voor een gewenst FPCM niveau van een Holstein Friesian koe de VEM2022-behoefte te berekenen. Vanwege de geringe variatie in k_l -waarden in de FPCM range 25 – 45 kg melk kan er ook voor gekozen worden om een vaste k_l -waarde van 0.66 te gebruiken.

Omdat een 1^e pariteit koe substantieel afwijkt van een tweede of meerdere pariteit koe m.b.t. VOC is een soortgelijke exercitie als hierboven beschreven voor 2^e pariteit koeien ook uitgevoerd voor 1^e pariteit koeien. Deze relatie is als volgt vastgesteld voor de categorie 'Overige rassen' door voor een 1^e pariteit koe met een gewicht van 615 kg en een dagelijkse groei van 0.20 kg/d en met een voeropnamecapaciteit (VOC) van 14.1 rantsoenen te optimaliseren met daarin de keuze uit graskuil, maiskuil, tarwestro, raapzaadschroot, bestendig raapzaadschroot en maismeel. In het formuleren/optimaliseren van deze rantsoenen is verder voldaan aan de behoeften aan ME en DVE volgens de VEM2022- en DVE- behoeftenormen voor FPCM productieniveaus van 0, 10, 25 en 40 kg/d. Verder zijn bij het optimaliseren van deze rantsoenen de berekende ME-behoeften voor de verschillende melkproductieniveaus vermenigvuldigd met een generieke factor 1.046 om rekening te houden met verschillen tussen berekende VEM2022-opname en waargenomen VEM2022-opname op commerciële melkveebedrijven. Verder is voor een melkproductieniveau van 25 kg FPCM per dag het aandeel snijmais vastgezet op 0, 3 en 6 kg DS en is voor een FPCM productie van 40 kg het aandeel snijmais vastgezet op 3, 6 en 9 kg DS. Dit resulteert in geoptimaliseerde rantsoenen zoals weergegeven in Tabel 39.

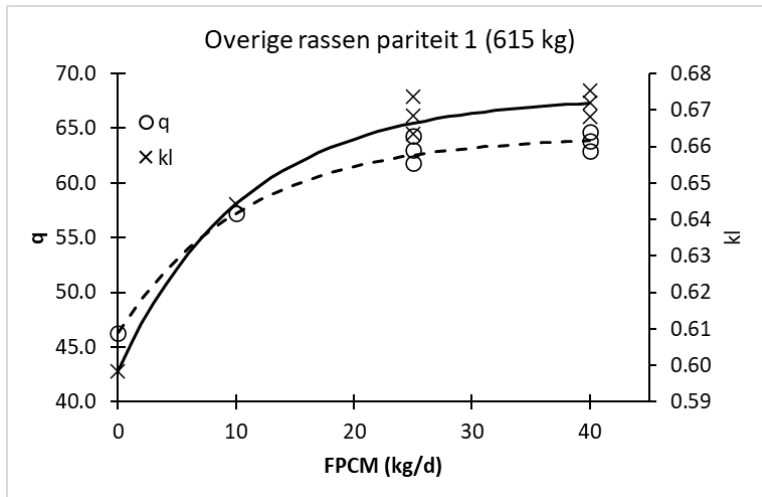
Tabel 39. Rantsoensamenstelling voor de categorie 'Overige rassen' voor een eerste pariteit koe met een gewicht van 615 kg, een dagelijkse jeugdgroei van 0.20 kg en een voeropnamecapaciteit van 14.1. Daarnaast zijn ook de berekende q-waarden en de bijbehorende berekende k_l -waarden weergegeven. De k_l -waarde is berekend als $0.405 + 0.00418 \times q$.

	FPCM niveau (kg/koe/dag)							
	0	10	25	25	25	40	40	40
Drogestof opname (kg/d)								
graskuil	4.93	10.78	12.75	10.39	8.04	8.27	5.93	3.57
maiskuil	0.00	1.48	0.00	3.00	6.00	3.00	6.00	9.00
tarwestro	5.38	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
raapzaadschroot	0.88	0.00	0.01	0.63	1.24	2.40	2.73	3.35
bestendig raapschroot	0.00	0.00	0.04	0.16	0.29	1.39	1.62	1.74
maismeel	0.00	0.00	4.90	3.79	2.68	7.85	6.88	5.79
Totaal	11.19	13.58	17.71	17.98	18.25	22.92	23.16	23.44
Gehalten								
REin (g/kg DS)	130	150	151	149	148	170	166	165
OEB (g/kg DS)	2	7	0	0	0	3	0	0
VEM (/kg DS)	688	883	1020	1004	988	1048	1037	1024
VEM2022 (/kg DS)	657	860	1009	990	971	1038	1025	1010
VW (/kg DS)	1.26	1.04	0.80	0.78	0.77	0.62	0.61	0.60
q	46.3	57.2	64.3	63.0	61.9	64.7	63.9	62.9
k_l	0.60	0.64	0.67	0.67	0.66	0.68	0.67	0.67

Uit Tabel 39 blijkt dat naarmate de FPCM productie toeneemt ook de q-waarde van de rantsoenen toeneemt en dat de stijging in q en k_l vooral plaatsvindt in de range 0 – 25 kg FPCM. Verder blijkt

dat verschillen in k_l -waarden tussen rantsoenen klein zijn in de melkproductie range 25 – 40 kg melk.

In Figuur 19 is de relatie tussen FPCM en k_l en tussen FPCM en q weergegeven o.b.v. de berekende rantsoenen weergegeven in Tabel 2.



Figuur 19. Relatie tussen FPCM (kg/d) en q (onderbroken lijn) en tussen FPCM en k_l (doorgetrokken lijn) van de geoptimaliseerde rantsoenen weergegeven in Tabel 39 voor een 1^e pariteit koe. $q = 46.29 + 18.00 \times (1 - \text{EXP}(-0.09336 \times \text{FPCM (kg/d)}))$. $k_l = 0.599 + 0.07511 \times (1 - \text{EXP}(-0.09345 \times \text{FPCM (kg/d)}))$.

De relatie tussen FPCM en q in Fig. 19 kan gebruikt worden voor het berekenen van q -waarden voor de categorie 'Overige rassen' voor eerste pariteit melkkoeien zodat het mogelijk is om o.b.v. voor een gewenst FPCM niveau van een Holstein Friesian vaars de VEM2022-behoefte te berekenen. Vanwege de geringe variatie in k_l -waarden in de FPCM range 20 – 40 kg melk kan er ook voor gekozen worden om een vaste k_l -waarde van 0.66 te gebruiken.

Bijlage D: Rekenvoorbeelden voor het berekenen van VEM2022-behoeften voor lacterende koeien, droogstaande drachtige koeien, pinken en kalveren

In 2022 zijn de energiebehoefthenormen voor lacterende koeien en droogstaande koeien aangepast met betrekking tot onderhoud, melkproductie, jeugdgroei, dracht en beweging (CVB, 2022b). Daarnaast is in 2024 gewerkt aan het actualiseren van de energiebehoefthenormen voor opgroeiend jongvee bestemd voor de melkveehouderij wat heeft geresulteerd in CVB Documentatierapport nr. 80 (CVB, 2025). In deze bijlage worden een aantal rekenvoorbeelden gegeven voor het berekenen van rantsoenen voor lacterende koeien, droogstaande koeien en jongvee. De rekenregels om metaboliseerbare energie (ME) behoeften en VEM2022-behoeften voor melkkoeien en droogstaande drachtige koeien te berekenen zijn beschreven in het voorliggende CVB Documentatierapport.

Voor het berekenen van VEM-behoefte voor melkkoeien is het nodig om de q-waarde van het rantsoen te kennen vanwege het effect van q op de efficiëntie waarmee metaboliseerbare energie uit voer (ME) wordt omgezet in melkenergie (k_i ; ratio). Voor lacterende melkkoeien wordt gerekend met een vaste q-waarde van 62 en een bijbehorende k_i -waarde van 0.66 (zie bijlage C voor de onderbouwing). Voor drachtige koeien in de droogstand wordt gerekend met een vaste q-waarde van 54 en een bijbehorende k_i -waarde van 0.63. Voor kalveren en pinken wordt gerekend met q-waarden zoals vermeld in CVB (2025)².

² Voor de reguliere groeicurve is q 65 als leeftijd ≤ 2 maanden, 60 als leeftijd ≤ 4 maanden, 55 als leeftijd ≤ 23 maanden, en 60 voor maand 24. Voor de snelle groeicurve is q 70 als leeftijd ≤ 2 maanden, 65 als leeftijd ≤ 3 maanden, 60 als leeftijd ≤ 4 maanden, 55 als leeftijd ≤ 21 maanden and 60 voor maand 22.

Rantsoenvoorbeeld lacterende koe

In dit voorbeeld wordt een rantsoen berekend voor een 2^e pariteit koe met een lichaamsgewicht (LG; kg) van 675 kg, een melkproductie van 30 kg FPCM, een jeugdgroei van 0.098 kg per dag, 182 dagen drachtig, gehuisvest in een ligboxenstal, en 6 uur per dag buiten om te grazen. Er wordt voor lacterende koeien gerekend met een vaste conversie efficiëntie (k_l) van metaboliseerbare energie (ME) naar netto energie (NE) in melk van 0.66 en met een vaste q-waarde van 62 (q = metaboliseerbare energie (ME; kJ/kg DS) / bruto energie (BE; kJ/kg DS) × 100 van een rantsoen).

$$k_l = 0.66$$

$$q = 62$$

$$\text{ME-behoefte onderhoud (ME}_{\text{ond}}; \text{ kJ/d}) = 1.1^3 \times 562 \times \text{LG}^{0.75}$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{ond}} = 1.1 \times 562 \times 675^{0.75} = 81867$$

$$\text{VEM2022-behoefte onderhoud (VEM2022}_{\text{ond}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{ond}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{ond}} = 81867 \times 0.66 / 7.82 = 6909.$$

$$\text{ME behoefte beweiding (ME}_{\text{bew}}; \text{ kJ/d}) = (\text{uur-per-dag-buiten} / 24) \times 0.3 \times 1.1 \times 562 \times 675^{0.75}$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{bew}} = 6 / 24 \times 0.30 \times 1.1 \times 562 \times 675^{0.75} = 6140$$

$$\text{VEM2022 behoefte beweiding (VEM2022}_{\text{bew}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{bew}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{bew}} = 6140 \times 0.66 / 7.82 = 518$$

$$\text{VEM2022 behoefte melkproductie (VEM}_{\text{lact}}; \text{ VEM2022/d}) = 390 \times \text{FPCM (kg/d)}$$

$$\rightarrow \text{VEM}_{\text{lact}} = 390 \times 30 = 11700$$

$$\text{ME behoefte dracht (ME}_{\text{preg}}; \text{ kJ/d}) = 455 \times \text{EXP}(0.01634 \times \text{dagen drachtig})$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{preg}} = 455 \times \text{EXP}(0.01634 \times 182) = 8903$$

$$\text{VEM2022 behoefte dracht (VEM}_{\text{preg}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{preg}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM}_{\text{preg}} = 8903 \times 0.66 / 7.82 = 751$$

$$\text{NE-behoefte jeugdgroei (NE}_g; \text{ kJ/d}) = ((500 + 6 \times \text{LG}) \times 4.184 \times \text{GLG}) / (1 - \text{GLG} \times 0.3) \text{ (GLG = groei in kg/d)}$$

$$\rightarrow \text{NE}_g = ((500 + 6 \times 675) \times 4.184 \times 0.098) / (1 - 0.098 \times 0.3) = 1922$$

$$\rightarrow k_m \text{ (conversie efficiëntie van NE}_g \text{ naar ME}_g = 0.0078 \times q + 0.006 = 0.0078 \times 62 + 0.006 = 0.49$$

$$\text{ME-behoefte groei (ME}_g; \text{ kJ/d}) = \text{NE}_g / k_m$$

$$\rightarrow \text{ME}_g = 1922 / 0.49 = 3926$$

$$\text{VEM2022 behoefte groei (VEM2022}_{\text{groei}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_g \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{groei}} = 3926 \times 0.66 / 7.82 = 331$$

$$\text{VEM behoefte totaal (VEM}_{\text{beh}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{VEM2022}_{\text{ond}} + \text{VEM}_{\text{lact}} + \text{VEM}_{\text{groei}} + \text{VEM}_{\text{preg}} + \text{VEM2022}_{\text{bew}}$$

$$\rightarrow \text{VEM}_{\text{beh}} = 6909 + 11700 + 331 + 751 + 518 = 20210$$

³ De factor 1.1 is een factor om de energiebehoefte voor onderhoud van lacterende koeien van 562 kJ per kg LG^{0.75}, vastgesteld voor aangebonden dieren, te corrigeren naar een energiebehoefte voor onderhoud voor loslopende dieren. De 10% extra energiebehoefte voor loslopende dieren houdt dus rekening met de extra energiebehoefte voor beweging van loslopende dieren t.a.v. aangebonden dieren.

Rantsoenvoorbeeld droogstaande koe

In dit voorbeeld wordt een rantsoen berekend voor een 2^e pariteit koe met een gewicht van 675 kg, een jeugdgroei van 0.098 kg per dag, en 260 dagen drachtig (3 weken voor afkalven). Deze koe ontvangt een rantsoen met een VEM2022-gehalte van 775 VEM2022/kg DS en een bijbehorende q-waarde van 54.

$$q = 54$$

$$k_l = 0.405 + 0.00418 \times q$$

$$\rightarrow k_l = 0.405 + 0.00418 \times 54 = 0.631$$

$$\text{ME behoefte onderhoud (ME}_{\text{ond}}; \text{ kJ/d}) = 614 \times \text{LG}^{0.75}$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{ond}} = 614 \times 675^{0.75} = 81310$$

$$\text{VEM2022 behoefte onderhoud (VEM2022}_{\text{ond}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{ond}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{ond}} = 81310 \times 0.631 / 7.82 = 6558$$

$$\text{NE-behoefte jeugdgroei (NE}_g; \text{ kJ/d}) = ((500 + 6 \times \text{LG}) \times 4.184 \times \text{GLG}) / (1 - \text{GLG} \times 0.3) \quad (\text{GLG} = \text{groei in kg/d})$$

$$\rightarrow \text{NE}_g = ((500 + 6 \times 675) \times 4.184 \times 0.098) / (1 - 0.098 \times 0.3) = 1922$$

$$\rightarrow k_m \text{ (conversie efficiëntie van NE}_g \text{ naar ME}_g = 0.0078 \times q + 0.006 = 0.0078 \times 54 + 0.006 = 0.427$$

$$\text{ME-behoefte groei (ME}_g; \text{ kJ/d}) = \text{NE}_g / k_m$$

$$\rightarrow \text{ME}_g = 1922 / 0.427 = 4499$$

$$\text{VEM2022 behoefte groei (VEM2022}_{\text{groei}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_g \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{groei}} = 4499 \times 0.631 / 7.82 = 363$$

$$\text{ME behoefte dracht (ME}_{\text{preg}}; \text{ kJ/d}) = 455 \times \text{EXP}(0.01634 \times \text{dagen drachtig})$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{preg}} = 455 \times \text{EXP}(0.01634 \times 260) = 31847$$

$$\text{VEM2022 behoefte dracht (VEM}_{\text{preg}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{preg}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM}_{\text{preg}} = 31847 \times 0.631 / 7.82 = 2569$$

$$\text{VEM behoefte totaal (VEM}_{\text{beh}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{VEM2022}_{\text{ond}} + \text{VEM2022}_{\text{groei}} + \text{VEM}_{\text{preg}}$$

$$\rightarrow \text{VEM}_{\text{beh}} = 6558 + 363 + 2569 = 9490$$

Rantsoenvoorbeeld kalf

In dit voorbeeld wordt een rantsoen berekend voor een kalf van 3 maanden oud (91 dagen). Dit kalf heeft een gewicht van 92 kg en een groei van 0.800 kg per dag. Verder wordt voor opgroeiend jongvee met een reguliere groeicurve een q-waarde aangehouden van 60 voor kalveren tussen 2 en 4 maanden leeftijd. Dit betekent dat voor een kalf van 3 maanden met een q-waarde van 60 wordt gerekend.

$$q = 60$$

$$k_l = 0.405 + 0.00418 \times q$$

$$\rightarrow k_l = 0.405 + 0.00418 \times 60 = 0.656$$

$$\text{ME behoefte onderhoud (ME}_{\text{ond}}; \text{ kJ/d}) = 1.1 \times 562 \times \text{LG}^{0.75}$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{ond}} = 1.1 \times 562 \times 92^{0.75} = 18364$$

$$\text{VEM2022 behoefte onderhoud (VEM2022}_{\text{ond}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{ond}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{ond}} = 18364 \times 0.656 / 7.82 = 1540$$

$$\text{NE-behoefte groei (NE}_g; \text{ kJ/d}) = 8368 \times \text{GLG (GLG = groei in kg/d)}$$

$$\rightarrow \text{NE}_g = 8368 \times 0.800 = 6694$$

$$\rightarrow k_m (\text{conversie efficiëntie van NE}_g \text{ naar ME}_g = 0.0078 \times q + 0.006 = 0.0078 \times 60 + 0.006 = 0.474$$

$$\text{ME-behoefte groei (ME}_g; \text{ kJ/d}) = \text{NE}_g / k_m$$

$$\rightarrow \text{ME}_g = 6694 / 0.474 = 14123$$

$$\text{VEM2022 behoefte groei (VEM2022}_{\text{groei}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_g \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{groei}} = 14123 \times 0.656 / 7.82 = 1184$$

$$\text{VEM behoefte totaal (VEM}_{\text{beh}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{VEM2022}_{\text{ond}} + \text{VEM}_{\text{groei}}$$

$$\rightarrow \text{VEM}_{\text{beh}} = 1540 + 1184 = 2724$$

Rantsoenvoorbeeld pink

In dit voorbeeld wordt een rantsoen berekend voor een pink van 20 maanden oud (608 dagen) en 158 dagen drachtig die volledig weidt (energietoeslag van 30% boven onderhoud). Deze pink heeft verder een gewicht van 519 kg en een groei van 0.638 kg per dag. Verder wordt voor opgroeiend jongvee met een reguliere groeicurve een q-waarde aangehouden van 55 voor pinken tussen 2 en 4 maanden leeftijd.

$$q = 55$$

$$k_l = 0.405 + 0.00418 \times q$$

$$\rightarrow k_l = 0.405 + 0.00418 \times 55 = 0.635$$

$$\text{ME behoefte onderhoud (ME}_{\text{ond}}; \text{ kJ/d}) = 1.1 \times 562 \times \text{LG}^{0.75}$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{ond}} = 1.1 \times 562 \times 519^{0.75} = 67221$$

$$\text{VEM2022 behoefte onderhoud (VEM2022}_{\text{ond}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{ond}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{ond}} = 67221 \times 0.635 / 7.82 = 5458$$

$$\text{ME behoefte beweiding (ME}_{\text{bew}}; \text{ kJ/d}) = (\text{uur-per-dag-buiten} / 24) \times 0.3 \times 1.1 \times 562 \times \text{LG}^{0.75}$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{bew}} = 24 / 24 \times 0.30 \times 1.1 \times 562 \times 519^{0.75} = 1637$$

$$\text{VEM2022 behoefte beweiding (VEM2022}_{\text{bew}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{bew}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{bew}} = 1637 \times 0.635 / 7.82 = 1637$$

$$\text{ME behoefte dracht (ME}_{\text{preg}}; \text{ kJ/d}) = 455 \times \text{EXP}(0.01634 \times \text{dagen drachtig}) \times 0.9$$

$$\rightarrow \text{ME}_{\text{preg}} = 455 \times \text{EXP}(0.01634 \times 158) \times 0.9 = 5414$$

$$\text{VEM2022 behoefte dracht (VEM}_{\text{preg}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_{\text{preg}} \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM}_{\text{preg}} = 5414 \times 0.635 / 7.82 = 440$$

$$\text{NE-behoefte groei (NE}_g; \text{ kJ/d}) = ((500 + 6 \times \text{LG}) \times 4.184 \times \text{GLG}) / (1 - \text{GLG} \times 0.3) \quad (\text{GLG} = \text{groei in kg/d})$$

$$\rightarrow \text{NE}_g = ((500 + 6 \times 519) \times 4.184 \times 0.638) / (1 - 0.638 \times 0.3) = 11931$$

$$\rightarrow k_m \text{ (conversie efficiëntie van NE}_g \text{ naar ME}_g = 0.0078 \times q + 0.006 = 0.0078 \times 55 + 0.006 = 0.435$$

$$\text{ME-behoefte groei (ME}_g; \text{ kJ/d}) = \text{NE}_g / k_m$$

$$\rightarrow \text{ME}_g = 11931 / 0.435 = 27427$$

$$\text{VEM2022 behoefte groei (VEM2022}_{\text{groei}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{ME}_g \times k_l / 7.82$$

$$\rightarrow \text{VEM2022}_{\text{groei}} = 27427 \times 0.635 / 7.82 = 2227$$

$$\text{VEM behoefte totaal (VEM}_{\text{beh}}; \text{ VEM2022/d}) = \text{VEM2022}_{\text{ond}} + \text{VEM}_{\text{groei}} + \text{VEM}_{\text{preg}} + \text{VEM2022}_{\text{bew}}$$

$$\text{VEM}_{\text{beh}} = 5458 + 2227 + 440 + 1637 = 9761$$

Bijlage E: Afleiding voor VEM2022 behoeftenormen voor melkkoeien in het “Tabellenboek Voeding Herkauwers”

In het CVB “Tabellenboek Voeding Herkauwers” worden verkorte formules weergegeven voor het berekenen van VEM2022-behoeften voor herkauwers. In deze bijlage wordt toegelicht hoe deze verkorte formules tot stand zijn gekomen

Energiebehoefte onderhoud droogstaande koeien

Voor drachtige droogstaande koeien is het uitgangspunt een rantsoen met een q-waarde van 54 en, afgeleid van deze q-waarde, een rantsoen met een k_f gehalte van $0.405 + 0.00418 \times q = 0.631$. De VEM2022-behoefte voor onderhoud wordt dan als volgt berekend:

$$\text{VEM2022 onderhoud} = 614 \text{ (kJ ME per kg LG}^{0.75}) \times 0.631 / 7.82 = 49.5 \text{ VEM2022 per kg LG}^{0.75}$$

Energiebehoefte onderhoud lacterende koeien

Voor lacterende koeien is het uitgangspunt een rantsoen met een q-waarde van 62 en, afgeleid van deze q-waarde, een rantsoen met een k_f gehalte van $0.405 + 0.00418 \times q = 0.66$.

De VEM2022-behoefte voor onderhoud wordt dan als volgt berekend:

$$\text{VEM2022 onderhoud} = 1.1 \times 562 \text{ (kJ ME per kg LG}^{0.75}) \times 0.66 / 7.82 = 52.2 \text{ VEM2022 per kg LG}^{0.75}$$

Energiebehoefte dracht

De VEM2022 toeslagen voor dracht in de maanden 4 – 9 is berekend als volgt. In eerste instantie is voor elke dag van de drachtperiode van 280 dagen de ME-behoefte berekend met de formule:

$$\text{ME-behoefte dracht (kJ/d)} = 455 \times \exp(0.01634 \times \text{dagen drachtig})$$

Tevens is voor elke dag van de drachtperiode de VEM2022-behoefte berekend m.b.v. de formule:

$$\text{VEM2022-behoefte dracht (VEM2022/d)} = \text{ME-behoefte dracht (kJ/d)} \times 0.66 / 7.82 \text{ voor de periode van 1 – 234 dagen drachtig}$$

en

$$\text{VEM2022-behoefte dracht (VEM2022/d)} = \text{ME-behoefte dracht (kJ/d)} \times 0.631 / 7.82 \text{ voor de periode van 235 – 280 dagen drachtig}$$

Het gebruik van de k_f -waarde van 0.66 in de periode 1 – 234 dagen drachtig is de aanname dat dit de drachtperiode is waarin koeien lacterend zijn en een hoog energetisch rantsoen ontvangen met een k_f -waarde van 0.66. Het gebruik van de k_f -waarde van 0.631 in de drachtperiode 235 – 280 dagen (laatste 6 weken van de dracht) is de aanname dat dit de drachtperiode is waarin koeien droog staan en een laag energetisch rantsoen ontvangen met een k_f -waarde van 0.631.

Vervolgens is de drachtperiode van 101 – 280 dagen ingedeeld in 6 blokken van 30 dagen waarbij voor elke periode van 30 dagen de gemiddelde VEM2022-behoefte voor dracht is berekend. De aldus gemiddelde VEM2022-behoeften voor maanden 4 – 9 waren 256, 418, 682, 1114, 1772 en 2840 VEM2022/d voor respectievelijk maanden 4, 5, 6, 7, 8 en 9 van de dracht. Deze waarden zijn

afgerond op 50-tallen naar gemiddelde VEM2022-behoeften voor dracht van 250, 400, 700, 1100, 1750 en 2850 VEM2022/d.

Energiebehoefte jeugdgroei

De energiebehoeftenormen voor jeugdgroei voor pariteiten 1 – 4 zijn berekend met de bestaande CVB formule:

$$\text{NE-groei (kJ/d)} = (((500 + 6 \times \text{LG}) \times 4.184 \times \text{groei}) / (1 - \text{groei} \times 0.3))$$

Voor LG is gerekend met de gemiddelde LG van 615, 675, 705 en 720 kg voor respectievelijk pariteiten 1, 2, 3 en 4. Voor groei (uitgedrukt in kg groei/d) is gerekend met de waarden 0.196, 0.098, 0.037 en 0.037 kg/d voor respectievelijk pariteiten 1, 2, 3 en 4. Zowel de gemiddelde LG- als de groei-waarden zijn gebaseerd op CVB (2022).

Vervolgens is de VEM2022-behoefte voor groei berekend als:

$$\text{VEM2022-groei (VEM2022/d)} = \text{NE-groei (kJ/d)} / k_f \times k_l / 7.82$$

Waarbij:

k_f de efficiëntie is waarmee ME uit voer wordt omgezet in lichaamsweeffels, berekend als: $k_f = 0.0078 \times q + 0.006$.

k_l de efficiëntie is waarmee ME uit voer wordt omgezet in melk, berekend als: $k_l = 0.00418 \times q + 0.405$

Er wordt gerekend met een q-waarde van 62. Dit resulteert in een k_f -waarde van 0.49 en een k_l -waarde van 0.66. Toepassen van bovenstaande formules en efficiënties resulteert in VEM2022-behoeften voor jeugdgroei van 630, 331, 127 en 129 VEM2022 per dag voor respectievelijk pariteiten 1, 2, 3, en 4. Deze waarden zijn afgerond naar gemiddelde VEM2022-behoeften voor dracht van 630 VEM2022 per dag voor pariteit 1, 330 VEM2022 per dag voor pariteit 2, en 125 VEM2022 per dag voor zowel pariteit 3 en 4.

Energiebehoefte jongvee

De berekening van de energiebehoeften voor jongvee voor onderhoud, groei en dracht is uitgebreid beschreven in CVB (2025).