

# Eiwitwaardering voor herkauwers: HET DVE/OEB 2007 SYSTEEM

S. Tamminga<sup>1)</sup>, G.G. Brandsma<sup>2)</sup>, J. Dijkstra<sup>1)</sup>,  
G. van Duinkerken<sup>3)</sup>, A.M. van Vuuren<sup>3)</sup> en M.C. Blok<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Group Animal Nutrition, Wageningen Universiteit, Wageningen

<sup>2)</sup>CVB, Productschap Diervoeder, Den Haag

<sup>3)</sup>Animal Sciences Group, Wageningen UR, Lelystad

CVB-Documentatierapport nr. 52  
Maart 2007

CVB  
Productschap Diervoeder  
Postbus 29739  
2502 LS Den Haag  
Telefoon 070 – 3708 503  
Telefax 070 – 3708 290  
E-mail cvb@pdv.nl  
Internet www.pdv.nl



## Voorwoord

In 1990 is in het kader van CVB door het Productschap Diervoeder (PDV) een voorlopig DVE systeem geïntroduceerd, ter vervanging voor het tot op dat moment gebruikte VRE systeem. Dit nieuwe eiwitwaarderingssysteem werd in 1991 definitief ingevoerd.

Er hebben zich sinds 1991 de nodige wetenschappelijke ontwikkelingen voorgedaan. De kennis over pensfysiologische processen, maar ook over het gedrag van voedermiddelen in de pens (o.a. bij incubatie in nylon zakjes) is sindsdien aanzienlijk toegenomen.

Daarnaast hebben verschillende organisaties (waaronder premix- en mengvoerbedrijven) met het DVE systeem van 1991 als uitgangspunt bedrijfseigen systemen ontwikkeld.

Daarbij lag ca. 10 jaar geleden een sterk accent op het synchroniseren van het energie- en N-aanbod op pensniveau.

In het DVE systeem van 1991 werd de hoeveelheid in de pens fermenteerbare organische stof (FOS) berekend uitgaande van de hoeveelheid fecaal verteerbare organische stof. In verschillende bedrijfseigen systemen is dit vervangen door de berekening van de hoeveelheid pensfermenteerbare organische stof te baseren op de werkelijk in pens afbreekbare fracties. Ook werd, in plaats van een vaste efficiëntiefactor voor de omzetting van FOS in microbieel (ruw) eiwit, de efficiëntie afhankelijk gesteld van het substraat dat werd afgebroken.

Naast deze ontwikkelingen op nationaal niveau zijn er ook internationaal nieuwe systemen voor melkvee ontwikkeld (o.a. CNCPS, USA en Feed into Milk, UK).

Een duidelijke impuls om te komen tot een vernieuwd eiwitwaarderingssysteem voor melkvee werd gegeven toen de Animal Sciences Group te Lelystad startte met het (door het Ministerie van LNV en Productchap Zuivel gefinancierde en) onderzoeksproject 'Penssynchronisatie'.

Uiteindelijk is het vernieuwde eiwitwaarderingssysteem, het DVE/OEB-2007 systeem, in het kader van CVB tot stand gekomen. PDV vond Prof. Dr. Ir. S. Tamminga (tot medio 2005 als hoogleraar verbonden aan de leerstoelgroep Diervoeding van Wageningen Universiteit) bereid de 'kar te willen trekken.' Samen met een projectgroep is intensief gewerkt aan de formulering van het DVE/OEB-2007 systeem.

Het systeem is besproken met en goedgekeurd door een sectorbrede Klankbordgroep 'Verbetering Eiwitwaarderingssysteem Herkauwers'. Daarnaast is het conceptstelsel besproken met deskundigen van een aantal mengvoerbedrijven.

Wat betreft de waardering van de individuele voedermiddelen: deze vindt u niet in deze, maar in andere CVB publicaties.

Het nieuwe DVE/OEB-2007 systeem is op 2 maart 2007 tijdens een Voorlichtings-bijeenkomst geïntroduceerd. Het is de bedoeling dat het, mogelijk met een enkele aanpassing, per oktober 2007 definitief van kracht wordt.

Namens Productschap Diervoeder zeg ik allen die, in elke vorm dan ook, hebben meegewerkt aan de totstandkoming van dit nieuwe systeem, hartelijk dank voor hun bijdrage.

Lelystad, Maart 2007,  
Dr. M.C.Blok  
Productschap Diervoeder

## Leden van de projectgroep

Dr. M.C. Blok	CVB, Productschap Diervoeder, Lelystad/Den Haag Voorzitter
Ir. G.G. Brandsma	CVB, Productschap Diervoeder, Lelystad/Den Haag
Dr. Ir. J. Dijkstra	Leerstoelgroep Diervoeding, Wageningen Universiteit, Wageningen
Ir. G. van Duinkerken	Animal Sciences Group, Lelystad
Prof. Dr. Ir. S. Tamminga	Leerstoelgroep Diervoeding, Wageningen Universiteit, Wageningen (Projectleider)
Dr. A.M. van Vuuren	Animal Sciences Group, Lelystad

## Leden van de Klankbordgroep

Dr. M.C. Blok	CVB, Productschap Diervoeder, Lelystad/Den Haag Voorzitter
Drs. A. Bannink	Animal Sciences Group, Lelystad
Ir. G.G. Brandsma	CVB, Productschap Diervoeder, Lelystad/Den Haag
Mevr. Dr. Ir. M. Bruinenberg	Bggg, Oosterbeek
Dr. Ir. J. Dijkstra	Leerstoelgroep Diervoeding, Wageningen Universiteit, Wageningen
Ir. G. van Duinkerken	Animal Sciences Group, Lelystad
Ing. M. van den Ende	Namens Overleggroep Producenten Natte Veevoerders (OPNV)
Dr. Ir. J. Goelema	Namens de Nederlandse Vereniging Diervoederindustrie (NEVEDI)
Ing. M. Hoogenboom	Namens de Nederlandse vereniging van handelaren in stro, fourages en aanverwante producten (HISFA)
J. de Kleijne	Namens LTO Nederland
Dr. Ing. J. Th. Schonewille	Afdeling Voeding, Faculteit Diergeneeskunde, Universiteit Utrecht, Utrecht
Prof. Dr. Ir. S. Tamminga	Leerstoelgroep Diervoeding, Wageningen Universiteit, Wageningen
Dr. A.M. van Vuuren	Animal Sciences Group, Lelystad

# Inhoud

	<u>Pag.</u>
Voorwoord .....	1
Leden van de projectgroep .....	2
Leden van de Klankbordgroep .....	2
Lijst van afkortingen.....	5
1 Inleiding .....	7
2 Afbraak van voercomponenten in de pens .....	9
2.1 Voercomponenten en fracties.....	9
2.2 Effectieve afbraak van voercomponenten in de pens.....	10
2.3 Fractionele afbraaksnelheden .....	10
2.3.1 <i>De afbraak van de S-fractie</i> .....	10
2.3.2 <i>De afbraak van de W-fractie van zetmeel</i> .....	11
2.3.3 <i>De afbraak van residuele niet-zetmeel polysacchariden (RNSP)</i> .....	13
2.4 Fractionele passagesnelheden.....	14
2.4.1 <i>Fractionele passagesnelheden van ruw eiwit en zetmeel</i> .....	14
2.4.2 <i>Fractionele passage van NDF</i> .....	14
2.4.3 <i>Fractionele passage van RNSP</i> .....	18
2.4.4 <i>Fractionele passage van de U-fractie</i> .....	18
2.5 Overige aspecten.....	18
2.5.1 <i>Het gedrag van vetten en langketenige vetzuren in nylon zakjes incubaties</i> 18	
2.5.2 <i>De eiwitwaarde van NPN in gefermenteerde voeders</i> .....	19
2.5.3 <i>Suikers en Glucose Oligosacchariden (GOS)</i> .....	19
2.6 Vergelijking van afbraak en passage tussen eiwitwaarderings-systemen .....	20
2.6.1 <i>Vergelijking van DVE/OEB1991 en DVE/OEB2007</i> .....	20
2.6.2 <i>Vergelijking met andere systemen</i> .....	22
3 Beschrijving van de eiwitwaarde van voeders.....	25
3.1 Inleiding .....	25
3.2 DVE afkomstig van darmverteerbaar bestendig voereiwit (DVBE).....	26
3.2.1 <i>Bestendig voereiwit (BRE)</i> .....	26
3.2.2 <i>Darmvertering van bestendig voereiwit (DVBE)</i> .....	26
3.3 DVE afkomstig van microbiële groei en eiwitsynthese ( DVME).....	26
3.3.1 <i>Inleiding</i> .....	26
3.3.2 <i>Fermenteerbare organische stof in de pens (FOSp)</i> .....	27
3.3.3 <i>Efficiëntie van microbiële groei en eiwitsynthese</i> .....	28
3.3.4 <i>Fermentatieproducten in ingekulde voeders</i> .....	31
3.3.5 <i>Aminozuren in microbiel eiwit in de pens</i> .....	33
3.4 DVE-verliezen in endogeen fecaal eiwit (DVMFE) .....	33
3.5 Vergelijking van DVE/OEB1991 en DVE/OEB2007 .....	33
4 De onbestendig eiwitbalans en synchronisatie van pensfermentatie .....	35
4.1 Onbestendig eiwitbalans .....	35
4.2 Synchronisatie van pensfermentatie.....	35
5 Waardering van voedermiddelen in het DVE/OEB-2007 systeem.....	39
6 Eiwitbehoefte van melkkoeien.....	41
6.1 Onderhoud .....	41
6.2 Melkproductie.....	41
6.3 Mobilisatie en aanzet van lichaamseiwit .....	42
6.4 Dracht .....	43

7	Aminosuren (DVAZ ) vs. eiwit (DVE) .....	45
7.1	Pensafbraak van aminozuren in niet-afgebroken voereiwit.....	45
7.2	Darmvertering van bestendige aminozuren .....	45
7.3	Lys en Met in microbieel ( DVME) en endogeen eiwit (DVMFE) .....	45
7.4	Aminosurenbehoeften.....	46
8	Literatuur .....	49
<i>Bijlage 1.</i>	<i>Dataset afgeleid van Offner et al (2003) en Offner en Sauvant (2004) ....</i>	<i>53</i>
<i>Bijlage 2.</i>	<i>In vitro zetmeelafbraak (Cone en Van Gelder, 2005).....</i>	<i>54</i>
<i>Bijlage 3.</i>	<i>Regressie van de afbraaksnelheid van de W-fractie (berekening 1 t/m 3) op de gefitte zetmeelafbraak in vivo. ....</i>	<i>55</i>
<i>Bijlage 4.</i>	<i>Het effect van pelletteren op zetmeelfracties en pensafbraak .....</i>	<i>56</i>
<i>Bijlage 5.</i>	<i>Verdwijning uit de pens t.g.v. passage, gebaseerd op lignine of IADF.....</i>	<i>57</i>
<i>Bijlage 6.</i>	<i>Aandeel van DNDF dat daadwerkelijk verteerd wordt. ....</i>	<i>59</i>
<i>Bijlage 7.</i>	<i>Berekende en gemeten NDF-verteerbaarheden.....</i>	<i>61</i>
<i>Bijlage 8.</i>	<i>Geselecteerde voeringrediënten voor de berekening van pensafbraakkarakteristieken van RNSP. ....</i>	<i>62</i>

## Lijst van afkortingen

Afkorting	Eenheid	Verklaring
ADIN	kg	Acid detergent insoluble nitrogen
ADP		Adenosinedifosfaat
ALC		Alcoholen
ATP		Adenosinetrifosfaat
AZ		Aminozuren
AZZ		Azijnzuur
BZ		Boterzuur
%BRE		Percentage bestendig eiwit
%BZET		Percentage bestendig zetmeel
CNCPS		Cornell Net Carbohydrate and Protein System (USA)
COMP		Voercomponent
D		Niet-uitwasbare, maar potentieel afbreekbare fractie in nylon zakjes incubaties
DADF		Potentieel pensafbreekbare ADF fractie
DAPA		di-amino pimeline zuur (merkstof voor bacterie-eiwit)
DNDF		Potentieel pensafbreekbare NDF fractie
DS		Droge stof
DSI	kg	Droge stof opname
DVAZ		Darmverteerbare aminozuren
DVBE		Darmverteerbaar bestendig (voer)eiwit
DVBLYS		Darmverteerbaar lysine in bestendig voereiwit
DVBMET		Darmverteerbaar methionine in bestendig voereiwit
DVE	g/kg	Darmverteerbaar eiwit
DVLYS		Darmverteerbaar lysine
DVME		Darmverteerbaar microbieel eiwit
DVMFE		Darmverteerbaar metabool fecaal eiwit (= endogeen eiwit)
DVMET		Darmverteerbaar metionine
DVMFLYS		Darmverteerbaar lysine in metabool fecal eiwit
DVMFMET		Darmverteerbaar methionine in metabool fecal eiwit
DVMLYS		Darmverteerbaar lysine in microbieel eiwit
DVMMET		Darmverteerbaar methionine in microbieel eiwit
ED		Effectieve afbraak
ED(W)		Daadwerkelijk afgebroken W-fractie
EMES		Efficiëntie microbieel eiwit synthese
FDS		Fermenteerbare droge stof
FiM		Feed into Milk (Verenigd Koninkrijk)
FCOMP		Hoeveelheid van een component die daadwerkelijk wordt afgebroken in de pens
FOSp		Fermenteerbare organische stof in de pens
FP		Fermentatieproducten
GOS	g/kg	Glucose-oligosacchariden
HIS		Histidine
Kd		Fractionele afbraaksnelheid (constant)
kg		Kilogram
Kp		Fractionele passagesnelheid (constant)
Kpl		Fractionele passagesnelheid van vloeistof
Kpf		Fractionele passagesnelheid van ruwvoerders

Afkorting	Eenheid	Verklaring
Kpc		Fractionele passagesnelheid van krachtvoerders
LAB		Bacteriën geassocieerd met de vloeistoffase
LG	kg	Lichaamsgewicht
LG <sup>0.75</sup>	kg	Metabolisch lichaamsgewicht
LYS		Lysine
MEP		Melkeiwitproductie
MET		Methionine
MRE		Microbieel ruw eiwit
MREE		Microbieel RE dat wordt gevormd uit in de pens beschikbare energie
MREN		Microbieel RE dat wordt gevormd uit in de pens beschikbaar N
MZ		Melkzuur
NAZN		Niet aminozuur stikstof
NDF	g/kg	Neutral detergent fibre
NDIN		Neutral Detergent Insoluble Nitrogen
NEL		Netto Energie Lactatie
NH <sub>3</sub>		Ammoniak
NPN		Niet-eiwit stikstof
NSK	g/kg	Niet-structurele koolhydraten
NSP	g/kg	Niet-zetmeel polysacchariden
NW		Niet-uitwasbaar
OEB	g/kg	Onbestendig Eiwit Balans
ORE		Pensafbreekbaar of onbestendig ruw eiwit
OS		Organische stof
PAB		Bacteriën geassocieerd met de deeltjesfase
PKH		Pensafbreekbare koolhydraten
PUFA		Meervoudig onverzadigde vetzuren
PZ		Propionzuur
R <sub>t</sub>		Residu op tijdstip t
R <sub>0</sub>		Residu op tijdstip nul
RAS	g/kg	Ruw as
RC	g/kg	Ruwe celstof
RE	g/kg	Ruw eiwit
RNSP	g/kg	Residuele niet-zetmeel polysacchariden
RVET	g/kg	Ruw vet
S		Oplosbare fractie in nylon zakjes incubaties
SKH		Oplosbare koolhydraten
SR		Synchroniteitsratio
SUI	g/kg	Suikers
T		Tijd
U		Niet-afbreekbare fractie
UADF		Niet voor pensafbraak beschikbare ADF fractie
UNDF		Niet voor pensafbraak beschikbare NDF fractie
VCNDF	%	Schijnbare fecale verteerbaarheid van de NDF fractie
VCRNSP	%	Schijnbare fecale verteerbaarheid van de RNSP fractie
VOS		Verteerbare organische stof
VRAS		Verteerbaar ruw as
VVZ		Vluchtige vetzuren
VZ		Vetzuren
W		Uitwasbare fractie in nylon zakjes incubaties
Y <sub>ATP</sub>		Opbrengst aan microbiële droge stof (in g per mol ATP)
ZET	g/kg	Zetmeel



# 1 Inleiding

In 1991 werd het DVE/OEB-systeem (DVE/OEB1991) voor eiwitwaardering bij melkkoeien in Nederland geïntroduceerd (CVB, 1991). Enkele jaren later werd het systeem voor de internationale gemeenschap gepubliceerd (Tamminga et al., 1994). Dit systeem is met succes gebruikt door adviseurs en in de diervoederindustrie. Intussen zijn de ontwikkelingen doorgegaan. In de Nederlandse diervoederindustrie heeft dit geleid tot de verdere ontwikkeling van de concepten waarop het DVE/OEB1991-systeem is gebaseerd. Bovendien worden bij de voederwaardering steeds vaker mechanistische modellen toegepast die rekening houden met de dynamiek en mechanismen van biochemische en fysiologische processen in de voerbenuiting, met name processen in de pens (Dijkstra, 1993). In het afgelopen decennium hebben deze nieuwe inzichten geleid tot plannen voor de ontwikkeling van dynamische, mechanistische voederwaarderingssystemen (Tamminga et al., 1999; Gerrits et al., 2000). Deze systemen kunnen t.z.t. niet alleen het DVE/OEB1991-systeem vervangen, maar ook het netto energie (VEM) systeem dat in Nederland sinds 1977 wordt gebruikt om de energiebenutting van melkkoeien te beschrijven (Van Es, 1978). Vanwege de complexiteit van het onderwerp is de vooruitgang op dit gebied trager geweest dan verwacht. Daarom is besloten om een update van het DVE/OEB1991-systeem te formuleren. In deze update (DVE/OEB2007) wordt ook rekening gehouden met internationale ontwikkelingen op het gebied van voederwaardering (zoals het Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) in de Verenigde Staten (Fox et al., 2004) en het Feed into Milk (FiM) systeem in het Verenigd Koninkrijk (Offer et al., 2002; Thomas, 2004)).

In dit rapport wordt het nieuwe Nederlandse eiwitwaarderingssysteem voor melkkoeien (DVE/OEB2007) geschetst. Het rapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 beschrijft de afbraak in de pens van voercomponenten die relevant zijn voor de berekening van de eiwitwaarde van een voedermiddel;
- Hoofdstuk 3 behandelt de verschillende fracties waaruit de eiwitwaarde van een voedermiddel is opgebouwd;
- Hoofdstuk 4 beschrijft de onbestendig eiwitbalans (OEB) en behandelt de principes van synchronisatie van de N- en energievoorziening in de pens;
- Hoofdstuk 5 geeft een korte beschrijving van de waardering van voedermiddelen in het DVE/OEB2007 systeem.
- Hoofdstuk 6 beschrijft de eiwitbehoeften van melkkoeien;
- Hoofdstuk 7 beschrijft de darmbeschikbaarheid van aminozuren uit DVE en geeft een eerste beschouwing met betrekking tot de aminozurenbehoeften van melkkoeien;
- Hoofdstuk 8 is de literatuurlijst.

In de Bijlagen wordt meer gedetailleerde informatie gegeven over de berekeningen die in het kader van de ontwikkeling van het nieuwe systeem zijn uitgevoerd.



## 2 Afbraak van voercomponenten in de pens

### 2.1 Voercomponenten en fracties

De organische stof (OS) in herkauwervoeders kan worden opgesplitst in de volgende componenten: ruw eiwit (RE) (altijd inclusief NH<sub>3</sub>), zetmeel (ZET), suikers (SUI), glucose-oligosachariden (GOS), ruw vet (RVET), celwanden of neutral detergent fibre (NDF), de fermentatieproducten (FP) melkzuur (MZ) en vluchtige vetzuren (VVZ) en residuele niet-zetmeel polysachariden (RNSP).

RNSP is een berekende fractie, en wordt als volgt gedefinieerd:

$$\text{RNSP} = \text{OS} - (\text{RE} + \text{ZET} + \text{SUI} + \text{GOS} + \text{RVET} + \text{NDF} + 0,92 \cdot \text{MZ} + 0,5 \cdot \text{VVZ}),$$

Waarin:

- GOS = glucose-oligosachariden, fragmenten van onvolledige zetmeelafbraak die aanwezig kunnen zijn in sommige vochtrijke bijproducten;
- MZ = melkzuur;
- VVZ = som vluchtige vetzuren (azijnzuur (AZZ), propionzuur (PZ) en boterzuur (BZ))<sup>1</sup>

MZ en VVZ zijn de belangrijkste componenten van FP in geconserveerde voedermiddelen. Beide worden geanalyseerd vóór drogen, maar de relatieve hoeveelheid die verdwijnt in het droogproces varieert afhankelijk van de component en de droogcondities. Uit een studie van Porter en Murray (2001) bleek, dat alcoholen (ALC) en ammoniak (NH<sub>3</sub>) vrijwel volledig verdampen; van de VVZ verdampt 55-90% en van MZ 10-40%. Deze cijfers komen overeen met de pragmatische benadering van het CVB, waarin wordt aangenomen dat bij drogen 8% van het MZ, 50% van de VVZ en 100% van de ALC vervluchtigt.

In een aantal gevallen ontbreken gegevens over individuele FP, maar is wel een schatting beschikbaar van de totale FP in het (gedroogde) voedermiddel (b.v. tabelwaarden in de CVB Veevoedertabel). Voor kuilvoeders kunnen de vergelijkingen uit DVE/OEB1991 (zie paragraaf 3.3.4, Tabel 9) worden gebruikt om FP te schatten. In dergelijke situaties wordt het deel '0,92\*MZ + 0,5\*VVZ' in bovenstaande formule vervangen door 'FP'. Als er geen informatie beschikbaar is over het gehalte aan FP, wordt aangenomen dat het voedermiddel geen FP bevat.

Opgemerkt moet worden, dat de aard van de component RNSP niet goed gedefinieerd is; RNSP wordt geacht voornamelijk te bestaan uit niet-zetmeel polysachariden (NSP) zoals pectinen, arabanen, xylanen en beta-glucanen. In sommige voedermiddelen kunnen ook organische zuren (b.v. oxaalzuur in suikerbieten) bijdragen aan de RNSP fractie.

In het algemeen wordt het afbraakgedrag van voercomponenten geschat met behulp van de *in situ* techniek (ook wel *in sacco* techniek genoemd), waarbij voeders gedurende verschillende periodes geïncubeerd worden in nylon of dacron zakjes in de pens. Deze benadering gaat ervan uit dat elke component verdeeld kan worden in vier fracties: een oplosbare fractie (S), een uitwasbare fractie (W), een niet-uitwasbare maar potentieel pens-afbreekbare fractie (D) en een niet-uitwasbare en ook niet pens-afbreekbare fractie (U). Deze vier fracties worden uitgedrukt in g/g DS. De grootte van de U-fractie wordt bepaald als het residu dat achterblijft in het nylon zakje na langdurige pensincubatie (336 uur). De grootte van de W-fractie wordt bepaald als de fractie die in een wasmachine verdwijnt uit een nylon zakje met poriën van 35-45 micron. De oplosbare fractie (S) wordt geacht deel uit te maken van de W-fractie,

---

<sup>1</sup> De andere vluchtige vetzuren, bij voorbeeld vertaktketenige vetzuren, zijn in dermate geringe hoeveelheden aanwezig dat ze verwaarloosd mogen worden.

maar wordt afzonderlijk bepaald door middel van centrifugeren (CVB, 2004). De (W-S)-fractie is de uitwasbare fractie (W) minus de oplosbare fractie (S), en bestaat uit deeltjes die kleiner zijn dan de poriën van het nylon zakje. De grootte van de D-fractie wordt berekend als  $1,00 - W - U$ . De procedures staan beschreven in het protocol voor *in situ* incubaties (CVB, 2004).

Aangenomen wordt dat de afbraak en de passage van de D-, (W-S)- en S-fracties verlopen volgens een eerste orde kinetiek, die kan worden weergegeven met de formule:

$$R_t = R_0 \cdot e^{-kt} \quad \text{[vgl. 1]}$$

Waarin

$R_t$  = residu op tijdstip  $t$  (g/g)

$R_0$  = residu op tijdstip nul (g/g)

$k$  = fractionele snelheidsconstante van afbraak ( $k_d$ ) of passage ( $k_p$ ) ( $h^{-1}$ )

$t$  = tijd (h)

## 2.2 Effectieve afbraak van voercomponenten in de pens

De hoeveelheid van een voercomponent (COMP) dat daadwerkelijk (effectief) wordt afgebroken in de pens wordt berekend uit de combinatie van fractionele afbraak- en passagesnelheden, waarbij de verschillende fracties worden opgeteld:

$$FCOMP = COMP \cdot \left\{ S \cdot \frac{k_{dS}}{k_{dS} + k_{pS}} + (W-S) \cdot \frac{k_{d(W-S)}}{k_{d(W-S)} + k_{p(W-S)}} + D \cdot \frac{k_{dD}}{k_{dD} + k_{pD}} \right\} \text{ [vgl. 2]}$$

Waarin:

$FCOMP$  = Hoeveelheid component ( $g \cdot kg^{-1}$  DS) die daadwerkelijk wordt afgebroken in de pens

$COMP$  = Gehalte ( $g \cdot kg^{-1}$  DS) van de betreffende component in voermiddel

$S$  = De wateroplosbare fractie ( $g \cdot g^{-1}$ ) na filtreren of centrifugeren

$k_{dS}$  = De fractionele afbraaksnelheid ( $h^{-1}$ ) van de S-fractie

$k_{pS}$  = De fractionele passagesnelheid uit de pens ( $h^{-1}$ ) van de S-fractie

$W$  = De uitwasbare fractie ( $g \cdot g^{-1}$ )

$(W-S)$  = De uitwasbare fractie (W) minus de oplosbare fractie (S) ( $g \cdot g^{-1}$ )

$k_{d(W-S)}$  = De fractionele afbraaksnelheid ( $h^{-1}$ ) van de (W-S)-fractie

$k_{p(W-S)}$  = De fractionele passagesnelheid uit de pens ( $h^{-1}$ ) van de (W-S)-fractie

$D$  = De niet-uitwasbare, maar potentieel afbreekbare fractie ( $g \cdot g^{-1}$ )

$k_{dD}$  = De fractionele afbraaksnelheid ( $h^{-1}$ ) van de D-fractie

$k_{pD}$  = De fractionele passagesnelheid uit de pens ( $h^{-1}$ ) van de D-fractie

## 2.3 Fractionele afbraaksnelheden

De fractionele afbraaksnelheden van de D-fractie ( $k_{dD}$ ) van de verschillende componenten worden bepaald met behulp van nylon zakjes incubaties in de pens, volgens de procedure van Ørskov en McDonald (1979) zoals aangepast door CVB (2004). Verder wordt aangenomen dat de S-fractie altijd wordt afgebroken met een fractionele snelheid ( $k_{dS}$ ) van  $2,0 h^{-1}$ , en dat de (W-S)-fractie wordt afgebroken met dezelfde fractionele snelheid als de D-fractie ( $k_{d(W-S)} = k_{dD}$ ). Dit geldt echter niet voor zetmeel, zoals wordt besproken in paragraaf 2.3.2.

### 2.3.1 De afbraak van de S-fractie

De afbraaksnelheid van  $2,0 h^{-1}$  voor S is gebaseerd op de aanname dat 5% van de S-fractie van eiwit en oplosbare koolhydraten ontsnapt aan afbraak in de pens, wat leidt tot een

$k_{pS}/(k_{pS}+k_{dS})$  ratio van 0,05. Bij een fractionele passagesnelheid van pensvloeistof ( $k_{pS}$ ) van  $0,11 \text{ h}^{-1}$  (zie paragraaf 2.4), resulteert dit in een gemiddelde fractionele afbraaksnelheid van  $2,0 \text{ h}^{-1}$ , afgeleid van  $0,05=0,11/(0,11+k_{dS})$ . Dit komt overeen met waarden uit de literatuur. In de CNCPS wordt aangenomen, dat de fractionele afbraaksnelheden voor oplosbaar werkelijk eiwit en oplosbare koolhydraten in krachtvoeringrediënten variëren tussen  $1,0$  en  $4,0 \text{ h}^{-1}$  (Sniffen et al., 1992). Voor oplosbare N-fracties in ruwvoerders vonden Volden et al. (2002) dat ook ongeveer 5% ontsnapt.

Voor de afbraak(snelheid) van de W-fractie van zetmeel is een andere benadering nodig (zie de volgende paragraaf).

## 2.3.2 De afbraak van de W-fractie van zetmeel

### 2.3.2.1 Vergelijking van *in vivo* en *in situ* data m.b.t. de afbraak van zetmeel in de pens

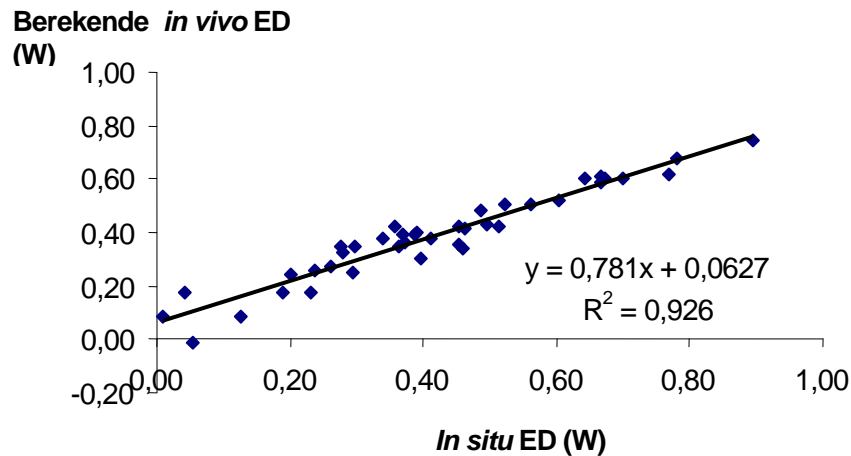
Zetmeel is niet of nauwelijks in water oplosbaar (Azarfar, 2007). Dit betekent dat de S-fractie (vrijwel) nihil is. Daarom wordt zetmeel dat uit nylon zakjes wordt uitgewassen in de *in situ* procedure geacht volledig te bestaan uit kleine deeltjes ( $< 35\text{-}45$  micron), oftewel de (W-S)-fractie is gelijk aan de W-fractie. Recent publiceerden Offner et al. (2003) een dataset bestaande uit 302 observaties uit 48 experimenten met betrekking tot *in situ* zetmeelafbraak in de pens (Bijlage 1). Naast verschillen tussen voedermiddelen identificeerden zij ook het laboratorium, de gemiddelde deeltjesgrootte en verschillende bewerkingsprocedures als belangrijke factoren die van invloed zijn op de *in situ* afbreekbaarheid van zetmeel. Vermindering van de gemiddelde deeltjesgrootte verhoogde de effectieve afbraak (ED in  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) met bijna  $0,16$  per mm gemiddelde deeltjesgroottevermindering, waarschijnlijk ten gevolge van een verschuiving tussen de D- en de W-fractie. Hieruit blijkt, dat het afbraakgedrag van de W-fractie van groot belang is, zoals ook al werd aangegeven door Nocek en Tamminga (1991). Deze onderzoekers vergeleken de zetmeelafbraak *in vivo* en *in situ* en concludeerden dat 10% van het zetmeel in de W-fractie ontsnapt aan afbraak in de pens; de auteurs geven hiervoor overigens geen verklaring. In een recentere publicatie, gebaseerd op een veel grotere dataset, leidden Offner en Sauvant (2004) regressievergelijkingen af om de *in vivo* zetmeelafbraak te voorspellen uit *in situ* resultaten, zonder de voorgestelde bestendigheidscorrectie van 10% voor de W-fractie. In alle formules geeft *in situ* een onderschatting van *in vivo* bij lage *in situ* ED-waarden en een overschatting van *in vivo* bij hoge *in situ* ED-waarden.

Uit de dataset van Offner et al. (2003) hebben wij die voedermiddelen verwijderd waarvan algemeen wordt aangenomen dat ze geen zetmeel bevatten (sojaproducten, bietenpulp, zonnebloemzaadschroot, luzerne) én die voedermiddelen waarvan geen W-fractie was gespecificeerd. Voor de overblijvende 40 voedermiddelen werd de *in vivo* zetmeelafbraak in de pens geschat met behulp van de regressieformule ( $\textit{in vivo}$  ED =  $0,263 + 0,63 \textit{in situ}$  ED) van Offner en Sauvant (2004). Deze formule is gebaseerd op 84 experimenten en 179 observaties, waarbij zowel *in vivo* als *in situ* metingen waren verricht. Om de zetmeelafbraak in de pens te berekenen werd een fractionele uitstroomsnelheid van  $0,06 \text{ h}^{-1}$  gebruikt. Onze aldus geschatte *in vivo* ED werd vervolgens opgesplitst in een W- en een D- (=  $1\text{-}W$ ) fractie. Vervolgens werd de *in vivo* ED van de D-fractie berekend, uitgaande van een fractionele uitstroomsnelheid ( $k_{pD}$ ) van  $0,06 \text{ h}^{-1}$  en de *in situ* vastgestelde fractionele afbraaksnelheid van D ( $k_{dD}$ ). De ED van de W-fractie (ED(W)) kon nu berekend worden als het verschil tussen de *in vivo* ED en de ED van de D-fractie. De *in vivo* ED van W werd vervolgens met behulp van regressie gerelateerd aan de *in situ* ED van W. De resultaten worden getoond in figuur 1. Dit resulteerde in de formule:

$$\textit{in vivo}$$
 ED(W) =  $0,781 \cdot \textit{in situ}$  ED (W) +  $0,0627$  ( $R^2 = 0,926$ )

In het DVE/OEB2007-systeem wordt aangenomen dat de fractionele uitstroomsnelheid van de W-fractie  $0,08 \text{ h}^{-1}$  is, en dat de ED van W *in vivo* voortvloeit uit  $k_d/(k_d+k_p) \cdot W$  *in situ*. De gemiddelde fractionele afbraaksnelheid van de W-fractie ( $k_{dW}$ ) van zetmeel *in vivo* kan dus

worden berekend uit  $0,781 = kd_W / (0,08 + kd_W)$ . Dit resulteert in een gemiddelde  $kd_W$  waarde *in vivo* van  $0,285 \text{ h}^{-1}$ . Als de regressielijn door de oorsprong wordt gedwongen vergroot dit de helling van de lijn tot 0,902, waarbij de berekende  $kd_W$  toeneemt tot 0,736.



Figuur 1. Relatie tussen berekende *in vivo* W en *in situ* W

### 2.3.2.2 In vitro afbraak van zetmeel

Uit een directe meting van zetmeelverdwijning *in vitro* (Cone en Van Gelder, 2005) met geïsoleerde W- en D-fracties van een beperkt aantal (4) voedermiddelen (Bijlage 2) blijkt dat de  $kd_W$  1,7 tot 2,6 keer zo hoog is als de  $kd_D$ .

### 2.3.2.3 Afbraak van de W-fractie van zetmeel in het DVE/OEB2007-systeem

Uit al deze waarnemingen komt naar voren dat de  $kd_W$  van zetmeel aanzienlijk hoger is dan de  $kd_D$ . Ook is het aannemelijk dat  $kd_W$  afhankelijk is van  $kd_D$ , maar de gegevens zijn niet eenduidig met betrekking tot het type relatie tussen beide parameters.

Twee extreme situaties zijn mogelijk: de  $kd_W$  is een veelvoud van  $kd_D$  of het verschil tussen de  $kd_W$  en de  $kd_D$  is een constante waarde. Zowel de beide extreme opties als mengvormen zijn gesimuleerd voor een ruime range van waarden. De uitslagen zijn vergeleken met de data van Offner en Sauvant (2004). De  $kd_W$  werd als volgt gevarieerd: In de eerste exercitie werd de  $kd_W$  gesteld op 0,25, 0,50, 0,75 en  $1,0 \text{ h}^{-1}$ ; in de tweede exercitie werd  $kd_W$  gesteld op 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 en 5,0 keer de waarde van  $kd_D$ ; in de derde exercitie werd  $kd_W$  gesteld op  $kd_D + 0,25$ ,  $kd_D + 0,50$ ,  $1,5 \times kd_D + 0,25$ ,  $2 \times kd_D + 0,25$ ,  $2 \times kd_D + 0,375$  en  $2 \times kd_D + 0,50$ . In de laatste set simulaties werd de fit van de formule  $kd_W = 2 \times kd_D + 0,375$  op de data van Offner en Sauvant (2004) als bevredigend beschouwd ( $R^2=0,95$ ). Deze formule is dan ook gekozen (Bijlage 3). Dit leverde voor de dataset zoals gebruikt in Figuur 1 een gemiddelde ontsnapping uit de pens op van 11,5 % (s.d 2,94), dicht bij de eerder voorgestelde waarde voor de bestendigheid van de W-fractie van 10% (Nocek en Tamminga, 1991). Dus:

Voor zetmeel:  $kd_W = 2 \times kd_D + 0,375$  [vgl. 3]

Voor voeders waarin zetmeel geen rol speelt als opslagkoolhydraat en waarbij het zetmeelgehalte lager is dan  $50 \text{ g kg}^{-1}$  DS wordt aangenomen, dat al het zetmeel snel wordt afgebroken met een fractionele snelheid van  $0,75 \text{ h}^{-1}$ .

### 2.3.2.4 Effect van technologische behandeling op de afbraak van zetmeel in de pens

Pelleteren wordt veel toegepast bij de productie van krachtvoer voor melkvee. Dit blijkt de pensbestendigheid van zetmeel te verminderen; in het DVE/OEB1991-systeem werd hier-

voor aanvankelijk een correctie op %BZET toegepast van 25%, later teruggebracht tot 12,5%. Uit onderzoek blijkt dat pelleteren de grootte van de D-fractie met gemiddeld 15,6% reduceert en de  $k_d$  van D met 9,4% verhoogt (Bijlage 4). Omwille van eenvoud zijn beide effecten van pelleteren in één parameter verdisconteerd, en wordt aangehouden dat door pelleteren de D-fractie in de voeders met 25% afneemt ( $D-ZET_{\text{pelleteren}} = 0,75 \cdot D$ ); omdat voor zetmeel  $W + D = 100$ , betekent dit dat de W-fractie toeneemt ( $W-ZET_{\text{pelleteren}} = W + (D - D-ZET_{\text{pelleteren}}) = W + 0,25 \cdot D$ ).

### 2.3.3 De afbraak van residuele niet-zetmeel polysacchariden (RNSP)

Residuele niet-zetmeel polysacchariden (RNSP) is een verzamelnaam, waaronder niet alleen (de niet tot de NDF-fractie behorende) NSP vallen, maar waarin ook alle analysefouten van alle andere voerfracties cumuleren. Deze fractie wordt namelijk niet analytisch bepaald, maar berekend:

$$RNSP = OS - (RE + ZET + SUI + GOS + RVET + NDF + 0,92 \cdot MZ + 0,5 \cdot VVZ).$$

Als deze berekening niet alleen voor het uitgangsmateriaal, maar ook voor de residuen van de nylon zakjes incubaties wordt uitgevoerd, met een correctie voor RVET (zie paragraaf 2.5.1), dan is het mogelijk om het model van Ørskov en McDonald (1979) toe te passen en ook van RNSP de fracties W, U, D, en de  $k_d$  te berekenen.

Deze berekeningen werden uitgevoerd voor een geselecteerde groep van 21 voedermiddelen (Bijlage 8) met een NDF-gehalte  $> 100 \text{ g kg}^{-1}$  DS en een RNSP/NDF ratio  $> 1$ . De resultaten laten zien dat de W-fractie van RNSP gemiddeld 25,2 % bedraagt en varieert van 0 tot ruim 52%, dat de U-fractie van NDF altijd groter is dan de U-fractie van RNSP (11,0 vs 1,8) en dat de afbraaksnelheid van de D-fractie ( $k_{dD}$ ) van RNSP altijd groter is dan de afbraaksnelheid van de D-fractie van NDF (0,095 vs 0,051  $\text{h}^{-1}$ ). Vergelijkbare bevindingen kwamen naar voren bij de ruwvoerders graskuil en maïskuil. Bij een aantal voer ingrediënten had de W-fractie van RNSP (artificieel) een negatieve waarde. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de totale massabalans moet optellen tot 100%, en dat alle fouten en onnauwkeurigheden cumuleren in de W van RNSP.

Wanneer de berekening een negatieve waarde voor W oplevert, wordt W op nul gesteld, en wordt vervolgens de massabalans sluitend gemaakt door de D-fractie van RNSP navenant te verkleinen. Voor de  $k_{dD}$  van RNSP worden de waarden gebruikt die worden berekend vlg. het model van Ørskov en McDonald (1979).

Evenals bij zetmeel wordt ook voor de D-fractie van de RNSP verwacht dat de  $k_{dW}$  afhangt van de  $k_{dD}$ . Voor de afbraaksnelheid van W in RNSP is daarom pragmatisch de volgende formule afgesproken:

Voor RNSP:  $k_{dW} = 2,5 \times k_{dD}$  [vgl. 4]

In het Nederlandse protocol voor *in situ* incubaties in de pens staat, dat de afbraakarakteristieken (W, U, D en  $k_d$ ) van NDF alleen bepaald hoeven te worden als de ratio RNSP/NDF  $\geq 0,5$  en NDF  $> 100 \text{ g/kg}$  DS. In alle andere gevallen wordt aangenomen dat de afbraakarakteristieken van NDF en RNSP identiek zijn en kunnen worden berekend uit de verdwijning van NSP (= NDF + RNSP). Verder wordt dan aangenomen dat:

$$\begin{aligned} W-NDF &= 0 & W-RNSP &= W-NSP \\ D-NDF &= NDF/NSP \cdot D-NSP & D-RNSP &= RNSP/NSP \cdot D-NSP \\ U-NDF &= NDF/NSP \cdot U-NSP & U-RNSP &= RNSP/NSP \cdot U-NSP \\ K_{dD} - D-NDF &= k_{dD} - D-RNSP & &= k_{dD} - D-NSP \end{aligned}$$

## 2.4 Fractionele passagesnelheden

### 2.4.1 Fractionele passagesnelheden van ruw eiwit en zetmeel

De fractionele passagesnelheden ( $k_{p_x}$ ) van voerdeeltjes zijn net zo belangrijk om het gedrag van voercomponenten in de pens van rundvee te beschrijven als de fractionele afbraaksnelheden. Passage beïnvloedt de plaats van vertering en daarmee de voorziening van eiwit en zetmeel in de darm (= de hoeveelheid die ontsnapt aan afbraak in de pens), maar ook de hoeveelheid fermenteerbare organische stof (FOSp) die beschikbaar komt voor microbiële groei in de pens. Bovendien bepaalt de passagesnelheid in belangrijke mate de efficiëntie van bacteriële groei (Dijkstra et al., 2002), zoals verder besproken in paragraaf 3.3.2.

Fractionele passagesnelheden worden meestal geschat voor de vloeistoffase en de deeltjesfase, waarbij de laatste vaak wordt onderverdeeld in kleine deeltjes (krachtvoerders) en grote deeltjes (ruwvoerders). Veel gebruikte markers voor de vloeistof- en de deeltjesfase zijn respectievelijk Co-EDTA en NDF-gebonden Cr (Cr-NDF of eigenlijk Cr-NDR).

In het DVE/OEB1991-systeem wordt ervan uitgegaan dat de passagesnelheden voor ruw eiwit in ruwvoerders en krachtvoerders respectievelijk 0,045 en 0,060  $h^{-1}$  zijn. In het DVE/OEB2007-systeem worden deze waarden aangehouden voor de D-fractie van ruw eiwit in respectievelijk ruwvoerders en krachtvoerders. Zetmeel in ruwvoerders beperkt zich tot maissilage en GPS en het wordt geacht zich meer als krachtvoeder te gedragen dan als ruwvoeder. Daarom wordt voor de passagesnelheid van de D-fractie van zetmeel voor zowel ruwvoerders als krachtvoerders 0,060  $h^{-1}$  gehanteerd. In het DVE/OEB2007-systeem zijn de volgende waarden gekozen voor de fractionele passagesnelheden van de S- en de (W-S)-fracties:

- De fractionele passagesnelheid van de S-fractie ( $k_{p_s}$ ) is gelijk gesteld aan die van de vloeistoffase, waarvoor een waarde van 0,11  $h^{-1}$  wordt aangehouden.
- Voor de (W-S) wordt de fractionele passagesnelheid vastgesteld op 0,08  $h^{-1}$ .

De waarde 0,11  $h^{-1}$  is gebaseerd op Van der Honing et al. (2004) die in hun review schatten dat de passagesnelheid van vloeistof een factor 2,5 keer hoger is dan de passagesnelheid van ruwvoerdeeltjes en 1,8 keer hoger dan de passagesnelheid van krachtvoerdeeltjes. De fractionele passagesnelheid van de (W-S)-fractie (0,08  $h^{-1}$ ) werd gekozen tussen de passagesnelheid van de vloeistoffase (0,11) en die van deeltjes van de D-fractie van krachtvoerders (0,06).

### 2.4.2 Fractionele passage van NDF

#### 2.4.2.1 Algemene overwegingen

Recente literatuurstudies (Van Straalen, 1995; Van der Honing et al., 2004; Pellikaan, 2004; Dijkstra et al., 2005) hebben aangetoond dat niet alleen ruwvoerders en krachtvoerders verschillen in fractionele passagesnelheid, maar ook dat de verschillende componenten (eiwit, zetmeel, celwanden) verschillende passagesnelheden hebben. Dit is vooral van belang voor celwanden (NDF), omdat hun structuur nogal los is en hun functionele soortelijk gewicht gedurende fermentatie sterk afhangt van aanhangende fermentatiegassen (Hooper en Welch, 1985).

Melkveerantsoenen bevatten meestal tussen 350 en 500 g NDF  $kg^{-1}$  DS, waarvan het grootste gedeelte aanwezig is in de vorm van lange ruwvoerdeeltjes. Het gedrag in de pens voor wat betreft fractionele passage- en afbraaksnelheden van NDF bepaalt dan ook in belangrijke mate de hoeveelheid OS die beschikbaar komt voor microbiële eiwitsynthese (FOSp) in de pens. Verschillende omstandigheden beïnvloeden het NDF-gehalte in ruwvoerders. Het NDF-gehalte van grassen neemt toe met de leeftijd van het gras (Bosch, 1991), daalt tijdens vroege (6-8 weken) hergroei bij een toegenomen N-bemesting (Peyraud en Astigarraga, 1998), varieert met de grasvariëteit (Taweel, 2004) en blijkt hoger te zijn na droging in de oven dan na vriesdrogen (Cone et al., 1996; Valk et al., 1996). De toename van het NDF-gehalte met de leeftijd van het gewas is een gevolg van de gelijktijdige afname van het RE-gehalte. De afname van het NDF-gehalte bij intensievere N-bemesting is vooral te wijten aan een toename van het RE-gehalte. De genetische variatie hangt vooral samen met variatie in wateroplosbare koolhydraten (W-SKH). Droging in de oven, ten slotte, veroorzaakt een toename van de NDIN component (= Neutral Detergent Insoluble Nitrogen) van



NDF, waarschijnlijk ten gevolge van Maillard reacties van eiwit met celwandkoolhydraten (Van Soest, 1994). Dit verschijnsel treedt dan ook met name op bij voedermiddelen en minder bij feces of bij residuen van nylon zakjes incubaties.

Voor het bepalen van de verdwijning van NDF door passage wordt vaak lignine gebruikt als interne markeerstof. Volgens Van Soest (1994) wordt 14% van de lignine schijnbaar verteerd of in elk geval niet teruggevonden in de feces. Dit kan te wijten zijn aan analytische problemen of aan groei stadium van het ruwvoer. De afgelopen 15 jaar zijn in Nederland verschillende proeven uitgevoerd met melkvee, waarbij lignine en andere interne markers (o.a. onverteerbare ADF, IADF) zijn toegepast en met verschillende onderzoekstechnieken (duodenale flow, pensevacuatie). Uit de resultaten komt bij een gemiddelde droge stof opname (DSI) van 17,8 (s.d = 3,64) kg DS d<sup>-1</sup> een gemiddelde fractionele passagesnelheid van 0,0278 h<sup>-1</sup> (s.d. 0,0088) naar voren (Bijlage 5).

#### 2.4.2.2 Onderzoek m.b.v. stabiele isotopen

In recent onderzoek (Pellikaan, 2004; Dijkstra et al., 2005) wordt <sup>13</sup>C gebruikt als interne markeerstof. De resultaten (Tabel 1) wijzen uit dat <sup>13</sup>C in ruwvoerders een lagere fractionele passagesnelheid heeft dan Cr-NDR en dat <sup>13</sup>C-NDR een lagere fractionele passagesnelheid heeft dan <sup>13</sup>C-DS. Dit verschil tussen <sup>13</sup>C-NDR en <sup>13</sup>C-DS werd niet gevonden voor krachtvoerders.

Tabel 1. Fractionele passagesnelheden uit de pens (h<sup>-1</sup>) bepaald m.b.v. verschillende markeerstoffen

<sup>13</sup> C bron	Behandeling	DSI (kg d <sup>-1</sup> )	Fractionele pens-passagesnelheid				
			CoEDTA (h <sup>-1</sup> )	CrNDF (h <sup>-1</sup> )	<sup>13</sup> C-DS (h <sup>-1</sup> )	<sup>13</sup> C-NDR (h <sup>-1</sup> )	<sup>13</sup> C-ZET (h <sup>-1</sup> )
Gras		16,8	0,140	0,045	0,025	0,022	
Graskuil	HI	12,5	0,130	0,069	0,033	0,029	
	LI	7,6	0,111	0,047	0,026	0,019	
	HDig	16,5	0,132	0,053	0,043	0,020	
	LDig	15,2	0,106	0,053	0,034	0,017	
Maïskuil	HDig	19,4		0,059	0,045	0,018	
	LDig	19,6		0,056	0,040	0,016	
% KV	Hoog	17,5		0,037	0,054	0,059	
	Laag	16,4		0,040	0,057	0,064	
Zetmeel	Maïs	15,3	0,082	0,049			
	Aardappel	15,1	0,093	0,048			0,072

KV = krachtvoer; H = Hoog; L = Laag; I = Opname; Dig = Verteerbaarheid; DSI = Droge stof opname; <sup>13</sup>C-DS = <sup>13</sup>C in DS; <sup>13</sup>C-NDR = <sup>13</sup>C in NDR; <sup>13</sup>C-NDS = <sup>13</sup>C in Neutral Detergent Solubles (NDS); <sup>13</sup>C-ZET = <sup>13</sup>C in zetmeel

De resultaten in tabel 1 laten zien dat de fractionele passagesnelheid van celwandcomponenten (NDF) in ruwvoer gemiddeld 40% lager is dan de fractionele passagesnelheid van andere koolhydraten en eiwit. Gebaseerd op het gebruik van <sup>13</sup>C als interne markeerstof, bevelen Dijkstra et al. (2005) fractionele passagesnelheden van 0,025 en 0,020 h<sup>-1</sup> aan voor NDF in respectievelijk graskuil en maïskuil. De DSI niveaus in de proeven van Pellikaan (2004) en Dijkstra et al. (2005) waren gemiddeld lager (gemiddeld 15,7 kg DS d<sup>-1</sup>) dan de niveaus die als normaal worden beschouwd onder praktische omstandigheden (DSI >21 kg d<sup>-1</sup>); dit kan leiden tot wat hogere fractionele passagesnelheden, waarmee de waarde van 0,0278 h<sup>-1</sup> voor lang ruwvoer (Bijlage 5) meer passend geacht wordt. Evenals in DVE/OEB1991 wordt een ratio van 0,75 aangehouden tussen de fractionele passagesnelheden van ruwvoer en krachtvoerdeeltjes. Deze ratio ligt dichtbij de waarde van 0,72 die werd gevonden door Van der Honing et al. (2004) en resulteert in een fractionele passagesnelheid van 0,0371 h<sup>-1</sup> voor krachtvoerders. Als echter fractionele passagesnelheden van 0,0278 h<sup>-1</sup> voor NDF in ruwvoer en 0,0371 h<sup>-1</sup> voor NDF in krachtvoer worden toegepast op experimen-

ten met melkkoeien waarbij de partiële vertering van NDF in de pens *in vivo* is gemeten, dan leidt dat tot een onderschatting van de hoeveelheid NDF die gefermenteerd wordt in de pens (A.Bannink, pers. meded.). Daarom is voor een andere benadering gekozen.

NDF bestaat uit een fractie die beschikbaar is voor afbraak (DNDF) in de pens en een fractie die niet beschikbaar is (UNDF). Omdat wordt aangenomen dat UNDF ook onverteerbaar is in de dikke darm, verdwijnt deze fractie alleen ten gevolge van passage en wordt de opgenomen hoeveelheid UNDF volledig uitgescheiden met de feces. Het grootste deel van DNDF wordt gefermenteerd in de pens, een veel kleiner deel wordt verteerd in de dike darm en ook wordt een bepaald percentage uitgescheiden met de feces. Welk deel van de DNDF wordt gefermenteerd in de pens hangt af van de ratio tussen kp en kd. Hoeveel DNDF wordt uitgescheiden met de feces hangt af van de hoeveelheid DNDF die ontsnapt aan fermentatie in de pens en hoeveel daarvan vervolgens in de dikke darm wordt afgebroken.

Voor een betrouwbare schatting van FOSp uit DNDF is informatie nodig over:

1. Het aandeel UNDF en DNDF in NDF  $((NDF - UNDF)/NDF)$ .
2. De bijdrage van dikke darm fermentatie aan de schijnbare verteerbaarheid van NDF of DNDF.
3. Het deel van DNDF dat daadwerkelijk wordt verteerd in de pens.
4. De ratio tussen de snelheid van pensafbraak (kd) en -passage (kp) van NDF.

#### 2.4.2.3 De UNDF/NDF-ratio

Van vers gras dat op stal gevoerd wordt en dat varieert in N-bemesting (150 tot 450 kg ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>) en opbrengst (1500 tot 2500 kg DS ha<sup>-1</sup>), loopt de UNDF/NDF-ratio in ovengedroogde monsters uiteen van 0,064 tot 0,128 (Valk et al., 1996), met lagere NDF-niveaus bij intensievere N-bemesting en zonder significante seizoensinvloeden (voorjaar vs. najaar). Bij zes variëteiten raaigras (*Lolium perenne*), met een opbrengst van ongeveer 2000 kg DS ha<sup>-1</sup> vond Taweel (2004), dat de UNDF/NDF-ratio in gevriesdroogde monsters tussen 0,125 en 0,145 lag, zonder duidelijke relatie met het NDF-gehalte (range 0,414 – 0,436 g.kg<sup>-1</sup> DS). Voor kuilgras dat was geoogst in verschillende groeistadia, vond Bosch (1991) dat de UNDF/NDF-ratio in ovengedroogde monsters varieerde tussen 0,106 en 0,297 en toenam met toenemend NDF-gehalte (range 446 – 673 g.kg<sup>-1</sup> DS). Omdat de oorzaken van variatie in NDF-gehalte zo verschillend zijn, kan de UNDF/NDF-ratio dus niet betrouwbaar voorspeld worden met behulp van regressievergelijkingen,

#### 2.4.2.4 Fermentatie in de dikke darm

Bij schapen die verschillende soorten gehakseld ruwvoer verstrekt kregen, varieerde de bijdrage van de dikke darm fermentatie aan de totale NDF-vertering tussen 0 en 30% (Ulyatt et al., 1975). Toentertijd ontbraken vergelijkbare gegevens voor melkkoeien. In een recentere publicatie concludeerden Robinson et al. (1987) dat bij melkkoeien circa 15% van de vezelstroom in het duodenum wordt verteerd na de pens. Deze conclusie is echter gebaseerd op een beperkt aantal waarnemingen (n=18), en op ruwe celstof (RC) als celwandparameter en niet op NDF. Enkele jaren later concludeerde Tamminga (1993) dat de bijdrage van dikke darm fermentatie van NDF aan de totale vertering in het maagdarmkanaal van melkkoeien, gevoerd met lang ruwvoer en gepelletiseerd krachtvoer, wat lager (tussen 0 en 20%) lijkt te zijn dan bij schapen die alleen ruwvoer krijgen. Zowel bij schapen als bij rundvee neemt het belang van dikke darm fermentatie toe als de totale verteerbaarheid daalt. Tien procent lijkt een geschikte gemiddelde waarde voor melkkoeien die een gemengd rantsoen van goede kwaliteit verstrekt krijgen.

#### 2.4.2.5 Mate en plaats van DNDF-vertering

Uit een beperkt aantal proefresultaten met melkkoeien gevoerd met kuilgras (Bosch 1991) en vers gras (Valk, 2002) kon worden berekend welk aandeel DNDF daadwerkelijk wordt verteerd. Uit deze data komt naar voren, dat gemiddeld 0,82 (s.d. = 0,0314) van de DNDF wordt verteerd (Bijlage 6). De dataset is te klein om stevige conclusies te trekken, maar in het onderzoek van Bosch (1991) leidde een groter krachtvoeraandeel en een hoger NDF-gehalte in het ruwvoer tot lagere waarden, terwijl in het onderzoek van Valk (2002) een hoger N-bemestingsniveau resulteerde in een hoger aandeel DNDF dat na de pens werd verteerd.

Het aandeel DNDF dat in de pens wordt gefermenteerd komt voort uit de ratio  $kp/(kd+kp)$ . De  $kp$  is waarschijnlijk enigermate afhankelijk van de  $kd$ , omdat de kans op ontsnapping uit de pens gedurende het verteringsproces toeneemt met de tijd, vanwege een toenemend “functioneel” soortelijk gewicht van voerdeeltjes naarmate de vertering vordert (Hooper en Welch, 1985). Aanwijzingen voor een dergelijke relatie werden ook gevonden door Pellikaan (2004) die gebruik maakte van stabiele isotopen als markeerstoffen.

Als 10% van het verteerde DNDF (0,82 van het opgenomen DNDF) wordt verteerd in de dikke darm, dan wordt 0,738 ( $0,9 \times 0,82$ ) van het DNDF verteerd in de pens. Om tot deze waarde te komen is een ratio tussen  $kp$  en  $kd$  van 0,355 [ $(1 - 0,738)/0,738$ ] nodig.

#### 2.4.2.6 Afbraak en passage

Hoewel ze rekenkundig gescheiden kunnen worden, bevatten voerdeeltjes zowel UNDF als DNDF. UNDF verdwijnt alleen door passage ( $kp$ ) uit de pens en DNDF kan zowel door passage ( $kp$ ) als door fermentatie ( $kd$ ) de pens verlaten. In de praktijk zijn UNDF en DNDF componenten van dezelfde voerdeeltjes.

Aan voerdeeltjes met een hoge DNDF/UNDF-ratio kleven meer fermentatiegassen, waardoor het drijfvermogen van deze deeltjes hoger is en ze selectief in de pens achterblijven. Hierdoor verdwijnt UNDF sneller uit de pens. Tamminga et al. (1989) hebben de uitstroomsnelheid uit de pens van DNDF en UNDF geschat, gebaseerd op opname, penspoolgroottes en fecale uitscheiding. Enige resultaten worden gegeven in tabel 2.

Tabel 2. *Fractionele (% h<sup>-1</sup>) passagesnelheid (kp) van celwandbestanddelen uit de pens en fractionele afbraaksnelheid (kd) van celwandbestanddelen in de pens (Tamminga et al., 1989).*

Snelheid	Proef	DNDF	UNDF	DADF	UADF
Kp	1	1,62±0,208	3,52±0,175	1,38±0,129	4,55±0,238
	2	2,17±0,417	4,17±0,358	2,02±0,321	4,02±0,275
Kd	1	5,67±0,629		5,86±0,533	
	2	4,44±0,263		5,15±0,238	

Als wordt aangenomen dat de  $kp$  van DNDF half zo groot is als eerder voorgesteld (paragraaf 2.4.2.2.) voor (U)NDF (0,0278 en 0,0371 h<sup>-1</sup> voor respectievelijk ruwvoerders en krachtvoerders) leidt dat tot meer realistische waarden voor de partiële vertering van NDF in de pens. Een enigszins pragmatische oplossing is een compromis, waarbij het gemiddelde wordt genomen van de  $kp$ 's uit de twee benaderingen in paragraaf 2.4.2.5 en 2.4.2.6. Dit leidt tot de volgende formules voor de fractionele passagesnelheid ( $kp$ ) uit de pens voor NDF in ruwvoerders ( $kpf$ ) en in krachtvoerders ( $kpc$ ):

$$kpf = 0,0139 + 0,1775 \cdot kd \quad \text{[vgl. 5]}$$

Waarin 0,0139 de helft is van 0,0278 en 0,1775 de helft van 0,355, de benodigde ratio tussen  $kd$  en  $kp$ .

$$kpc = 0,01855 + 0,1775 \cdot kd \quad \text{[vgl. 6]}$$

Waarin 0,01855 de helft is van 0,0371 en 0,1775 de helft van 0,355, de benodigde ratio tussen  $kd$  en  $kp$ .

De resultaten werden getoetst aan een dataset waarin schijnbare verteerbaarheden *in vivo* gemeten waren en waarin tevens fractionele afbraaksnelheden bepaald waren (Bijlage 7). Helaas was in veel experimenten de  $kd$  van het krachtvoer niet gemeten en werd daarom de ‘standaardwaarde’ van 0,045 h<sup>-1</sup> aangehouden. Regressieanalyse met als model  $VCNDF\text{-berekend} = a \cdot VCNDF\text{-bepaald}$  tonen een vrij goede overeenkomst ( $Y=1,005X$ ;  $R^2=0,34$ ). Het resultaat verbeterde aan-

zienlijk ( $Y=0,981X$ ;  $R^2=0,52$ ) door de data van Klop et al. (1997) als uitbijters te beschouwen en uit de dataset te verwijderen.

### 2.4.3 Fractionele passage van RNSP

Net als bij andere voercomponenten wordt voor RNSP aangenomen dat de W-fractie verdwijnt uit de pens met een fractionele snelheid ( $k_p$ ) van  $0,08 \text{ h}^{-1}$ . Ondanks dat de  $k_{Dp}$  van RNSP gemiddeld bijna twee keer zo groot is als die van NDF, wordt het toch gerechtvaardigd geacht om voor RNSP dezelfde rekenregels toe te passen als voor NDF. De  $k_{Dp}$  voor RNSP in krachtvoercomponenten wordt dan ook gesteld op  $0,01855 + 0,1775 \times k_{Dp}$ , met een maximum van 0,06, en voor RNSP in ruwvoerders op  $0,0139 + 0,1775 \times k_{Dp}$ , met een maximum van 0,045. Bij een dikke darm fermentatie van 10% (net als bij NDF) resulteert dit in een schijnbare (fecale) verteerbaarheid van RNSP tussen 54,9 en 94,3 % (Bijlage 8). Omdat de *in vivo* fecale RNSP uitscheiding 'vervuild' kan zijn met endogene secreties en residuen van de vertering van overige voercomponenten na de pens, is het niet mogelijk om de validiteit van deze range *in vivo* te verifiëren.

### 2.4.4 Fractionele passage van de U-fractie

De componenten RE, NDF en RNSP bevatten een onverteerbare (U) fractie, die alleen via passage de pens verlaat. Voor RE wordt aangenomen dat  $k_{U} = k_{Dp}$ . Zoals uitgelegd in paragraaf 2.4.2.6, geldt voor NDF en RNSP, dat  $k_{U} \approx 2 \times k_{Dp}$ .

## 2.5 Overige aspecten

### 2.5.1 Het gedrag van vetten en langketenige vetzuren in nylon zakjes incubaties

In het DVE/OEB1991-systeem werd aangenomen, dat vet een inerte substantie is die niet wordt afgebroken in de pens en die snel en volledig wordt uitgewassen uit de nylon zakjes. Vetrijke producten zoals oliezaden kunnen echter de poriën in de zakjes verstopen en zo de afbraak van andere fracties verstoren. Het is daarom voorgeschreven om ingrediënten waarbij het RVET hoger is dan  $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  DS, voorafgaand aan de pensincubatie, voorzichtig te extraheren. De gebruikelijke robuuste extractieprocedure (koken met terugstroom) kan de matrix van eiwitten en koolhydraten kapot maken. Daarom wordt een milde extractie bij kamertemperatuur aanbevolen, maar dit leidt vaak tot het onvolledig verwijderen van RVET.

De afgelopen jaren zijn verscheidene publicaties verschenen over het lot van vetten en vetzuren (VZ) in de pens tijdens nylon zakjes incubatie van zowel behandelde als onbehandelde volvette oliezaden zoals sojabonen (Perrier et al., 1992; Chouinard et al., 1997), canola-zaad (Enjalbert et al., 2003) en zonnebloemzaad (Mustafa et al., 2003; Sarrazin et al., 2003). Sommige resultaten (Chouinard et al., 1997; Enjalbert et al., 2003) lieten zien dat gemiddeld tussen 27 en 46% van de vetzuren onmiddellijk wordt uitgewassen. De overblijvende VZ verdwenen uit de nylon zakjes met een 2 tot 4 maal grotere snelheid dan droge stof. Meervoudig onverzadigde vetzuren (PUFA) verdwenen sneller dan verzadigde FA, niet alleen omdat PUFA de zakjes door uitspoeling met de voerdeeltjes verlaten, maar ook omdat ze worden gebiohydrogeneerd tot meer verzadigde FA. De fractionele verdwijningssnelheden van VZ varieerden tussen  $0,10$  en  $0,25 \text{ h}^{-1}$  en technologische behandelingen (extrusie, roosteren, natte hittebehandeling) vertraagden de fractionele verdwijning. Onder de aanname dat de W- en de U-fracties voor RVET respectievelijk  $0,35$  en  $0$  zijn, en dat de gemiddelde fractionele verdwijningssnelheid voor de D-RVET  $0,15 \text{ h}^{-1}$  bedraagt, is het mogelijk om de W- en D-fractie van OS te corrigeren voor de verdwijning van RVET teneinde correcte W- en D-fracties van NSP te berekenen ( $\text{NSP} = \text{OS} - (\text{RE} + \text{ZET} + \text{SUI} + \text{GOS} + \text{RVET} + \text{FP})$ ). Bij een verdwijningssnelheid van  $0,15 \text{ h}^{-1}$ , en rekening houdend met de initiële uitwassing van 35%, neemt RVET op 3, 6 en 12 h af tot 40, 17 en 3 % van de oorspronkelijke waarde. Correcties

van de D-fractie van NSP kunnen dan beperkt blijven tot 3, 6 en 12 h met respectievelijk 40, 17 en 3 % van de vetfractie.

### 2.5.2 De eiwitwaarde van NPN in gefermenteerde voeders

In het CNCPS en het FiM-systeem wordt gecorrigeerd voor de aanwezigheid van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) in de S-fractie van RE in gefermenteerde voeders. In gefermenteerde voeders zoals silages, is een deel van het pensafbreekbare eiwit (ORE) aanwezig als niet-eiwit stikstof (NPN) in de S-fractie. Het blijkt (Givens en Rulquin, 2004; Gierus et al., 2005; Hedqvist en Uden, 2006), dat tussen 210 en 439 g  $\text{kg}^{-1}$  van de RE in kuilvoer werkelijk eiwit is. Een groot deel van het overige RE (250-459 g  $\text{kg}^{-1}$  RE) is aanwezig in de vorm van aminozuren en peptiden. Dan blijft ongeveer 300 g  $\text{kg}^{-1}$  RE (233 tot 370 g  $\text{kg}^{-1}$  RE) over als N in N-bevattende componenten anders dan aminozuren, zoals  $\text{NH}_3$  en nucleïnezuren.

Volgens de voorgestelde rekenregels voor RE (zie paragraaf 2.3.1) ontsnapt 5% van deze 300 g  $\text{kg}^{-1}$  RE in de vorm van niet-aminozuren N (NAZN), ofwel 15 g  $\text{kg}^{-1}$  RE, aan afbraak in de pens en draagt daarmee (ten onrechte) met 13,5 (15\*0,9) g  $\text{kg}^{-1}$  RE bij aan de DVE in de vorm van DVBE. De resterende 95%, ofwel 285 g  $\text{kg}^{-1}$  RE, komt ook (ten onrechte) terecht in de DVE via microbiële eiwitsynthese met oplosbaar eiwit als substraat, waarbij 18,0 g DVE  $\text{kg}^{-1}$  RE wordt gevormd (uitgaande van 99 g MRE  $\text{kg}^{-1}$  RE, met een AZ/RE ratio van 0,75 en een darmverteerbaarheid van 0,85, zie later). De totale opbrengst wordt daarmee overschat met 31,5 g DVE  $\text{kg}^{-1}$  RE.

Het alternatief is om de S-RE te corrigeren voor NAZN. Als RE wordt berekend als  $\text{N} \cdot 6,25$ , dan bestaat deze RE uit 16% N en 84% N-vrij residu. Als N dat aanwezig is in NAZN wordt uitgedrukt als RE, dan komen andere voercomponenten (waarschijnlijk oplosbare koolhydraten uit de NSP- of RNSP-fractie) ten onrechte terecht in de RE-fractie. Van deze ten onrechte in de RE fractie terechtgekomen oplosbare koolhydraatfractie zal ook 95% beschikbaar zijn als substraat voor de synthese van microbieel ruw eiwit (MRE) in de pens, en zo een bijdrage leveren van 26,6 g DVE (uitgaande van 174 g MRE  $\text{kg}^{-1}$  SKH; AZ/RE ratio van 0,75 en een verteerbaarheid van 0,85, zie later). De twee benaderingen resulteren in een verschil in DVE ten gevolge van NAZN van hooguit 5 g  $\text{kg}^{-1}$  RE in NAZN; dit ligt ruim binnen de (on)nauwkeurigheid van de nylon zakjes methode. In tegenstelling tot de benadering die is gebruikt in het CNCPS en het FiM-systeem, werd dan ook besloten om geen correctie voor NAZN of  $\text{NH}_3$  toe te passen.

### 2.5.3 Suikers en Glucose Oligosacchariden (GOS)

Suikers (bepaald volgens Luff Schoorl) worden geacht in de S-fractie te vallen.

In sommige (vochtrijke) voedermiddelen wordt GOS als chemische parameter onderscheiden. Deze zetmeelfragmenten zijn maximaal ca. 10 glucose-eenheden groot en zijn oplosbaar in 40% ethanol. In de tabellen van CVB wordt het GOS gehalte uitgedrukt als zetmeel-equivalenten. Voor GOS wordt eveneens aangenomen dat deze volledig in de S-fractie vallen. Bovendien wordt aangenomen dat ze op een vergelijkbare manier worden gefermenteerd als SUI. In de berekeningen van het DVE-systeem kan daarom, na GOS te hebben teruggerekend tot glucose-equivalenten (= GOS-gehalte/0,90), gerekend worden met de som van SUI + GOS.

De aannames in het DVE/OEB2007-systeem luiden samenvattend als volgt (Tabel 3):

Tabel 3. Overzicht van parameterwaarden voor verschillende voercomponenten

Parameter	RE	SUI + GOS <sup>a</sup>	ZET <sup>b</sup>	NDF	RNSP <sup>c</sup>
F totaal (F <sub>COMP</sub> )	vgl. 2	vgl. 2	vgl. 2	vgl. 2	vgl. 2
S, fractie	waarde <sup>d</sup>	1	0	0	0 <sup>e</sup>
W-S, fractie	waarde <sup>d</sup>	0	waarde <sup>d</sup>	waarde <sup>d</sup>	waarde <sup>d</sup>
D, fractie	waarde <sup>d</sup>	0	waarde <sup>d</sup>	waarde <sup>d</sup>	waarde <sup>d</sup>
U, fractie	waarde <sup>d</sup>	0	0	waarde <sup>d</sup>	waarde <sup>d</sup>
kd <sub>S</sub> , h <sup>-1</sup>	2,0 <sup>f</sup>	2,0 <sup>f</sup>	n.a.	n.a.	n.a.
kp <sub>S</sub> , h <sup>-1</sup>	0,11 <sup>g</sup>	0,11 <sup>g</sup>	n.a.	n.a.	n.a.
kd <sub>(W-S)</sub> , h <sup>-1</sup>	= kd <sub>D</sub>	n.a.	2k <sub>D</sub> +0,375	= kd <sub>D</sub>	=2,5kd <sub>D</sub>
kp <sub>(W-S)</sub> , h <sup>-1</sup>	0,08	n.a.	0,08	0,08	0,08
kd <sub>D</sub> , h <sup>-1</sup>	waarde <sup>d</sup>	n.a.	waarde <sup>d</sup>	waarde <sup>d</sup>	waarde <sup>d</sup>
kp <sub>D</sub> , h <sup>-1</sup> (rv)	0,045	n.a.	0,060	vgl. 5	vgl. 5
kp <sub>D</sub> , h <sup>-1</sup> (kv)	0,060	n.a.	0,060	vgl. 6	vgl. 6

<sup>a</sup> Suikers (volgens Luff Schoorl) + Glucose Oligosacchariden (GOS) oplosbaar in 40% ethanol.

<sup>b</sup> Om het effect van pelletteren te verdisconteren wordt de effectieve afbraak van zetmeel in krachtvoerders (kv) verhoogd door de D-fractie te verkleinen met 25%, samengaan met een verhoging van de W-fractie.

<sup>c</sup> Voor RNSP wordt de grootte van W, U en D berekend als OS-(RE+RVET+SUI+GOS+ZET+NDF+FP) voor elke incubatietijd via vgl. 2. Voor tijdstippen anders dan t = 0 (nul) is de waarde 0 (nul) voor SUI, GOS en FP. Van de RVET fractie in het voer wordt 35% uitgewassen, dus de vetvrije D-fractie van NSP kan berekend worden door 65% van het oorspronkelijke RVET-gehalte af te trekken. De vetvrije D-fracties van NSP op 3, 6 en 12 h worden verminderd met respectievelijk 40, 17 en 3% van het oorspronkelijke RVET-gehalte.

<sup>d</sup> "waarde" betekent geanalyseerd of overgenomen uit voedertabellen. Als S>W, dan W=S

<sup>e</sup> Een deel van de W-fractie kan oplosbaar zijn, maar dit kan niet gemeten worden vanwege "vervuiling" met oplosbaar as.

<sup>f</sup> Voor producten waarbij de S-fractie aminozuren (in eiwit, in peptiden of vrije aminozuren) of oplosbare suikers bevat, wordt een fractionele afbraaksnelheid gehanteerd van 2,0 h<sup>-1</sup> voor eiwit (volgens Volden et al (2002) ) en suikers (Van Straalen (1995) gebaseerd op Sniffen et al. (1992). De ratio kd<sub>1</sub>/(kd<sub>1</sub>+kp<sub>1</sub>) is gelijk aan 2,0/(2,0+0,11) ofwel 0,95.

<sup>g</sup> Aannames gebaseerd op data van Van Vuuren (1993), Van Straalen (1995), Van der Honing et al. (2004), Pellikaan (2004) en Dijkstra et al. (2005).

## 2.6 Vergelijking van afbraak en passage tussen eiwitwaarderingssystemen

### 2.6.1 Vergelijking van DVE/OEB1991 en DVE/OEB2007

Tabel 4 geeft een vergelijking van de voor DVE/OEB1991 en DVE/OEB2007 geldende rekenregels.

Tabel 4. Overzicht van componenten in DVE/OEB1991 en DVE/OEB2007

		DVE/OEB1991				DVE/OEB2007			
		Berekening	Kd	Kpf	Kpc	Berekening	Kd	kpf	kpc
OS	COMP	DS-RAS				DS-RAS			
	FOS <sup>1</sup>	VOS-RVET-BRE-BZET-0,50*FP				$\sum kd/(kd+kp)*COMP$			
RVET	COMP	RVET				RVET			
	W					0,35*RVET	$\infty$		
	D					0,65*RVET	0,15	0,045	0,060
	U					0			
RE	COMP	$N \times 6,25$				$N \times 6,25$			
	S	0				SRE	2,00	0,110	0,110
	W-S	WRE	$\infty$			WRE-SRE	Tabel	0,080	0,080
	D	100-W-U	Tabel	0,045	0,060	100-W-U	Tabel	0,045	0,060
	U	T = 336 h				T = 336h			
KH	COMP	100-RAS-RE-RVET				100-RAS-RE-RVET			
NDF	COMP	NDF				NDF			
	W					WNDF	Tabel	0,080	0,080
	D	100-U				100-W-U	Tabel	0,0139+0,1775kd <sub>D</sub>	0,01855+0,1775kd <sub>D</sub>
	U	T = 336 h				T = 336h			
RNSP	COMP					100-RAS-RE-RVET-ZET- CF <sub>Di</sub> *SUI - 0.92*MZ - 0.5*VVZ			
	W					WRNSP (ber.)	2,5kd <sub>D</sub>	0,080	0,080
	D					100-W-U (ber.)	Tabel	0,0139+0,1775kd <sub>D</sub>	0,01855+0,1775kd <sub>D</sub>
	U					T = 336 h (ber.)	Tabel		
NSK <sup>2</sup>	COMP	ZET + SUI				ZET + SUI			
	SUI								
	S	SUI				SSUI	2,00	0,110	0,110
	ZET								
	W	ZET (W)	1,35	0,150	0,150	ZET (W)	2kd <sub>3</sub> +0,375	0,080	0,080
	D	ZET (100-W)	Tabel	0,045	0,060	ZET (100-W)	Tabel	0,060	0,060
	U	0				0			

<sup>1</sup>: In het DVE./OEB1991-systeem werd de term 'FOS' zonder de toevoeging 'p' gebruikt. <sup>2</sup>: Niet structurele koolhydraten

## 2.6.2 Vergelijking met andere systemen

In vergelijkbare modellen voor voederwaardering zoals CNCPS in de Verenigde Staten (Fox et al., 2004) en FiM in het Verenigd Koninkrijk (Thomas, 2004), worden vergelijkingen gehanteerd voor de fractionele passagesnelheden (kp). Deze kp's bepalen de efficiëntie van microbiële eiwitsynthese in de pens ( $Y_{ATP}$ ) (paragraaf 3.3.2). Men onderscheidt kp's voor resp. vloeistoffen (kpl), ruwvoerders (kpf) en krachtvoerders (kpc). De vergelijkingen luiden als volgt:

CNCPS	$kpl = 0,0441 + 1,91 \cdot \text{kg DSI/kg LG}$ $kpf = 0,0038 + 0,22 \cdot \text{kg DSI/kg LG}^{0,75} + 0,02 \cdot p\text{Ruwvoer}^2$ $kpc = -0,00424 + 1,45 \cdot kpf$
FiM	$kpl = 0,0245 + 0,25 \cdot \text{kg DSI/kg LG}^{0,75} + 0,04 \cdot p\text{Ruwvoer}^2$ $kpf = 0,0035 + 0,22 \cdot \text{kg DSI/kg LG}^{0,75} + 0,02 \cdot p\text{Ruwvoer}^2$ $kpc = 0,0025 + 1,25 \cdot kpf$

Waarin pRuwvoer = de fractie van ruwvoer-DS in totaal rantsoen-DS.

Opgemerkt moet worden, dat in beide gevallen de voeropname (hetzij per kg LG of per kg  $\text{LG}^{0,75}$ ) en het aandeel ruwvoer (in het kwadraat) een belangrijke rol spelen. Hoogproductief melkvee wordt meestal vrijwel *ad libitum* gevoerd. In het recent geïntroduceerde Nederlandse voeropnamevoorspellingsstelsel (Zom et al., 2002), wordt de variatie in voeropnamecapaciteit over de gehele lactatieperiode geschat. Het verschil tussen de hoogste en de laagste voeropnamecapaciteit lijkt kleiner dan 15% te zijn. Daarnaast wordt de ratio tussen ruwvoer en krachtvoer gedurende de lactatieperiode aangepast aan het melkproductieniveau. In het FiM-systeem werd dit effect voor verschillende melkproductieniveaus, gesimuleerd (Tabel 5). Als wordt aangenomen dat de vloeistoffractie 20% uitmaakt van elk rantsoen, dan is er maar weinig variatie in  $Y_{ATP}$  (als maat voor potentiële microbiële eiwitsynthese), volgens de berekeningen in FiM.

Tabel 5. Het effect van variatie in ruwvoer/krachtvoer(rv/kv)-verhouding op de fractionele passagesnelheden ( $h^{-1}$ )

Melkgift (kg/d)	20	30	40	50	Gemiddeld
<b>Rv/kv ratio</b>	<b>78/22</b>	<b>54/46</b>	<b>46/54</b>	<b>36/64</b>	
Kpl	0,081	0,075	0,077	0,079	0,078
Kpf	0,044	0,043	0,047	0,049	0,045
Kpc	0,058	0,056	0,061	0,064	0,060
$Y_{ATP}$	11,7	11,5	12,0	12,1	11,8

Bron: Feed into Milk (Thomas, 2004).

Als de onderliggende gegevens ontbreken, suggereert het FiM-systeem voorkeurswaarden voor kp van 0,08, 0,045 en 0,06  $h^{-1}$  voor respectievelijk vloeistoffen (kpl), ruwvoerders (kpf) en krachtvoerders (kpc). Voor een hoogproductieve melkkoe van 650 kg met een opname van 21 kg DS  $d^{-1}$  en een ruwvoeraandeel van 0,50, zoals momenteel gebruikelijk in Nederland, berekent CNCPS waarden voor kp van 0,106, 0,045 en 0,061  $h^{-1}$  voor respectievelijk vloeistoffen (kpl), ruwvoerders (kpf) en krachtvoerders (kpc).

Om de componenten van het DVE/OEB2007-systeem te kunnen vergelijken met componenten in andere systemen geeft Tabel 6 een overzicht van parameterwaarden in het CNCPS-systeem (Fox et al., 2004), het FiM-systeem (Thomas, 2004) en het DVE/OEB2007-systeem.



Tabel 6. Overzicht van componenten in het CNCPS-, het FiM- en het DVE/OEB2007-voederwaarderingssysteem

		CNCPS			FiM			DVE/OEB2007			
		Berekening <sup>1)</sup>	Kd	Kp	Berekening <sup>1)</sup>	Kd	Kp	Berekening	Kd	Kpf	Kpc
DS	RV			eq. <sup>2)</sup>			Eq. <sup>2)</sup>				
	KV			eq. <sup>2)</sup>			Eq. <sup>2)</sup>				
DS	COMP	DM			DM			DS			
	S	n.a.			S	0,90	0,080	n.a.		0,110	0,110
	W	n.a.			A	Tabel <sup>3)</sup>	0,080	n.a.		0,080	0,080
	D	n.a.			B	Tabel <sup>3)</sup>	Eq. <sup>1)</sup>	n.a.			
	U	n.a.			100-A-B			n.a.			
RE	COMP	N x 6,25			N x 6,25			N x 6,25			
	S1	SNPN x 6,25	$\infty$		n.a.			n.a.			
	S2	SRE – S1	3,00	eq. <sup>2)</sup>	SRE	0,90	0,080	SRE	2,0	0,110	0,110
	W-S				WRE–SRE	Tabel <sup>3)</sup>	0,080	WRE-SRE	$kd_{(W-S)}=kd_D$	0,080	0,080
	D	NDICP-ADICP	Tabel <sup>3)</sup>		B	Tabel <sup>3)</sup>		100-W-U	Tabel <sup>3)</sup>	0,045	0,060
	U	ADICP	Tabel <sup>3)</sup>		n.a.	n.a.	n.a.	T = 336h	0	0,045	0,060
KH	COMP	100-RE-RVET-RAS			n.a.	n.a.	n.a.	100-RE-RVET-RAS			
StKH	COMP							NDF	Tabel <sup>2)</sup>	eq 5	eq. 6
	S	n.a.			n.a.	n.a.	n.a.	0	0		
	W	n.a.			n.a.	n.a.	n.a.	0			
	D	CB2=NDF-NDICP-U	Tabel <sup>3)</sup>	eq. <sup>2)</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	100-W-U	Tabel		
	U	Lignin x 2,4	Tabel <sup>3)</sup>	eq. <sup>2)</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	T = 336h			
	COMP							RNSP			
	W							WRNSP (ber.) <sup>4)</sup>	$2,5kd_D$	0,08	0,08
	D							100-W-U (ber.) <sup>4)</sup>	Tabel <sup>3)</sup>	eq.5	eq. 6
	U							T = 336 h (ber.) <sup>4)</sup>	0		
NSK	COMP	CHO-CB2-U						ZET + SUI			
	S	CA=Sugars+Acids	3,00	Eq. <sup>2)</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	SSUI	2,0	0,110	0,110
	W	CB1=Starch+SNSP	Tabel <sup>23)</sup>	eq. <sup>12)</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	ZET (W)	$2kd_D+0,375$	0,080	0,08
	D				n.a.	n.a.	n.a.	ZET (100-W)	Tabel <sup>3)</sup>	0,060	0,060
	U	0			n.a.	n.a.	n.a.	0	0		

<sup>1)</sup> : SNPN = Soluble NPN; NDICP = Neutral Detergent Insoluble CP; ADICP = Acid Detergent insoluble CP = U; CHO = Carbohydrates, onderverdeeld in CA, CB1, CB2 en CC; SNSP = Soluble NSP; A = uit afbraakcurve gefitte W; B = uit afbraakcurve gefitte D; <sup>2)</sup>: eq. = formule in het systeem; <sup>3)</sup>:Tabel = tabelwaarde; <sup>4)</sup>: ber. = berekend



## 3 Beschrijving van de eiwitwaarde van voeders

### 3.1 Inleiding

Het DVE/OEB2007-systeem berekent voor elk voedermiddel twee waarden: darmverteerbaar eiwit (DVE) en onbestendig eiwitbalans (OEB). DVE vertegenwoordigt de eiwitwaarde van een voedermiddel en OEB is het verschil tussen de potentiële microbiële eiwitsynthese op basis van beschikbaar onbestendig eiwit (ORE) en de potentiële microbiële eiwitsynthese op basis van beschikbare onbestendige energie.

DVE (eiwit dat de dunne darm bereikt en aldaar verteerd wordt) kan worden onderscheiden in drie fracties:

- Voereiwit dat niet wordt afgebroken in de pens, maar wel wordt verteerd in de dunne darm (DVBE)
- Microbieel eiwit dat gevormd is in de pens en wordt verteerd in de dunne darm (DVME)
- Endogeen eiwit (DVMFE).

Endogeen eiwit bestaat voornamelijk uit verteringsenzymen, afgestoten epitheelcellen en mucus. Dit eiwit is afkomstig van het dier zelf en maakt geen deel uit van het eiwit in een voedermiddel en evenmin van het microbiële eiwit. Een deel van het endogene eiwit wordt niet verteerd, maar verdwijnt met de feces en is dus een echte verliespost voor het dier. Om te compenseren voor dit onvermijdelijke eiwitverlies moet niet alleen het verloren eiwit zelf worden aangevuld, maar ook een extra hoeveelheid eiwit, die nodig is voor de synthese van het uitgescheiden eiwit. Omdat het dier er niet van profiteert, wordt het DVMFE toch afgetrokken van de DVE-inhoud van een voedermiddel. De DVE-waarde van een voedermiddel wordt dus als volgt weergegeven:

$$DVE = DVBE + DVME - DVMFE$$

[vgl. 7]

In het Franse PDI-systeem (Vérité en Peyraud, 1989) en het Britse FiM-systeem (Thomas, 2004) wordt de eiwitwaarde berekend op basis van de laagst mogelijke microbiële eiwitsynthese (gebaseerd op de beschikbare hoeveelheid ORE of op de beschikbare hoeveelheid onbestendige energie in het voedermiddel (PDI) of het rantsoen (FiM)). In het DVE-systeem heeft elk voedermiddel maar één eiwitwaarde voor DVME, die gebaseerd is op onbestendige energie. Het opnemen van grasproducten in melkveerantsoenen in Nederland veroorzaakt meestal een overschot aan ORE. Het verschil tussen microbieel eiwit gesynthetiseerd op basis van pens-beschikbaar ORE (MREN) en microbieel eiwit gesynthetiseerd op basis van pens-beschikbare energie (MREE) wordt weergegeven als OEB (Onbestendig Eiwit Balans). Deze parameter geeft een directe indicatie van de mate van eiwitverlies uit de pens. Om te voorkomen dat ORE beperkend wordt voor microbiële eiwitsynthese dient de OEB niet negatief te zijn.

In de volgende paragrafen wordt geschetst hoe de verschillende componenten in het DVE-systeem berekend moeten worden.

## **3.2 DVE afkomstig van darmverteerbaar bestendig voereiwit (DVBE)**

### **3.2.1 Bestendig voereiwit (BRE)**

De hoeveelheid darmverteerbaar pensbestendig voereiwit (DVBE) is afkomstig van het ruw eiwit (RE) in het voer, vermenigvuldigd met het percentage pensbestendig voereiwit (%BRE), het percentage aminozuren (AZ) in BRE en de werkelijke absorptiecoëfficiënt van uit de darm geabsorbeerde AZ.

Het %BRE is gebaseerd op de resultaten van nylon zakjes incubaties in de pens, zoals beschreven in vergelijking 2 en Tabel 1. In het DVE/OEB1991-systeem (Tamminga et al., 1994) werd bij de berekening van DVBE het BRE gecorrigeerd met een factor 1,11, afgeleid uit het PDI-systeem (Verité et al., 1987). Deze correctiefactor wijkt duidelijk af van 1, maar is gebaseerd op een dataset van proeven met rundvee (melkvee en vleesvee) en schapen. Als de dataset werd beperkt tot proeven met melkvee, kon geen correctiefactor worden vastgesteld (Van Straalen, niet gepubliceerd).

In het DVE/OEB2007-systeem wordt de W-fractie van het RE opgesplitst in S en (W-S). Van de S-fractie zal 5% ontsnappen aan afbraak in de pens en ook van de (W-S)-fractie zal een belangrijk deel ontsnappen. Aangenomen wordt dat deze twee compenseren voor de factor 1,11; daarom wordt de correctiefactor in het DVE/OEB2007-systeem weggelaten.

### **3.2.2 Darmvertering van bestendig voereiwit (DVBE)**

De darmverteerbaarheid van BRE is afgeleid van de resultaten van de mobiele nylon zakjes techniek, zoals beschreven door Van Straalen (1995). Als er geen mobiele nylon zakjes gegevens beschikbaar zijn, kan de darmvertering van BRE worden berekend uit resultaten van pensincubaties met nylon zakjes als  $(BRE - U)/BRE$ .

Net als in het DVE/OEB1991-systeem wordt aangenomen dat BRE voor 100% uit aminozuren bestaat. Hoewel dit waarschijnlijk niet geheel correct is, is bekend dat AZ-N een hogere darmverteerbaarheid heeft dan niet-AZ-N (Oldham en Tamminga, 1980). Daarom komt de hoeveelheid DVBE overeen met de hoeveelheid darmverteerde AZ.

Waarden voor %DVBE kunnen worden gevonden in de CVB-tabel (zie ook Hoofdstuk 5). Men zou kunnen tegenwerpen dat de 5% van de S-fractie die ontsnapt aan afbraak in de pens een darmverteerbaarheid moet hebben van 100%. Vanwege de geringe grootte van deze fractie en de normaal gesproken hoge waarde voor DVBE (meestal > 0,80), wordt dit geringe verschil niet verdisconteerd.

In formule: 
$$DVBE = RE * \%BRE/100 * \% DVBE/100$$
 (vgl. 8)

In het FiM-systeem (Thomas, 2004) wordt aangenomen dat ruw eiwit dat deel uitmaakt van de AD-fractie (ADIN) niet verteerbaar is en dat de verteringscoëfficiënt van de rest van het eiwit 0,9 is. In het CNCPS-systeem (Fox et al., 2004) wordt ook aangenomen dat ADIN niet beschikbaar komt en dat het voereiwit in de in dat systeem onderscheiden fracties B1, B2 en B3 een darmverteerbaarheid heeft van respectievelijk 100, 100 en 80%.

## **3.3 DVE afkomstig van microbiële groei en eiwitsynthese (DVME)**

### **3.3.1 Inleiding**

Voor microbiële groei in de pens zijn nutriënten (precursors) nodig voor het maken van macromoleculen (eiwit, nucleïnezuren, koolhydraten, vetten) en het leveren van energie (ATP). Er bestaat ook een minimumbehoefte aan stikstof (N), zwavel (S) en fosfor (P), omdat deze elementen essentiële componenten zijn van eiwitten en nucleïnezuren (die gezamenlijk 62,5% uitmaken van de microbiële organische stof). Precursors en energie komen vrij bij de

anaërobe fermentatie van voercomponenten, met name koolhydraten en bronnen van N, S en P. In het DVE/OEB1991-systeem (CVB, 1991; Tamminga et al., 1994) werd aangenomen dat een vaste hoeveelheid van 150 g microbiëel ruw eiwit (MRE) wordt geproduceerd per kg voer-FOS. De laatste jaren is duidelijk geworden, dat de hoeveelheid ATP die uit een voerdmiddel kan worden vrijgemaakt verschilt tussen voercomponenten en dat de hoeveelheid microbiële biomassa die wordt gevormd verschilt tussen bacteriestammen en hun groeiomstandigheden (Russell en Strobel, 2005).

### 3.3.2 Fermenteerbare organische stof in de pens (FOSp)

In het DVE/OEB1991-systeem (CVB, 1991; Tamminga et al., 1994) werd de fermenteerbare organische stof (FOS) als volgt berekend:

$$\text{FOS} = \text{VOS} - \text{RVET} - \text{RE} * (\% \text{BRE} / 100) - \text{ZET} * (\% \text{BZET} / 100) - 0,50 * \text{FP} \quad [\text{vgl. 9}]$$

Waarin:

- VOS = (fecaal) Verteerbare Organische Stof ( $\text{g kg}^{-1}$  OS), afgeleid van verteringsstudies met schapen, gepubliceerd in de CVB Veevoedertabel (CVB, 2007)
- RVET = Ruw vet ( $\text{g kg}^{-1}$ ), waarvan wordt aangenomen dat het niet gefermenteerd wordt in de pens
- RE = Ruw eiwit ( $\text{g kg}^{-1}$ )
- %BRE = Percentage pensbestendig eiwit (% van RE), afgeleid van *in situ* metingen
- ZET = Zetmeel ( $\text{g kg}^{-1}$ )
- %BZET = Percentage bestendig zetmeel (% van ZET), afgeleid van *in situ* metingen, en voor ingrediënten van gepelleteerde krachtvoerders gecorrigeerd
- FP = Fermentatieproducten ( $\text{g kg}^{-1}$ ) in kuilvoerders. Aangenomen wordt dat FP (voornamelijk bestaande uit melkzuur en ethanol) nog 50% van het oorspronkelijke energieleverende vermogen bezitten. NB: het FiM-systeem (Thomas, 2004) gaat ervan uit dat FP geen energie (ATP) levert, terwijl CNCPS ook aanneemt dat 50% van het oorspronkelijke energieleverende vermogen nog aanwezig is in FP (Fox et al., 2004).

Tabel 7. Verdeling van FOSp in verschillende voerdmiddelen voor melkvee (Van Duinkerken et al., 2007)

	Fractie	Gras	Gras Silage	Maïs Silage	Gemengd KV
<b>N</b>		<b>3</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
FOSp (g/kg DS)	Totaal	517-523	381-499	327-394	406-567
NSP (g/kg FOSp)	W	47-61	0-75	27-81	50-170
NSP (g/kg FOSp)	D	511-547	488-656	347-551	296-406
SUIKERS (g/kg FOSp)	S	176-255	24-280	0	153-259
ZETMEEL (g/kg FOSp)	W	0	0	129-262	64-139
ZETMEEL (g/kg FOSp)	D	0	0	40-367	36-158
RE (g/kg FOSp)	S	0-80	73-301	0-86	15-51
RE (g/kg FOSp)	W-S	0-4	3-11	0-9	16-128
RE (g/kg FOSp)	D	144-189	22-120	1-58	68-223

In het DVE/OEB2007-systeem wordt een alternatieve benadering gebruikt. Voor alle voederingrediënten kan vergelijking 2 worden toegepast op elke component van de OS (NDF, RNSP, RE, ZET, SUI) en kan de FOSp worden berekend als de som van  $F_{\text{COMP}}$ . Fermenta-

tieproducten in ingekuilde voeders (FP) worden net zo behandeld als in het DVE/OEB1991-systeem (zie paragraaf 3.3.3).

De nieuwe aanpak vereist informatie over de verdeling van FOSp over de verschillende fracties. Tabel 7 geeft een overzicht van de FOSp-verdeling in vers gras, graskuil, maïskuil en gemengde krachtvoerders uit een aantal ruwvoer- en krachtvoermonsters die recent zijn geanalyseerd door Van Duinkerken et al. (2007).

### 3.3.3 Efficiëntie van microbiële groei en eiwitsynthese

Microbiële groei in de pens houdt met name de vorming in van de macromoleculen eiwit (41,7%), nucleïne-zuren (20,8%), koolhydraten (20%) en lipiden (17,5%). De behoeften voor microbiële groei vallen uiteen in de behoefte aan precursors en de behoefte aan energie (ATP) voor enerzijds onderhoud en anderzijds voor het koppelen van de precursors tot polymeren. Precursors en ATP worden verkregen uit de microbiële afbraak van voersubstraat in de pens.

De ATP-opbrengst varieert tussen 1,5 en 4,4 mmol ATP mmol<sup>-1</sup> substraat (Russell en Strobel, 2005). De hoogste opbrengst wordt verkregen uit gefermenteerde polysachariden, die 6,2 mol hexose-equivalenten per kg bevatten, en daarmee 27,3 mol ATP per kg leveren. In onze benadering worden substraten opgesplitst in structurele polysachariden (NSP=NDF+RNSP), niet-structurele polysachariden (zetmeel), suikers (mono- en di-sachariden), oligosachariden en eiwit met veronderstelde ATP-opbrengsten van respectievelijk 27,3, 27,3, 23,9, 23,9 en 13,7 mol per kg substraat.

De waarde 27,3 is gelijk aan de waarde in het FiM-systeem (Thomas, 2004) en vertegenwoordigt een opbrengst van 4,4 mol ATP mol<sup>-1</sup> polysachariden, ongeacht of ze structureel (de D-fractie van NDF en RNSP) of niet-structureel (ZET) zijn. Fermentatie van eiwit levert aanzienlijk minder ATP dan fermentatie van koolhydraten (Russell en Strobel, 2005) en wordt gesteld op de helft van de waarde voor polysachariden. Een soortgelijke benadering wordt toegepast in het FiM-systeem (Thomas, 2004), waarbij 24,8 mol ATP kg<sup>-1</sup> RE wordt afgetrokken. Mono- en disachariden (S-fractie SUI) bevatten vanwege hun geringe(re) ketenlengte minder moleculen per gewichtseenheid. Vanwege hun hoge afbraaksnelheid kunnen ze ook wat minder ATP leveren. Beide aspecten combinerend wordt hun ATP-opbrengst daarom (pragmatisch) gesteld op 23,9 mol kg<sup>-1</sup> monosachariden (het bruto SUI gehalte wordt in de CVB tabellen altijd weergegeven als hoeveelheid glucose-equivalenten).

Voor de W-fractie van RNSP wordt eveneens een opbrengst van 23,9 mol ATP kg<sup>-1</sup> aangehouden. Dit omdat de fractie niet goed gedefinieerd is en alle analysefouten (waar onder ook die van de bepaling van W-fracties) erin cumuleren. Daarom is besloten de ATP opbrengst van deze fractie aan de voorzichtige kant in te schatten.

De microbiële groei-opbrengst wordt meestal uitgedrukt als  $Y_{ATP}$  of g microbiële cellen mol<sup>-1</sup> ATP; het maximum wordt verondersteld 32 te zijn (Russell en Strobel, 2005). Vanwege de energiebehoefte voor onderhoud wordt dit maximum in de praktijk niet bereikt; de werkelijke microbiële groei-opbrengst kan worden beschreven met de formule van Pirt (1965):

$$1/Y = M/GR + 1/Y_{max}$$

of:  $Y = Y_{max}/(M/GR \cdot Y_{max} + 1)$

Waarin:

Y	=	Opbrengst aan microbiële droge stof (in g per mol ATP)
M	=	Onderhoudsbehoefte van de microben (mol ATP * h <sup>-1</sup> per g microbiel materiaal)
GR	=	Fractionele groeisnelheid (h <sup>-1</sup> )
Y <sub>max</sub>	=	Maximum microbiële groei-opbrengst zonder verliezen in onderhoud (g per mol ATP)

De microbiële populatie in de pens omvat tenminste drie nogal verschillende sub-populaties: celwandafbrekende bacteriën, zetmeelafbrekende bacteriën en protozoa. De protozoa funge-

ren als predatoren ten opzichte van de bacteriën en daarnaast slaan ze zetmeeldeeltjes tijdelijk op. Hierdoor voorkómen de protozoa een te snelle omzetting van zetmeel in VVZ, en daarmee een te snelle pH-daling in de pens. Er wordt aangenomen dat de protozoa selectief in de pens worden vastgehouden en als aparte groep niet wezenlijk bijdragen aan de uitstroom van microbieel eiwit naar de darm. Dit omdat bepalingmethoden voor bacteriën gebaseerd zijn op merkstoffen ( $^{15}\text{N}$ , DAPA of nucleïne-zuren), waarmee ook protozoën worden besmet. Het apart in rekening brengen van protozoën zou derhalve in de darm tot een dubbeltelling leiden. Ter vereenvoudiging wordt aangenomen dat de D-fractie wordt gefermenteerd door 'Particle Associated Bacteria' (PAB) en dat de S- en de W-fracties worden afgebroken door 'Liquid Associated Bacteria' (LAB). De PAB en LAB hebben een veronderstelde onderhoudsbehoefte van respectievelijk 0,05 en 0,15 g koolhydraten  $\text{g}^{-1}$  bacteriën  $\text{h}^{-1}$  (Fox et al., 2004), equivalent met 1,365 en 4,095 mmol ATP per g bacteriën  $\text{h}^{-1}$ . Opgemerkt wordt dat deze waarden zijn gebaseerd op gegevens van slechts vijf bacteriesoorten, waarbij de substraatvoorkeur meer aandacht kreeg dan het vrij of deeltjes-gebonden zijn van de bacteriën (Russell en Baldwin, 1979).

Uit de formule van Pirt (1965) wordt ook duidelijk dat de fractionele groeisnelheid (GR) van microben vooral wordt bepaald door de fractionele uitstroomsnelheid uit de pens. Dit betekent dat de uitstroomsnelheid uit de pens bepaalt welk deel van de beschikbare ATP verloren gaat in onderhoud. Precursors voor de vorming van macromoleculen in de microbiële massa worden geacht beschikbaar te komen uit de pool van intermediaire producten van de voerafbraak. Het accepteren van deze benadering betekent dat de variatie in eiwitopbrengst wordt bepaald door variatie in het type substraat (ATP-opbrengst), variatie in uitstroomsnelheid (onderhoud) en het onderscheid tussen PAB en LAB (onderhoud).

Tabel 8 geeft de afbraak- en uitstroomsnelheden van de voercomponenten in FO Sp (de oplosbare (S), uitwasbare (W) en niet-uitwasbare (D) fracties)) aan de ene kant en tussen PAB en LAB aan de andere kant. In de tabel is FO Sp opgesplitst in fracties die hetzij aan LAB, hetzij aan PAB worden toegeschreven. De werkelijke  $Y_{\text{ATP}}$  wordt berekend door de ATP-opbrengst van elke component en de fractionele passagesnelheid (die de bacteriële onderhoudsbehoefte bepaalt) in rekening te brengen, waarbij een maximum opbrengst ( $Y_{\text{max}}$ ) van 0,032 g droge bacteriële biomassa per mmol ATP wordt aangenomen. Hieruit wordt de opbrengst aan microbiële biomassa (g droge bacteriële biomassa per kg substraat) per component en per fractie berekend. De bacteriële biomassa wordt verondersteld 62,5% bacterieel ruw eiwit (MRE) te bevatten. Tenslotte wordt, net als in het CNCPS-systeem (Fox et al., 2004), een correctiefactor van 0,20 toegepast, om het opvreten van bacteriën door protozoa te verdisconteren.

Protozoa groeien langzaam en voeden zich met bacteriën. Dit leidt tot een reductie van de netto productie van bacteriën. Men zou mogen veronderstellen dat protozoa een voorkeur hebben voor LAB, maar omdat PAB veel langer in de pens verblijven resulteert dit netto waarschijnlijk in de consumptie van ongeveer evenveel LAB als PAB.

De berekening van de efficiëntie volgens deze benadering verschilt fundamenteel van de berekening in het CNCPS, omdat in het CNCPS wordt aangenomen dat de efficiëntie gerelateerd is aan de fractionele afbraaksnelheid; CNCPS rekent dus met  $k_d$  in plaats van met  $k_p$  in de Pirt-formule. Extreem hoge of extreem lage  $k_d$  waarden geven biologisch onmogelijke uitkomsten, zoals eerder aangetoond (Dijkstra et al. 2002). Echter, de kans op ontsnappen uit de pens is groter voor oplosbare substraten en deeltjes met een grote dichtheid. Tevens neemt de dichtheid of het soortelijk gewicht van een deeltje sneller toe bij een hogere fractionele afbraaksnelheid. Dit betekent dat een positieve relatie mag worden verwacht tussen de fractionele snelheden van afbraak en uitstroom (Pellikaan, 2004).

Tabel 8. Verdeling van voercomponenten in FOSp over oplosbare (S), uitwasbare (W) en niet-uitwasbare (D) fracties en tussen Particle Associated (PAB) en Liquid Associated (LAB) bacteriën

	COMP	Type	ATP onderhoud	Uit- stroom	ATP- opbrengst	$Y_{ATP}$	Onder- houd	g bact	MRE	MRE per kg FOSp	
			$\text{mmol g}^{-1} \text{ bact h}^{-1}$	$\text{h}^{-1}$	$\text{mol. kg}^{-1}$	$\text{g. mol}^{-1}$	% ATP	$\text{g kg}^{-1} \text{ substraat}$			
			a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	
Ruwvoer NDF	D	PAB	1,365	0,020	27.3	10,1	68,5	275	172	138	
Krachtvoer NDF	D	PAB	1,365	0,027	27.3	12,3	61,4	337	211	168	
Ruwvoer RNSP	W	LAB	4,095	0,080	23.9	12,1	62,1	290	181	145	
	D	PAB	1,365	0,027	27.3	12,3	61,6	335	210	168	
Krachtvoer RNSP	W	LAB	4,095	0,080	23.9	12,1	62,1	290	181	145	
	D	PAB	1,365	0,029	27.3	12,8	59,9	350	219	175	
Ruwvoer SUI + GOS	S	LAB	4,095	0,110	23.9	14,6	54,4	349	218	174	
Krachtv. SUI + GOS	S	LAB	4,095	0,110	23.9	14,6	54,4	349	218	174	
FP	S	LAB	4,095	0,110	11.9	14,6	54,4	174	109	87	
Ruwvoer zetmeel	W	LAB	4,095	0,080	27.3	12,1	62,1	331	207	166	
	D	PAB	1,365	0,060	27.3	18,5	42,1	506	316	253	
Krachtv. zetmeel	W	LAB	4,095	0,080	27.3	12,1	62,1	331	207	166	
	D	PAB	1,365	0,060	27.3	18,5	42,1	506	316	253	
Ruwvoer eiwit	S	LAB	4,095	0,110	13.6	14,6	54,4	198	124	99	
Ruwvoer eiwit	W-S	LAB	4,095	0,080	13.6	12,1	62,1	165	103	82	
Ruwvoer eiwit	D	PAB	1,365	0,045	13.6	16,2	49,3	221	138	110	
Krachtvoer eiwit	S	LAB	4,095	0,110	13.6	14,6	54,4	198	124	99	
Krachtvoer eiwit	W-S	LAB	4,095	0,080	13.6	12,1	62,1	165	103	82	
Krachtvoer eiwit	D	PAB	1,365	0,060	13.6	18,5	42,1	251	157	126	

Verklaring per kolom: a): zie tekst (par. 3.3.3); b): zie Tabel 3; c): zie tekst (par. 3.3.3); d): berekend met de formule van Pirt met  $Y_{\max} = 0,032 \text{ g mmol}^{-1} \text{ ATP}$ ; e):  $(Y_{\max} - Y_{ATP}/Y_{\max}) * 100$  (met  $Y_{\max} = 32 \text{ g mol}^{-1} \text{ ATP}$ ); f):  $c * d$  (ATP-opbrengst \*  $Y_{ATP}$ ); g):  $f * 0,625$  (g bact/kg \* 0,625); h):  $g * 0,8$  (0,8 = correctie voor bacterie vreten door protozoa)



Het is dus mogelijk om de efficiëntie van microbiële groei te relateren aan de fractionele afbraaksnelheid, met inachtneming van het veronderstelde verschil in microbiële onderhoudsbehoefte tussen PAB en LAB. Dit is een praktische mogelijkheid, ondanks het feit dat deze benadering niet gebaseerd is op de juiste biologische principes (Dijkstra et al., 2002) en ondanks het feit dat de benadering niet ondersteund wordt door in vivo onderzoeksresultaten (Oba en Allen, 2003). Het FiM-systeem (Thomas, 2004) relateert de efficiëntie wel aan fractionele passage, maar gaat uit van een lineair verband tussen deze kenmerken, terwijl de Pirt-formule een curvilineair verband geeft.

Er zijn maar weinig gegevens beschikbaar over het effect van de koolhydraatbron op de efficiëntie van microbiële groei en eiwitsynthese (EMES). Het CNCPS-systeem gaat ervan uit dat EMES wordt beïnvloed door de afbraaksnelheid en het type koolhydraat en dat EMES varieert tussen 170 en 230 g MRE per kg FOSp. Volgens een literatuuroverzicht van Archimède et al. (1997) varieert EMES in gemengde rantsoenen tussen minder dan 90 en meer dan 200 g MRE per kg FOSp. De aard van de koolhydraten in het rantsoen had een duidelijk effect op deze waarde: zetmeelrijke rantsoenen geven een hoge EMES. De variatie in EMES is in elk geval gedeeltelijk te verklaren uit het verschil in ATP-opbrengst tussen verschillende koolhydraten, maar wordt ook bepaald door de afbraaksnelheid. Als zetmeel bijvoorbeeld snel wordt afgebroken, dan gebeurt dat via de zgn. "acrylaat route", die minder ATP oplevert dan de "succinaat route". Oba en Allen (2003) vergeleken het effect van koolhydraten met verschillende pensfermenteerbaarheid en fermentatiesnelheid *in vivo*. De efficiëntie nam significant af bij een toenemende fractionele zetmeelafbraaksnelheid en nam significant toe bij een snellere zetmeelpassage. Deze resultaten staan dus haaks op de aannames m.b.t. efficiëntie in het CNCPS-systeem.

In het DVE/OEB2007-systeem wordt aangenomen dat de variatie in uitstroomsnelheid meer afhangt van de fysische kenmerken van de substraatfracties (S, (W-S) en D met fractionele uitstroomsnelheden van 0,11 voor S, 0,08 h<sup>-1</sup> voor (W-S) en, afhankelijk van de component, tussen ca. 0,020 en 0,060 h<sup>-1</sup> voor D), dan van verschillen in droge stofopname (DSI). Bovendien wordt het onmogelijk om voedertabellen op te stellen als de nutriëntenvoorziening afhangt van het opnameniveau. Daarom is het beter om dergelijke effecten op te nemen in de behoeften, zoals in het VEM-systeem (Van Es, 1978) en het DVE/OEB1991-systeem (Subnel et al., 1994), ondanks het feit dat deze benadering vanuit biologisch oogpunt niet geheel correct is. Daarom maakt het DVE/OEB2007-systeem geen onderscheid tussen fractionele uitstroomsnelheden op basis van de DSI, zoals in het FiM-systeem (Thomas, 2004), maar op basis van het type substraat. Dit lijkt een werkbare benadering, die wel rekening houdt met verschillen in fractionele uitstroomsnelheid tussen fracties. Om praktische redenen worden de verschillen in efficiëntie van eiwitopbrengst toegeschreven aan substraten in plaats van aan fractionele uitstroomsnelheden.

### **3.3.4 Fermentatieproducten in ingekulde voeders**

In een aantal voedermiddelen (b.v. silages en vochtrijke bijproducten) is een deel van de koolhydraten al door bacteriën afgebroken tot fermentatieproducten (FP), voordat het voedermiddel door het dier wordt opgenomen. De aanwezigheid van FP is belangrijk, omdat melkzuur en ethanol energie bevatten die in de pens kan vrijkomen, en omdat de FP moeten worden afgetrokken voor een correcte berekening van de RNSP-fractie (zie paragraaf 3.3.4.1).

#### **3.3.4.1 Energie uit fermentatieproducten**

De belangrijkste fermentatieproducten (FP), vooral in kuilvoeders, zijn melkzuur (MZ) en ethanol (ALC), die geacht worden nog 50% van de pensbeschikbare energie (FOSp) te bevatten in vergelijking met de oorspronkelijke koolhydraten. De energetische bijdrage van VVZ (azijnzuur, propionzuur en boterzuur) aan FOSp is verwaarloosbaar klein.

De beste manier om rekening te houden met de bijdrage van FP aan FOSp is het analyseren van het gehalte aan individuele FP in een voermonster vóór drogen en (voor een correcte berekening van de RNSP-fractie) eveneens in het gedroogde monster. Dit is echter te bewerkelijk en te duur. Daarom worden tabelwaarden gebruikt voor de hoeveelheid MZ en ALC in vochtrijke diervoeders zoals bietenperspulp, aardappelpersvezels en dergelijke. De CVB Veevoedertabel geeft informatie over de gehalten aan (individuele) FP bepaald in het voerdmiddel vóór drogen, maar uitgedrukt als gehalte in het gedroogde materiaal, onder de aanname dat er geen vervluchtiging optreedt.

In het DVE/OEB1991-systeem (CVB, 1991) werden de formules in Tabel 9 gepresenteerd om het gehalte aan FP in gedroogde kuilvoermonsters te schatten.

*Tabel 9. Formules om fermentatieproducten (FP) te schatten*

Ruwvoer	Formule (g/kg DS)	Minimum waarde
Graskuil	$FP = -0,3 \times DS + 2 \times NH_3\text{-fractie} + 170$	15
Maïskuil	$FP = -0,4 \times DS + 210$	n.v.t.
Luzernesilage	$FP = -0,3 \times DS + 190$	15
Veldbonensilage	$FP = -0,3 \times DS + 190$	15

Omdat er hierover sinds 1991 geen nieuwe informatie beschikbaar is gekomen, worden bovengaande formules in het DVE/OEB2007-systeem gehandhaafd.

Om de bijdrage van MZ en ALC aan FOSp correct te kunnen berekenen moet het gehalte in het voerdmiddel zoals het aan het dier wordt aangeboden gebruikt worden, dus vóór drogen. Deze waarden kunnen rechtstreeks worden overgenomen van de product sheets voor voerdmiddelen waarvoor tabelwaarden worden gebruikt.

Als er alleen maar tabelwaarden voor FP als zodanig in gedroogd materiaal beschikbaar zijn, of als FP in het gedroogde materiaal is geschat met behulp van de formules in Tabel 9, dan wordt aangenomen dat FP de som is van alle fermentatieproducten die na drogen aanwezig zijn, waarvan een deel niet bijdraagt aan FOSp. Daarom, en vanwege de onnauwkeurigheid van de schattingen, moet in deze gevallen het vermelde FP-gehalte als zodanig worden gebruikt.

#### 3.3.4.2 Fermentatieproducten en berekening van RNSP

Om de RNSP-fractie in gedroogde monsters van vochtrijke bijproducten en kuilvoerders correct te berekenen moet de hoeveelheid FP die na drogen nog aanwezig is worden afgetrokken. Als er gegevens beschikbaar zijn over het FP-niveau in het verse materiaal, dan kunnen deze gegevens, tezamen met informatie over de mate van verdamping, worden gebruikt om RNSP te berekenen. Als de hoeveelheid FP in het gedroogde monster beschikbaar is (tabelwaarden of uit formules in Tabel 9) dan kunnen deze gegevens gebruikt worden.

Details over de berekening van RNSP worden gegeven in paragraaf 2.1.

Een nieuwe benadering om FP te bepalen is die waarbij gebruik wordt gemaakt van Nabij Infrarood Reflectie Spectroscopie (NIRS). Met behulp van een calibratieset (een dataset van monsters waarin MZ is bepaald in vers materiaal) kan de NIRS-apparatuur gecalibreerd worden en kan in gedroogde kuilvoermonsters het MZ-gehalte zoals aanwezig in het verse product geanalyseerd worden (vanwege de geringe vluchtigheid van melkzuur, vooral bij gematigde droogtemperaturen). Verder bleek dat er voor het merendeel van de kuilen een goede relatie was tussen het MZ en het (totale) FP-gehalte in de verse monsters. Dit betekent dat, na schatting van het MZ-gehalte in het verse monster met NIRS, ook het FP gehalte kan worden geschat.

### 3.3.5 Amino-zuren in microbiel eiwit in de pens

Net als in het DVE/OEB1991-systeem (CVB, 1991; Tamminga et al., 1994), wordt aangenomen dat 75% van het microbiële ruw eiwit aanwezig is in de vorm van amino-zuren, die met een efficiëntie van 85% uit de darm worden geabsorbeerd. Deze waarden komen overeen met die in het FiM-systeem (Thomas, 2004), maar wijken licht af van die in het PDI-systeem; het PDI-systeem gaat uit van 80% voor beide kenmerken (Vérité en Peyraud, 1989).

## 3.4 DVE-verliezen in endogeen fecaal eiwit (DVMFE)

Het verteringsproces gaat gepaard met endogene ruw eiwit-verliezen. Deze verliezen omvatten verteringsenzymen, gal, afgestoten epitheelcellen en mucus. Ondanks het feit dat de verliezen afkomstig zijn van het dier, worden ze toch geacht meer beïnvloed te worden door voereigenschappen dan door diereigenschappen. In het DVE/OEB1991-systeem werd aangenomen, dat elke kg onverteerbare droge stof (ODS) die wordt uitgescheiden met de feces, een eiwitverlies van 8 g N veroorzaakt, equivalent aan 50 g ruw eiwit. Dit is de laatste jaren uitgebreid onderzocht (Van Gestel et al., 2004) en er blijkt geen aanleiding te zijn om deze benadering te verlaten. Verder wordt aangenomen, dat de hersynthese van fecaal uitgescheiden endogeen eiwit geschiedt met een efficiëntie van 67%. Het vervangen van het endogene eiwit dat met de feces verloren gaat vereist dus 75 g DVE per kg fecale DS. Het wordt correct geacht om dit verlies toe te schrijven aan het voedermiddel zelf, in plaats van het op te nemen in de behoeften. Deze benadering vereist dus een schatting van de hoeveelheid droge stof die per voedermiddel verloren gaat in de feces.

$$\text{ODS} = \text{DS} - \text{VOS} - \text{VRAS}$$

ODS kan worden onderscheiden in onverteerbare OS en onverteerbare anorganische stof, ofwel ruw as (RAS). Een schatting van de organische stof (OS) die in de feces wordt uitgescheiden kan worden afgeleid van de verteerde organische componenten. De verteerbaarheid van de RAS wordt vervolgens berekend uit:

$$\text{VRAS} = \% \text{VRAS}/100 \times \text{RAS} \quad [\text{vgl. 10}]$$

Uit een vergelijking van het asgehalte berekend op basis van de som van de oxiden en het geanalyseerde asgehalte bleek een goede overeenkomst te bestaan voor een brede range aan voedermiddelen. Vervolgens wordt aangenomen, dat Na, K en Cl een verteerbaarheid hebben van 100% en dat Ca, Mg en P voor 50% verteerbaar zijn. Op basis van de samenstelling van hun RAS fractie werden voedermiddelen verdeeld in drie groepen met een RAS verteerbaarheid van 35, 50 of 65%, met voor elk voedermiddel een maximum gebaseerd op:

$$\text{VRAS}_{\text{max}} = \% \text{VRAS}/100 \times (\text{RAS}_{\text{gemiddeld}} + 10) \quad [\text{vgl. 11}]$$

Waarin  $\text{RAS}_{\text{gemiddeld}}$  het gemiddelde asgehalte (tabelwaarde) is.

Hieruit volgt dat (alle waarden in g.  $\text{kg}^{-1}$ ):

$$\text{DVMFE} = 0,075 \times (\text{DS} - \text{VOS} - \text{VRAS}), \quad [\text{vgl. 12}]$$

## 3.5 Vergelijking van DVE/OEB1991 en DVE/OEB2007

De systemen DVE/OEB 1991 en DVE/OEB 2007 zijn met elkaar vergeleken. Hiervoor waren beschikbaar een set met 56 krachtvoeringrediënten waarvan *in situ* gegevens beschikbaar waren.

Daarnaast waren er datasets van vers gras (120), graskuil (102), grashooi (14) en snijmaiskuil (78). Uit de beschikbare gegevens van de ruwvoerders werden per ruwvoeder regressie formules afgeleid voor het schatten van de fracties W en U en de kd voor RE, ZET (alleen snijmais), NDF en RNSP. Op basis van door het Blgg in Oosterbeek aangeleverde datasets van 500 graskuilen en 500 snijmaiskuilen en door ASG te Lelystad aangeleverde dataset met 65 monsters vers gras zijn op basis van de regressieformules de voor het berekenen van de DVE benodigde kengetallen geschat en daaruit de volgens de rekenregels uit 1991 en die uit 2007 waarden voor FOS, MRE (g/kg FOSp) BZET, BVBE en DVE berekend. De resultaten staan in Tabel 10.

Tabel 10. *Vergelijking tussen DVE/OEB1991 en DVE/OEB2007*

	Krachtvoeringrediënten (N=56)		Snijmaiskuil (N=515)	
	DVE/OEB1991	DVE/OEB2007	DVE/OEB1991	DVE/OEB2007
FOSp (g/kg DS) <sup>1</sup>	611	559	508	533
BZET (g/kg DS)	85,3	86,5	114,3	92,9
DVBE (g/kg DS)	89,0	88,3	19,2	16,9
MRE (g/kg FOSp)	150	168	150	151
DVME (g/kg DS)	58,4	59,7	48,7	51,2
DVE (g/kg DS)	132	133	48,1	48,4
OEB (g/kg DS)	28,2	23,4	-30,6	-31,2
	Vers gras (N=65)		Graskuil (N=500)	
	DVE/OEB1991	DVE/OEB2007	DVE/OEB1991	DVE/OEB2007
FOSp (g/kg DS) <sup>1</sup>	592	538	592	567
BZET (g/kg DS)	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.
DVBE (g/kg DS)	52,0	49,4	37,2	34,8
MRE (g/kg FOSp)	150	143	150	
DVME (g/kg DS)	56,6	49,2	56,6	47,9
DVE (g/kg DS)	90,5	80,5	75,3	64,4
OEB (g/kg DS)	27,2	40,6	27,6	43,6

Uit de resultaten blijkt dat de DVE waarde van krachtvoergrondstoffen gemiddeld nauwelijks verandert. Wel neemt de FOS met 9% af, maar dit wordt gecompenseerd door een hogere MRE. Ook bij snijmaiskuil blijft de DVE waarde nagenoeg gelijk. De lichte teruggang van DVBE wordt gecompenseerd door een iets hogere MRE. Bij vers gras neemt de DVE met gemiddeld 11% af, vooral als gevolg van een lagere FOS in combinatie met een lagere MRE. Bij graskuil neemt de DVE zelfs met bijna 15% af, zowel als gevolg van een lagere DVBE als een lagere DVME.

## 4 De onbestendig eiwitbalans en synchronisatie van pensfermentatie

### 4.1 Onbestendig eiwitbalans

De onbestendig eiwitbalans (OEB) wordt gedefinieerd als het verschil tussen de hoeveelheid microbieel eiwit op basis van pensbeschikbare energie (MREE) en de hoeveelheid microbieel eiwit op basis van pensbeschikbare stikstof (MREN). In het DVE/OEB1991-systeem (CVB, 1991; Tamminga et al., 1994) werd gesteld dat de OEB van een melkveerantsoen niet onder nul mag komen. Later onderzoek (Meijer et al., 1996) gaf aan dat dit in de praktijk bij een koppelbenadering zou kunnen leiden tot een N-deficiëntie op pensniveau voor individuele koeien onder bepaalde omstandigheden, ten gevolge van verschillen in voeropname en voeropnamepatronen tussen koeien. Daarom werd een veiligheidsmarge van ten minste 150 gram onbestendig eiwit aanbevolen. De resultaten van een studie naar het effect van OEB op voeropname of melkgift door Van Vuuren en Tamminga (2001) wijzen erop, dat een minimale eis van een OEB>0 niet nodig is. Zij berekenden dat de recycling van ureum bij een volwassen koe tussen 175 en 280 g ORE per dag levert, wat voldoende wordt geacht als veiligheidsmarge. De auteurs benadrukken evenwel, dat veehouders in de praktijk een negatieve OEB te allen tijde dienen te vermijden. Dit advies blijft gehandhaafd.

### 4.2 Synchronisatie van pensfermentatie

Het formuleren van rantsoenen ten behoeve van een gesynchroniseerde pensfermentatie kan verschillende doelen dienen. Berekening van de dagelijkse balans tussen eiwit- en energievoorziening voor de pensmicroben kan mogelijke tekorten aan eiwit aan het licht brengen, die leiden tot verminderde microbiële groei. Ook kunnen mogelijke overschotten aan eiwit worden vastgesteld, hetgeen leidt tot de vorming van ammoniak, wat vervolgens als ureum wordt uitgescheiden met de urine. Een gesynchroniseerde toevoer van energie en stikstof is gericht op handhaving van een evenwicht over een kortere tijdsperiode (b.v. op uurbasis) en geeft inzicht in een mogelijke onevenwichtige eiwit- en energievoorziening op korte termijn. Het belangrijkste doel van penssynchronisatie is echter waarschijnlijk het voorkómen van een pH-daling in de pens tot een waarde waaronder de microbiële activiteit en de voeropname verstoord worden (Dijkstra et al., 2002; Russell en Strobel, 2005). Een bijkomend voordeel kan zijn, dat de nutriënten die de microben nodig hebben op het juiste moment beschikbaar komen, waardoor energieverstopping wordt voorkomen. Een gebalanceerde pensfermentatie kan worden bereikt door het voeren van een volledig gemengd rantsoen (totally mixed ration, TMR), door frequent verstrekken van krachtvoerders met behulp van een krachtvoercomputer of door het voer te formuleren op basis van het afbraak- en passagegedrag (Cone et al., 2003).

Voor elke component van het rantsoen (Tabel 5) kan de cumulatieve hoeveelheid die beschikbaar komt in de pens ( $FOSp_t$ ) worden berekend voor elke tijdsperiode, volgens formule 13:

$$FOSp_t = kd/(kp+kd) * COMP * (1 - e^{-(kp+kd)*t}) \quad [vgl. 13]$$

Vervolgens kan een synchroniteitsratio (SR) worden berekend als de ratio tussen onbestendig eiwit (ORE) en onbestendige niet-eiwitcomponenten (PKH). Deze benadering werd toegepast op de data in Tabel 8 en de resultaten staan vermeld in Tabel 11.

De resultaten in Tabel 11 stelden ons in staat om enige indexen en ratio's te berekenen.

In de eerste plaats geeft een Rate index (% FOSp per gedefinieerde periode) informatie over de hoeveelheid substraat die beschikbaar is in gedefinieerde periodes na opname van het voer, als percentage van het gekozen eindpunt. Ook kunnen synchroniteitsratio's worden berekend, waarbij de hoeveelheid ORE wordt uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid PKH in verschillende periodes. Ten slotte kan de onbestendig eiwitbalans (OEB) worden berekend als het verschil tussen afgebroken eiwit en microbiële eiwitsynthese in een bepaalde tijdsperiode.

Tabel 11. Synchroniteitsratio's van een standaardvoer (Tamminga et al., 2004)

Component		Fractie	Kd	Kp	0-1	0-3	0-6	0-12	0-24	0-∞
Ruwvoer NDF	W	0,010	0,035	0,080	0,000	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003
Ruwvoer NDF	D	0,320	0,035	0,020	0,011	0,031	0,057	0,098	0,149	0,203
Krachtvoer NDF	W	0,015	0,050	0,080	0,001	0,002	0,003	0,005	0,006	0,006
Krachtvoer NDF	D	0,050	0,050	0,027	0,002	0,007	0,012	0,020	0,027	0,032
Ruwvoer RNSP	W	0,030	0,188	0,080	0,005	0,012	0,017	0,020	0,021	0,021
Ruwvoer RNSP	D	0,075	0,075	0,027	0,005	0,015	0,025	0,039	0,050	0,055
Krachtvoer RNSP	W	0,005	0,150	0,080	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
Krachtvoer RNSP	D	0,020	0,060	0,029	0,001	0,003	0,006	0,009	0,012	0,013
Ruwvoer suikers	S	0,070	2,000	0,110	0,058	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
Krachtvoer suikers	S	0,030	2,000	0,110	0,025	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
Fermentatieproducten	FP	0,030	2,000	0,110	0,025	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
Ruwvoer zetmeel	W	0,050	0,525	0,080	0,020	0,036	0,042	0,043	0,043	0,043
Ruwvoer zetmeel	D	0,010	0,075	0,045	0,001	0,002	0,003	0,005	0,006	0,006
Krachtvoer zetmeel	W	0,050	0,695	0,080	0,024	0,040	0,044	0,045	0,045	0,045
Krachtvoer zetmeel	D	0,030	0,160	0,060	0,004	0,011	0,016	0,020	0,022	0,022
Ruwvoer eiwit	S	0,020	2,000	0,110	0,017	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
Ruwvoer eiwit	W-S	0,040	0,050	0,080	0,002	0,005	0,008	0,012	0,015	0,015
Ruwvoer eiwit	D	0,035	0,050	0,045	0,002	0,005	0,008	0,013	0,017	0,018
Krachtvoer eiwit	S	0,025	2,000	0,110	0,021	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
Krachtvoer eiwit	W-S	0,035	0,050	0,080	0,002	0,004	0,007	0,011	0,013	0,013
Krachtvoer eiwit	D	0,050	0,050	0,060	0,002	0,006	0,011	0,017	0,021	0,023
Totaal FOSp		1,000			0,229	0,346	0,430	0,527	0,618	0,689
	Periode				0-1	0-3	0-6	0-12	0-24	0-∞
Snelheidsindex (% van t = ∞)					33,2	50,3	62,4	76,4	89,7	100,0
Synchroniteitsratio 1			ORE/PKH		0,245	0,222	0,219	0,219	0,211	0,195
	Periode				0-1	2-3	3-6	6-12	12-24	24-∞
Synchroniteitsratio 2			ORE/PKH		0,245	0,178	0,208	0,219	0,170	0,072

Gebaseerd op de gemiddelde waarden uit Tabel 7 en 8 werden verschillende rantsoenen samengesteld. Rantsoen 1 is een gemiddeld Nederlands melkveerantsoen uitgaande van de Nederlandse mestwetgeving (Tamminga et al., 2004). Het rantsoen wordt verstrekt als TMR en bevat vers gras (22,3%), graskuil (33,3%), maïskuil (18,5%) en krachtvoer (25,9%). Rantsoen 2 bestaat volledig uit vers gras, en de rantsoenen 3 en 4 zijn winterrantsoenen bestaande uit 50% krachtvoer en graskuil (rantsoen 3) of maïskuil (rantsoen 4) als enige ruwvoerbron. In Tabel 12 staan de Snelheidsindexen, de synchroniteitsratio's en OEB gegeven. Volgens tabel 13 varieert de microbiële eiwitproductie voor diverse rantsoenen tussen 142,6 en 154,9 g/kg FOSp. Om een OEB = 0 te bereiken moet de ORE/PKH ratio dan variëren tussen 0,166 en 0,183 (MRE/kg FOSp/(1000-MRE/kg FOSp)) om een OEB = 0 (nul) te bereiken. De resultaten laten zien, dat bij alle rantsoenen de aanbevolen ratio wordt overschreden, met name kort na de voeropname. De resultaten tonen ook aan, dat de OEB normaal gesproken niet negatief wordt gedurende de eerste 12 uur na voeropname. Wel moet worden opgemerkt, dat de synchroniteitsratio's (SR) geen rekening houden met bufferende mechanismen in de pens, zoals de N-voorziening via ureum-hergebruik of de verminderde zet-

meelafbraaksnelheid als zetmeel wordt opgenomen en tijdelijk opgeslagen door protozoa. De SR wordt bovendien berekend voor het voer dat de pens binnenkomt gedurende een maaltijd; er wordt daarbij aangenomen dat er geen voer van eerdere voerbeurten aanwezig is, dat de ratio zou kunnen beïnvloeden. Ten slotte hebben de SR's na een periode van ongeveer 6-12 uur nauwelijks praktische relevantie, aangezien melkkoeien meestal ruim binnen die tijd een volgende maaltijd opnemen. De cumulatieve OEB (berekend over de periode nul tot oneindig) is vergelijkbaar met de huidige OEB waarde en geeft per voer de onbestendig eiwitbalans onder de aannames zoals beschreven in Tabel 7 en 8.

Tabel 12. Afbraak(snelheid), synchroniteitsratio's (SR) en Onbestendig eiwitbalans (OEB) van verschillende rantsoenen voor melkkoeien

Rantsoen	Kenmerk	Periode (h)						
		1	2	3	6	12	24	∞
TMR vlg. Tamminga et al (2004)	Snelheid	33.2	43.9	50.3	62.4	76.4	89.7	100
	SR-1	0,245	0,229	0,222	0,219	0,219	0,211	0,195
	SR-2	0,245	0,180	0,178	0,208	0,219	0,170	0,072
	OEB <sub>t0-tx</sub> <sup>a</sup>	11,3	11,2	10,9	12,4	15,3	15,2	9,6
Vers gras alleen	Snelheid	27.7	36.8	43.0	57.2	74.9	90.6	100
	SR-1	0,360	0,386	0,402	0,419	0,408	0,371	0,335
	SR-2	0,360	0,470	0,486	0,473	0,371	0,220	0,067
	OEB <sub>t0-tx</sub> <sup>a</sup>	22,8	34,5	43,5	62,4	79,4	83,7	78,1
Graskuil + 50 % mengvoer	Snelheid	27.8	38.6	45.8	60.5	76.7	90.2	100
	SR-1	0,261	0,280	0,294	0,312	0,306	0,276	0,246
	SR-2	0,261	0,332	0,349	0,372	0,281	0,088	0,002
	OEB <sub>t0-tx</sub> <sup>a</sup>	11,9	19,4	25,6	38,1	46,0	42,8	34,0
Maïskuil + 50 % mengvoer	Snelheid	37.3	50.6	58.2	71.1	83.0	92.3	100
	SR-1	0,182	0,189	0,199	0,220	0,229	0,218	0,200
	SR-2	0,182	0,212	0,231	0,323	0,288	0,082	0,001
	OEB <sub>t0-tx</sub> <sup>a</sup>	1,3	2,9	5,6	13,5	19,0	16,2	8,7

<sup>a</sup>: In OEB<sub>t0-tx</sub> is tx het uur aangegeven in de kop van de tabel.

De ratio's of indexen in Tabel 12 kunnen gedurende bepaalde periodes, bij voorbeeld de eerste 2 uur na voeren, kritiek worden, zoals uitgelegd in Tabel 13.

Tabel 13. Synchroniteitskarakteristieken van verschillende rantsoenen

Rantsoen	FOSp	Efficiëntie kg <sup>-1</sup> FOSp	Synchronisatieratio (SR-1) (ORE/PKH)			Onbestendig Eiwitbalans (OEB)		
			Tot.	0 - 2 h	> 2 h	Tot.	0 - 2 h	> 2 h
TMR vlg. Tamminga et al (2004)	654	149,4	0,195	0,229	0,171	9,6	11,2	-1,5
Vers gras alleen	676	142,6	0,335	0,386	0,307	78,1	34,5	43,5
50% graskuil + 50% mengvoer	676	149,6	0,246	0,280	0,226	34,0	19,4	14,6
50% maïskuil + 50% mengvoer	697	154,9	0,200	0,189	0,211	8,7	2,9	5,8

Om inzicht te geven in het op korte termijn beschikbaar komen van N uit onbestendig voer-eiwit enerzijds en energie uit gefermenteerde organische componenten anderzijds zal in de CVB tabellen als kengetal OEB-2 worden opgenomen, waarbij '2' staat voor t0 – t2 uur.

Zoals reeds in paragraaf 4.1 is aangegeven, kan met vgl. 13 voor elk gewenst moment de mate van fermentatie van een component worden berekend. Om inzicht te geven in de snelheid waarmee de OS wordt gefermenteerd, zal in de CVB tabellen als kengetal FOSp-2 wor-

den opgenomen. Dit kengetal geeft de hoeveelheid FOS die uit alle fermenteerbare fracties gedurende de eerste twee uur in de pens wordt afgebroken.



## 5 Waardering van voedermiddelen in het DVE/OEB-2007 systeem

Om tot een praktisch toepasbaar systeem te komen, dienen de individuele voedermiddelen te worden gewaardeerd overeenkomstig de principes van het systeem.

In Tabel 3 (zie Hoofdstuk 2) is een overzicht gegeven van de voercomponenten en de parameterwaarden zoals die binnen het DVE/OEB-2007 systeem worden onderscheiden.

Voor een aantal parameterwaarden zijn gegevens van nylon zakjes incubaties noodzakelijk.

Ten behoeve van een optimale voederwaardering dient, waar mogelijk, de variatie die er wordt gevonden tussen in situ incubaties van verschillende monsters van eenzelfde voedermiddel (of groep van nauw verwante voedermiddelen) te worden gerelateerd aan (variaties in) chemische en (eventueel) fysische eigenschappen van het voedermiddel. Dit bleek slechts in een beperkt aantal gevallen mogelijk.

Voor een aantal (voor melkvee kwantitatief minder belangrijke) voedermiddelen moest de waardering worden gebaseerd op een inschatting door experts, die het betreffende voedermiddel daartoe hebben vergeleken met verwante voedermiddelen.

De waarderingen van de individuele voedermiddelen zijn niet in deze publicatie opgenomen. Ze worden, zowel voor mengvoedergrondstoffen, vochtrijke diervoeders als ruwvoeders gepubliceerd in een aparte publicatie als voorlopige waardering (CVB, 2007a). In deze publicatie zullen voor de gemiddelde samenstellingen van een voedermiddel, of de daarbij te onderscheiden kwaliteiten als kengetallen worden gepubliceerd: FOSp, FOSp<sub>10-2</sub>, de ratio FOS<sub>10-2</sub>/FOSpOEB, OEB<sub>10-2</sub> DVE, DVMET en DVLYS.

In september 2007 worden de voorlopige waarderingen eventueel bijgesteld en vervolgens gepubliceerd in definitieve publicaties (t.w. een tweetalige voederwaardetabel voor herkauwers, alsook in de Veevoedertabel, editie 2007 en de Handleiding Voederwaarde-berekening Ruwvoeders, editie 2007). Naast de bovengenoemde kengetallen zullen in de Veevoedertabel en de Handleiding Voederwaardeberekening Ruwvoeders als relevante 'tussenliggende' waarden worden tevens de gehalten aan DVBE, DVME, DVMFE en BZET gepubliceerd.

CVB verwerkt de parameterwaarden van het DVE/OEB-2007 systeem voor de afzonderlijke voedermiddelen ook in de (in april 2007 te introduceren) basisversie van een 'On line Voederwaarde-calculator', Hiermee kan men de voederwaarden (dus ook de kengetallen van het DVE/OEB-2007 systeem) van voedermiddelen herberekenen op basis van zelf in te voeren analysegegevens.

In een later te introduceren plusversie kan men naar keuze een groot aantal tussenliggende waarden (bijv. de individuele fracties die bijdragen tot de FOS of DVME; de fracties die de waarde van DVMET en DVLYS bepalen) laten rapporteren.

De parameterwaarden van de individuele voedermiddelen zullen door CVB ook beschikbaar worden gesteld via de CD 'Factoren en coëfficiënten Afgeleide nutriëntenberekening' en de daarbij verkrijgbare publicatie.



## 6 Eiwitbehoefte van melkkoeien

Het DVE/OEB2007-systeem maakt onderscheid in behoeften voor onderhoud (paragraaf 6.1), melk(eiwit)productie (paragraaf 6.2), lichaamseiwitmobilisatie en -aanzet (paragraaf 6.3) en groei van de foetus (paragraaf 6.4).

### 6.1 Onderhoud

Een belangrijk deel van de onvermijdelijke eiwitverliezen met de feces wordt niet gebruikt voor onderhoud van de organen en weefsels van het dier, maar is afkomstig van endogene verliezen waarvan wordt aangenomen dat ze meer gerelateerd zijn aan onverteerde voerresiduen dan aan het dier zelf. Zoals eerder besproken wordt voor deze endogene verliezen een correctie aangehouden in de DVE voorziening, in plaats van ze als component van de onderhoudsbehoefte te beschouwen. De resulterende onderhoudsbehoeften worden daarom beperkt tot de hoeveelheid DVE die nodig is om te compenseren voor verliezen met de urine en met haar en huid. Beide zijn gerelateerd aan het lichaamsgewicht van het dier (LG) en worden (net als in het DVE systeem van 1991) als volgt berekend:

$$DVE_{\text{onderhoud}} \text{ (g DVE/d)} = (2,75 \cdot LG^{0,5} + 0,2 \cdot LG^{0,6}) / 0,67 \quad [\text{vgl. 14}]$$

Het FiM-systeem (Thomas, 2004) gebruikt een formule van de NRC (2001):

$$MP_m^{\text{FiM}} = 4,1 \cdot LG^{0,5} + 0,3 \cdot LG^{0,6} + 30 \cdot \text{TDSI} - 0,5 \cdot ((\text{DMTP}) / 0,8) - \text{DMTP} + 2,34 \cdot \text{DSI}$$

(waarin TDSI = totale droge stof opname en DMTP = Digestible Microbial True Protein)

De componenten die gerelateerd zijn aan LG zijn dezelfde als in het DVE-systeem, de andere componenten zijn gerelateerd aan de droge stof opname (als in NRC, 2001), maar gecorrigeerd voor onverteerd, in de pens gevormd microbieel eiwit ( $0,5 \cdot ((\text{DMTP}) / 0,8) - \text{DMTP}$ ) dat wordt afgebroken en als ammoniak wordt geabsorbeerd uit de dikke darm.

CNCPS (Fox et al., 2004) neemt aan dat de eiwitbehoefte voor onderhoud een optelling is van eiwit in afgestoten huidcellen, urine-eiwit en metabool fecaal eiwit. Afgestoten huidcellen en urine-eiwit zijn gerelateerd aan LG en worden op dezelfde wijze berekend als in het DVE- en FiM-systeem. Metabool fecaal eiwit wordt berekend als 9% van de onverteerbare DS.

### 6.2 Melkproductie

$$DVE_{\text{melkproductie}} = (\text{kg melk} \cdot \text{melkeiwitgehalte}) / \text{efficiëntie}$$

Oorspronkelijk ging het DVE-systeem (CVB, 1991) uit van een constante efficiëntie van 0,64. Recenter onderzoek (Hof et al., 1994; Subnel et al., 1994) heeft aangetoond dat deze efficiëntie variabel is en wordt beïnvloed door zowel de DVE/NEL-ratio als door het FPCM-productieniveau. Volgens Subnel et al. (1994) kan de efficiëntie adequaat worden beschreven door de formule:

$$\text{Efficiëntie} = 117,6 - 3,044 \cdot \text{DVE/NEL} - 0,23 \cdot \text{FPCM} \quad [\text{vgl. 15}]$$

Waarin:

Efficiëntie = melkeiwit/DVE melk (%)

DVE/NEL = ratio tussen DVE en Netto Energie voor Lactatie (NEL) (g/MJ)

FPCM = Vet- en eiwit-gecorrigeerde melkproductie (kg/d).

Het effect van melkproductie is in elk geval gedeeltelijk een gevolg van de manier waarop het NEL (VEM) systeem wordt gebruikt om energiebehoeften te formuleren (Van Es, 1978). Dit systeem geeft voor de energiebenutting ook een dalende efficiëntie bij een toenemende melkproductie. Deze daling wordt geacht vooral een gevolg te zijn van een verminderde vertering (verteringsdepressie). De formule om de eiwitbehoefte te beschrijven luidt dan (Subnel et al, 1994):

$$DVE = 1,396 * E + 0,000195 * E^2 \quad \text{[vgl. 16]}$$

Waarin:

DVE = g DVE nodig per g melkeiwit (E), en

E = melkeiwitproductie (g/dag)

Het FiM-systeem en het CNCPS gebruiken een constante benuttingsefficiëntie: 0,68 in FiM en 0,65 in CNCPS. In CNCPS wordt het ruw eiwit in melk echter gecorrigeerd naar werkelijk melkeiwit met behulp van de factor 0,93, waardoor de omzetting van E naar melk-ruw eiwit wordt verlaagd naar 0,60.

Evenals dat met het DVE/OEB-1991 systeem is gebeurd door Van Straalen et al. (1994), wordt het DVE/OEB-2007 systeem door de Animal Sciences Group, Lelystad, gevalideerd aan de hand van minimaal 11 daartoe geselecteerde voederproeven. De resultaten van deze studie worden in een afzonderlijk documentatierapport door CVB gepubliceerd (CVB, 2007b, in voorbereiding).

Bij deze validatie is ervan uitgegaan dat de onderhoudsbehoefte van melkkoeien, zoals beschreven in paragraaf 6.1 correct is, evenals (voor zover van belang) de DVE toeslagen voor dracht.

Op het moment van verschijnen van dit rapport was de validatiestudie nog niet geheel afgerond. De voorlopige resultaten laten relatief kleine verschillen zien in DVE benutting voor melkeiwitproductie tussen het nieuwe en oude systeem, en geven voorshands geen aanleiding om de in vergelijking 16 beschreven DVE behoefte voor melkeiwitproductie aan te passen.

Wel is er een duidelijk verschil tussen de OEB, berekend volgens het DVE/OEB 2007 systeem, in vergelijking met de OEB, berekend volgens het DVE/OEB 1991 systeem. Globaal ligt de OEB in het DVE/OEB 2007 systeem ca. 100 – 150 g/dag hoger dan in het DVE/OEB 1991 systeem.

### **6.3 Mobilisatie en aanzet van lichaamseiwit**

In het DVE/OEB 1991-systeem werd aangenomen dat de mobilisatie van energie uit het lichaam 45 g DVE per 1000 VEM levert (127 g DVE/kg LG-verlies) en dat het opnieuw aanzetten van energie in het lichaam 57 g DVE per 1000 VEM (200 g DVE/ kg LG-toename) vergt. Uit meer recent onderzoek uit voederproeven (Tamminga et al., 1997) en in klimaat respiratiekamers (Van Knegsel et al., 2006) is echter duidelijk geworden dat na afkalven de eiwitbalans en de energiebalans niet hetzelfde patroon volgen. Een negatieve eiwitbalans slaat al na 2 tot 3 weken om in een positieve balans, terwijl de energiebalans negatief blijft tot 8-12 weken na afkalven. We nemen aan dat eiwit dat uit lichaamsweefsels wordt gemobiliseerd voornamelijk wordt gebruikt als energiebron, zonder eiwitwaarde.

De heraanzet van eiwit in een toename van het lichaamsgewicht met 75 kg zou 15 kg DVE vergen. Tegelijkertijd vereist de productie van eiwit in 8000 kg melk minimaal 425 kg DVE. De behoefte voor heraanzet is dus minder dan 3,5% van de behoefte voor melkeiwitproductie en het grootste deel ervan wordt aangezet in de tweede helft van de lactatieperiode. Voor de heraanzet van lichaamseiwit wordt dan ook geen extra behoefte aangenomen.

## 6.4 Dracht

Het DVE/OEB 1991-systeem (CVB, 1991; Tamminga et al., 1994) beveelt een extra eiwit (DVE) toeslag aan, oplopend van 35 (maand 5) tot 105 (maand 7) g DVE/dag gedurende de laatste vijf maanden van de dracht. Deze behoeften werden recent geactualiseerd (Van den Top et al., 2000) voor een koe van 650 kg en een geboortegewicht van het kalf van 44 kg. Ook is een toeslag voor tweelingdracht toegevoegd (Tabel 14). Aangenomen wordt dat het rantsoen voor normale melkproductie in de late dracht voorziet in deze behoefte. Gedurende de laatste twee maanden van de dracht, als het dier geen melk meer geeft, ligt de behoefte tussen 170 en 270 g DVE/dag.

Tabel 14. Extra eiwitgift voor melkkoeien in de dracht (in g DVE/dag)

	<b>Eenlingdracht</b>	<b>Tweelingdracht</b>
Onderhoud	119	
<i>Extra eiwitgift</i>		
6 maanden (161-190 dagen)	62	112
7 maanden (191-220 dagen)	107	193
8 maanden (221-250 dagen)	177	319
9 maanden (251-280 dagen)	278	500



## 7 Aminozuren (DVAZ ) vs. eiwit (DVE)

### 7.1 Pensafbraak van aminozuren in niet-afgebroken voereiwit

Pensbestendig eiwit (BRE) is in feite niet-afgebroken N\*6,25 en wordt geacht te bestaan uit aminozuren (AA), gekoppeld in werkelijk eiwit. Een cruciale vraag is, of het afbraakgedrag in de pens van de totale aminozuren alsook van de individuele AZ verschilt van het gedrag van (ruw) eiwit in de pens. Deze kwestie is voor Lysine (Lys) en Methionine (Met) onderzocht door Van Duinkerken en Blok (1998). Hun conclusie luidde dat totale AZ in krachtvoeringrediënten en Lys en Met hetzelfde afbraakpatroon vertonen als eiwit. Voor ruwvoerders concludeerden ze dat de pensafbraak van individuele AZ significant kan afwijken van de pensafbraak van eiwit, maar dat de dataset die tot deze conclusie leidde te klein was en onvoldoende om betrouwbare correctieformules (voor de schatting van pensafbraak van individuele AZ in ruwvoerders) op te baseren. Aangenomen werd ook dat totale AZ in ruwvoerders hetzelfde afbraakpatroon vertoont als eiwit.

De kwestie van overeenstemming tussen intestinale AZ-flow berekend op basis van de drie bijdragende factoren en de *in vivo* gemeten intestinale AZ-flow werd tevens onderzocht door Rulquin et al (1998). Zij gebruikten echter een andere benadering voor de schatting van de voorziening van niet-afgebroken voereiwit in de darm ( $PIA = CP * 1,1 * (1-DT)$ ) (waarbij DT = theoretische pensafbraak), microbieel eiwit ( $0,145 * FOM * 0,8$ ) en endogeen eiwit ( $PI\text{-}endo = 33 * NDOM * 0,5$ ). De door hen berekende waarden overschatten Lys met 5% en onderschatten Met met 12%.

### 7.2 Darmvertering van bestendige aminozuren

De volgende vraag is, of het verteringsgedrag van individuele aminozuren in de darm verschilt van dat van eiwit. Op basis van regressieanalyse concludeerden Van Duinkerken en Blok (1998) dat de darmvertering van Lys gelijk is aan die van eiwit, maar dat de vertering van Met onderschat wordt met 4%. Toepassing van deze correctie compenseert ten dele voor het verschil in voorziening dat in de vorige paragraaf wordt genoemd.

### 7.3 Lys en Met in microbieel ( DVME) en endogeen eiwit (DVMFE)

Voor microbieel eiwit (DVME) werd een gemiddeld AA-patroon berekend (Van Duinkerken en Blok, 1998) en daaruit komt naar voren, dat de bijdrage van Lys en Met respectievelijk 77 en 25 g kg<sup>-1</sup> totaal AZ bedraagt. Evenzo wordt de bijdrage van Lys en Met aan DVMFE geschat op respectievelijk 57 en 15 g kg<sup>-1</sup> totaal AA. Zoals eerder aangegeven wordt tevens geschat dat de absorptie-efficiëntie van Lys niet afwijkt van die van DVE, maar dat de absorptie van Met iets (4,2%) hoger is.

Dus:

$$DVBLYS = 0,010 * LYS * DVBE$$

$$DVMLYS = 0,077 * DVME$$

$$DVMFLYS = 0,057 * DVMFE$$

$$DVBMET = 0,01042 * MET * DVBE$$

$$DVMMET = 0,025 * DVME$$

$$DVMFMET = 0,015 * DVMFE$$

Opgemerkt wordt dat het FiM-systeem (Thomas, 2004) voor Lys en Met dezelfde absorptiecoëfficiënten aanneemt als voor totaal pensbestendig eiwit (BRE) en dat de bijdrage aan microbieel eiwit dat in de darm wordt verteerd (DVME) wordt geschat op 77,9 g kg<sup>-1</sup> totaal AZ voor Lys en op 24,3 g kg<sup>-1</sup> totaal AZ voor Met.

## 7.4 Amino-zurenbehoeften

Net als alle andere zoogdieren hebben herkauwers een behoefte aan essentiële aminozuren. Hiervan worden Lysine (Lys) en Methionine (Met) meestal beschouwd als eerst limiterend. Voor rantsoenen op basis van grassilage wordt ook wel Histidine (His) genoemd als beperkend (Huthanen et al., 2002).

Op basis van dosis-respons-relaties namen Rulquin et al. (1993) een optimale melkeiwitproductie waar als de PDI (het Franse equivalent voor DVE) 7,3% Lys en 2,5% Met bevatte. NRC (2001) beveelt niveaus van respectievelijk 7,2 en 2,4 aan voor Lys en Met. Op basis van praktische en economische overwegingen werden later (Rulquin et al., 1998; 2001) kritische ondergrenzen vastgesteld van respectievelijk 6,8% en 2,1% voor Lys en Met. Deze laatste waarden zijn ook opgenomen in het FiM-systeem. De behoefte aan andere aminozuren is minder duidelijk, maar Rulquin et al. (2001) adviseren tussen 2,5 en 3,2% voor His en tenminste 8,8% voor Leucine (Leu).

Een van de doelstellingen in het kader van het DVE/OEB-2007 systeem was, net als in bovengenoemde systemen normen op te stellen voor de twee eerst limiterende aminozuren (Met en Lys).

Aangezien CVB niet beschikt over een database met dosis-respons proeven, zoals o.a. door Rulquin en medewerkers zijn uitgevoerd, is geprobeerd normen af te leiden binnen het DVE/OEB 2007 systeem. met als uitgangspunt de door Rulquin et al. (1998, 2001) gepubliceerde normen.

Bij de beoogde normstelling voor DVMET en DVLYS was het de bedoeling om, net als in andere systemen, deze uit te drukken in een procentueel aandeel per eenheid DVE. Daarom is in de validatiestudie van het DVE/OEB-2007 systeem door ASG te Lelystad ook het aanbod van DVMET en DVLYS in g/dag berekend. Ook het aanbod van PDIE en van Met-DI en Lys-Di (resp. de afkortingen voor darmverteerbaar methionine en lysine in het PDI systeem) is berekend. Vervolgens is het aandeel aan DVMET en DVLYS per eenheid aangeboden DVE berekend, alsook het aandeel Met-DI en LYS-DI per eenheid aangeboden PDIE. Daarna kon een vergelijking worden gemaakt van het aangeboden aandeel DVMET in DVE t.o.v. het aangeboden aandeel Met-DI in PDIE. Eenzelfde vergelijking kon worden gemaakt tussen DVLYS in DVE en Lys-DI in PDIE.

De bedoeling was de door Rulquin geformuleerde normen te vermenigvuldigen met het verhoudingsgetal (DVAZ in DVE)/(AA-DI in PDIE) en de uitkomst als norm voor de darmverteerbare aminozuren MET en LYS te presenteren.

De op basis van bovenbeschreven vergelijkingen berekende 'normen' waren echter van een zodanig orde dat deze niet als juist kunnen worden beschouwd. De achterliggende reden is dat er waarschijnlijk zodanig verschillen zijn in de wijze waarop het aanbod aan DVAZ en AA-DI wordt berekend dat er geen sprake is van een goede vergelijking. Als achterliggende oorzaken kunnen worden genoemd het gehanteerde aminozuurpatroon (met name bij gras en graskuil) en het procentuele aandeel aan resp. darmverteerbaar bestendig voereiwit en darmverteerbaar microbieel eiwit in DVE. Verder speelt een rol dat bij de berekening van het aanbod aan DVAZ vanuit het DVBE er in het DVE/OEB 2007 systeem (in navolging van Van Duinkerken en Blok, 1998) vanuit wordt gegaan dat het aminozuurpatroon van het BRE gelijk is aan dat van het oorspronkelijke voedermiddel. Voor het %DVBE wordt voor LYS dezelfde waarde aangehouden als voor het BRE, terwijl voor MET en waarde wordt aangehouden van 0,96\*%DVBE van het BRE. In het Franse systeem wordt het aanbod aan amino-zu-



ren vanuit het bestendige voereiwit en het microbiële eiwit berekend en vervolgens gecorrigeerd m.b.v. (per aminozuur specifieke) regressieformules (Rulquin et al., 1998 en 2001).

Geconcludeerd is dat het afleiden op de manier zoals door CVB geprobeerd, niet mogelijk is. Om op een correcte manier tot normen voor darmverteerbare aminozuren in het DVE/OEB 2007 systeem te komen moeten (uitgebreide) berekeningen worden uitgevoerd op basis van een database met dosis response proeven waarin o.a. de gebruikte voedeermiddelen in detail zijn beschreven.



## 8 Literatuur

- Archimède, H., Sauvant, D., en P. Schmidely., 1997. Quantitative review of ruminal and total tract digestion of mixed diet organic matter and carbohydrates. *Reprod. Nutr. Develop.*, 37, 173-189.
- Azarfar, A., 2007. Fractions of ruminant feeds: kinetics of degradation in vitro. Proefschrift Wageningen Universiteit, 219 pp.
- Bosch, M.W., 1991. Influence of stage of maturity of grass silages on digestion processes in dairy cows. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, 150 pp.
- Bosch, M.W., Tamminga, S., Post, G., Leffering, C.P., en J.M. Muylaert, 1992. Influence of stage of maturity of grass silages on digestion processes in dairy cows. 1. Composition, nylon bag degradation rates, fermentation characteristics, digestibility and intake. *Livest. Prod. Sci.*, 32, 245-264.
- Bruinenberg, M.H., 2003. Forages from intensively managed and semi-natural grasslands in the diet of dairy cows. Proefschrift Wageningen Universiteit, 171 pp.
- Chouinard, P.Y., Levesque, J., Girard, V. en G.J. Brisson, 1997. Dietary soybeans extruded at different temperatures: Milk composition and in situ fatty acid reactions. *J. Dairy Sci.*, 80, 2913-2924.
- Cone, J.W., Kamman, A.A., Kis, G. en A.H. van Gelder, 2003. Pensafbraakkarakteristieken van ruwvoerders als basis voor het afstemmen van de energie- en eiwitbeschikbaarheid in de pens. Rapport ID-Lelystad 03/0000764.
- Cone, J.W., Van Gelder, A.H. en H.J.P. Marvin, 1996. Influence of drying method and ageing on chemical and physical properties and in vitro degradation characteristics of grass and maize samples. *J. Agric. Sci.*, 126, 7-14.
- Cone, J.W. en A.H. van Gelder, 2005. Onderzoek naar de aard en de fermentatiekarakteristieken van de uitwasbare zetmeelfractie. Rapport 05.101225, Nutrition and Food, Animal Sciences Group, Wageningen UR, Lelystad, 40 pp.
- CVB, 1991. Eiwitwaardering voor herkauwers: Het DVE systeem. CVB reeks nr. 7, 53 p.
- CVB, 2004. Protocol voor *in situ* pensincubatie: bepaling van afbraaksnelheid en uitwasbare fracties van eiwit, zetmeel, celwanden en organische restfractie. Centraal Veevoeder Bureau, Lelystad.
- CVB, 2007a. Tabel met voorlopige eiwitwaardering van voedermiddelen voor herkauwers. In voorbereiding.
- CVB, 2007b. Validatie van het DVE/OEB 2007 systeem. In voorbereiding.
- Dijkstra, J., 1993. Mathematical modelling and integration of rumen fermentation processes. Proefschrift Wageningen Universiteit, 221 pp.
- Dijkstra, J., Mills, J.A.N. en J. France, 2002. The role of dynamic modelling in understanding the microbial contribution to rumen function. *Nutr. Res. Reviews.*, 15, 67-90.
- Dijkstra, J., Pellikaan, W.F. en S. Tamminga, 2005. Pens-passagesnelheden van koolhydraatfracties van verschillende typen voedermiddelen. Rapport WWH 05-91, Group Animal Nutrition, WIAS.
- Duinkerken, G. van en M.C. Blok, 1998. Berekening van het gehalte aan darmverteerbaar methionine en lysine in voedermiddelen voor herkauwers. CVB Documentatierapport nr. 22, 56 p.
- Duinkerken, G. van, Rummelink, G.J., Vuuren, A.M. van, Blok, M.C. en J. Bakker, 2007. Penssynchonisatie: toetsing in voederproeven. Animal Sciences Group, Lelystad, Rapport nr.30.
- Enjalbert, F., Eynard, P., Nicot, M.C., Troegeler-Meynadier, A., Bayourthe, C. en R. Moncoulon, 2003. In vitro versus in situ ruminal biohydrogenation of unsaturated fatty acids from a raw or extruded mixture of ground canola seed/canola meal. *J. Dairy Sci.*, 86, 351-359.
- Es, A.J.H. van, 1978. Feed evaluation for ruminants. The system in use from May 1977 onwards in The Netherlands. *Livest. Prod. Sci.*, 5, 331-335.
- Fox, D.G., Tedechi, L.O., Tylutki, T.P., Russell, J.B., Van Amburgh, M.E., Chase, L.E., Pell, A.N. en T.R. Overton, 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Fd. Sci. Technol.*, 112, 29-78.

- Gerrits, W., Bannink, A., Dijkstra, J., Tamminga, S., Vuuren, A.M. van en G. Meijer, 2000. Masterplan voor het ontwikkelen van een op nutriënten gebaseerd voederwaarderingssysteem. Rapport ID-DLO no. 00-2073, 55 pp.
- Gestel, W.J.H. van, Hof, G., Dijkstra, J. en S. Tamminga, 2004. Endogene eiwitverliezen in het maagdkanaal van melkvee. Rapport Group Animal Nutrition, Wageningen University, 19 p.
- Gierus, M., de Jonge, L. en G.A.L. Meijer, 2005. Physico-chemical characteristics and degradation rate of soluble protein obtained from the washout fraction of feeds. *Livest. Prod. Sci.*, 97, 219-229.
- Givens, D.I. en H. Rulquin, 2004. Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silage based diets. *Review. Anim. Fd. Sci. Technol.*, 114, 1-18.
- Hedqvist, H. en P. Uden, 2006. Measurement of soluble protein degradation in the rumen. *Anim. Fd. Sci. Technol.*, 126, 1-21.
- Hof, G., Tamminga, S. en P.J. Lenaers, 1994. Efficiency of protein utilisation in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 42, 37-46.
- Honing, Y. van der, Gerlofsma, M.H. en A.M. van Vuuren, 2004. Passage van de uitwasbare eiwitfracties in de pens. Rapport 03/0005924, Animal Sciences Group Wageningen UR, Lelystad, 56 pp.
- Hooper, A.P., en J.G. Welch, 1985. Effects of particle size and forage composition on functional specific gravity. *J. Dairy Sci.*, 68, 1181-1188.
- Huthanen, P., Vanhatalo, A. en T. Varvikko., 2002. Effects of abomasal infusions of histidine, glucose, and leucine on milk production and plasma metabolites of dairy cows fed grass silage diets. *J. Dairy Sci.*, 85, 204-216.
- Klop A., Vuuren, A.M. van en H. de Visser, 1997. Effect van maaistadium van grassilage en natief maïszetmeel in de dunne darm op de beschikbaarheid van nutriënten: 1. Verteerbaarheid, afbreekbaarheid, pens- en darmkinetiek. Rapport ID-DLO 97.020. Lelystad.
- Knegsel, A.T.M. van, Brand, H. van de, Dijkstra, J., Straalen, W.M. van, Heetkamp, M.J.W., Tamminga, S. en B. Kemp, 2007. Dietary energy source in dairy cows in early lactation: energy partitioning and milk composition. *J. Dairy Sci.* 90, 1467-1476.
- Meijer, R.G.M., Rummelink, G.J. en Tj. Boxem, 1996. OEB niveau in melkveerantsoenen. Publicatie 116. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad, 20 pp.
- Mustafa, A.F., Chouinard, Y.P., Ouellet, D.R. en H. Soita., 2003. Effects of moist heat treatment on ruminal nutrient degradability of sunflower seed. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 1059-1064.
- National Research Council, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Nocek, J.E. en S. Tamminga, 1991. The prediction of nutrient supply to dairy cows from rate and extent of ruminal degradation of ration components. *J. Dairy Sci.*, 74, 3598-3629.
- Oba, M. en M.S. Allen, 2003. Effect of diet fermentability on efficiency of microbial nitrogen production in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86, 195-207.
- Offer, N.W., Agnew, R.E., Cottrill, B.R., Givens, D.I., Keady, T.W.J., Mayne, C.S., Rymer, C., Yan, T., France, J., Beever, D.E. en C. Thomas, 2002. Feed into milk: an applied feeding model coupled with a new system of feed characterisation. In: *Recent advances in Animal Nutrition, 2002.* (P.C. Garnsworthy en J. Wiseman, eds.), Nottingham University Press, pp.167-194.
- Offner, A., Bach, A. en D. Sauvant. 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Fd. Sci. Technol.*, 106, 81-93.
- Offner, A. en D. Sauvant, 2004. Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. *Anim. Fd. Sci. Technol.* 111, 41-56.
- Oldham, J.D. en S. Tamminga, 1980. Amino acid utilisation by dairy cows. II. Concept of amino acid variation. *Livest. Prod. Sci.*, 7, 437-452.
- Ørskov, E.R. en I. McDonald, 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92, 499-503.
- Pellikaan, W.F., 2004. Passage of <sup>13</sup>C labelled feed components through the digestive tract of dairy cows. Proefschrift Wageningen Universiteit, 188 pp.

- Perrier, R., Michalet-Doreau, B., Bauchart, D en M. Doreau, 1992. Assessment of an in situ technique to estimate the degradation of lipids in the rumen. *J. Sci. Food Agric.*, 59, 449-455.
- Pirt, S.J., 1965. The maintenance energy of bacteria in growing cultures. *Proc. Royal Soc., Ser. B* 163, 224-231.
- Peyraud, J.L. en L. Astigarraga, 1998. Review of the effect of nitrogen fertilisation on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Anim. Fd. Sci. Technol.*, 72, 235-259.
- Porter, M.G. en R.S. Murray, 2001. The volatility of components of grass silage on oven drying and the inter-relationship between dry-matter content estimated by different analytical method. *Grass For. Sci.*, 56, 405-411.
- Robinson, P.H., Tamminga, S., en 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.
- Rulquin, H., Pisulewski, P.M., Vérité, R. en J. Guinard, 1993. Milk production and composition as a function of postruminal lysine and methionine supply: a nutrient-response approach. *Livest. Prod. Sci.*, 37, 69-90.
- Rulquin, H., Guinard, J. en R. Vérité, 1998. Variation in amino acid content in the small intestine digesta of cattle: development of a prediction model. *Livest. Prod. Sci.*, 53, 1-13.
- Rulquin, H. Vérité, R. en J. Guinard-Flament, 2001. Acids aminés digestibles dans l'intestin. Le système AADI et les recommandations d'apport pour la vache laitière. *INRA Prod. Anim.*, 14, 265-274.
- Russell, J.B. en R.L. Baldwin, 1979. Comparison of maintenance energy expenditures and growth yields among several rumen bacteria grown on continuous culture. *Appl. Environm. Microbiol.* 37, 537-543.
- Russell, J.B. en H.J. Strobel, 2005. Microbial energetics. In: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism (J. Dijkstra, J.M. Forbes en J. France, eds.), second edition Wallingford: CAB International, 229-260.
- Sarrazin, P., Mustafa, A.F., Chouinard, P.Y., Raghavan, G.S.V., and S.A. Sotocinal., 2003. Effects of roasting on ruminal nutrient degradability of sunflower seed. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 1219-1224.
- Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., en J.B. Russell, 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.*, 70, 3562-3577.
- Soest, P.J. van, 1994. Nutritional Ecology of the ruminant. 2<sup>nd</sup> Edition. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA, 476 pp.
- Subnel, A.P.J., Meijer, R.G.M., van Straalen, W.M. en S. Tamminga, 1994. Efficiency of milk protein production in the DVE protein evaluation system. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 215-224.
- Straalen, W. M. van, 1995. Modelling of nitrogen flow and excretion in dairy cows. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, 205 pp.
- Straalen, W.M. van, Salaun, C., Veen, W.A.G., Rijpkema, Y.S., Hof, G, en Tj. Boxem, 1994. Validation of protein evaluation systems by means of milk production experiments with dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.*, 42, 89-104.
- Tamminga, S., 1993. Influence of feeding management on ruminant fiber digestibility. In: Forage cell wall structure and digestibility. (H.-J. G. Jung, R.D. Buxton, R.D. Hatfield & J. Ralph, eds.), Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA, pp. 571-602.
- Tamminga, S., Robinson, P.H., Vogt, M., en H. Boer, 1989. Rumen ingesta kinetics of cell wall components and nitrogen in dairy cows. *Anim. Fd. Sci. Technol.*, 25, 89-98.
- Tamminga, S., van Straalen, W.M., Subnel, A.P.J., Meijer, R.G.M., Steg, A., Wever, C.J.G. en M.C. Blok, 1994. The Dutch protein evaluation system: The DVE/OEB system. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 139-155.
- Tamminga, S., Luteijn, P.A., en 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.

- Tamminga, S., Vuuren, A.M. van, Dijkstra, J., Meijer, G.A.L., Gerrits, W.J.J. en A. Bannink, 1999. Verkenning naar een op nutriënten gebaseerde voederwaardering bij herkauwers. Rapport ID-DLO/LSG-VV, 1999
- Tamminga, S., Aarts, F., Bannink, A., Oenema, O. en G.J. Monteny, 2004. Actualisering van geschatte N en P excreties door rundvee. Reeks Milieu en Landelijk gebied 25, 48 pp.
- Taweel, H.Z.H., 2004. Perennial ryegrass for dairy cows: grazing behaviour, intake, rumen function and performance. Proefschrift Wageningen Universiteit, 156 pp.
- Thomas, C. (Ed), 2004. Feed into Milk: A new applied feeding system for dairy cows. Nottingham University Press, 72 pp.
- Top, A.M. van den, Schonewille, J.Th. en A.C. Beynen, 2000. Voeding van drachtige koeien in de droogstand. CVB Documentatierapport nr 27, Lelystad, 48 pp.
- Ulyatt, M.J., Dellow, D.W., Reid, C.S.W., en T. Bauchop, 1975. Structure and function of the large intestine in ruminants. In: Digestion and metabolism in the ruminant (I.W. McDonald en A.C.I. Warner, eds.), University of New England Publishing Unit, pp. 119-133.
- Valk, H., Kappers, I.E., en S. Tamminga, 1996. In sacco degradation characteristics of organic matter, neutral detergent fibre and crude protein of fresh grass fertilized with different amounts of nitrogen. Anim. Fd. Sci. Technol., 63, 63-88.
- Valk, H., 2002. Nitrogen and Phosphorus supply of dairy cows. Proefschrift Universiteit Utrecht, 204 pp.
- Verité, R., Michalet-Doreau, B., Chapoutot, P., Peyraud, J.L. en C. Poncet, 1987. Révision du système des protéines digestibles dans l'intestin (PDI), INRA Bull. Techn., 70, 19-34.
- Vérité, R. en J.-L. Peyraud, 1989. Protein: The PDI systems. In: Ruminant Nutrition (R. Jarrige, ed.), INRA/John Libbey Eurotext, London-Paris, p. 33-48.
- Visser, H. de, Togt, P.L. van der, Huisert, H., en S. Tamminga, 1992. Structural and non-structural carbohydrates in concentrate supplements of silage based dairy cow rations. 2. Rumen degradation, fermentation and kinetics. Neth. J. Agric. Sci., 40, 431-445.
- Visser, H. de, 1993. Influence of carbohydrates on feed intake, rumen fermentation and milk performance in high yielding dairy cows. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, 175 pp.
- Volden, H., Mydland, L.T. en V. Olaisen, 2002. Apparent ruminal degradation and rumen escape of soluble nitrogen fractions in grass and grass silage administered intraruminally to lactating dairy cows. J. Anim. Sci., 80, 2704-2716.
- Vuuren, A.M. van, Krol-Kramer, F., Lee, R.A. van der, en 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.
- Vuuren, A.M. van, 1993. Digestion and nitrogen metabolism of grass fed dairy cows. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, 134 pp.
- Vuuren, A.M. van en S. Tamminga, 2001. De fysiologische basis voor de minimale onbestendige eiwit balans in melkveerantsoenen. CVB Documentatierapport nr. 28, 22 p
- Zom, R.L.G., Riel, J.W. van, André, G. en G. van Duinkerken, 2002. Voorspelling voeropname met Koemodel 2002, Praktijkrapport Rundvee 11, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

## Bijlage 1. Dataset afgeleid van Offner et al (2003) en Offner en Sauvant (2004)

Voeder-middel	Behandeling	W situ	Kd (1-W)	ED situ	ED vivo	E(1-W) vivo	EW vivo	Regressie
Maïs	Geen	0,236	0,059	0,597	0,639	0,379	0,260	0,247
	Gemalen	0,338	0,055	0,679	0,691	0,317	0,374	0,327
	Gebroken	0,200	0,057	0,584	0,631	0,390	0,241	0,219
	Stoom-gerold	0,041	0,027	0,338	0,476	0,298	0,178	0,095
	Stoom-gevlokkteerd	0,127	0,216	0,803	0,769	0,683	0,086	0,162
	Geëxpandeerd	0,487	0,064	0,773	0,750	0,265	0,485	0,443
	Geëxtrudeerd	0,522	0,087	0,828	0,785	0,283	0,502	0,470
	Gepelletteerd	0,387	0,059	0,685	0,695	0,304	0,391	0,365
	Formaldehyde beh.	0,296	0,038	0,569	0,621	0,273	0,348	0,294
Sorghum	Geen	0,277	0,042	0,603	0,643	0,298	0,345	0,279
	Gemalen		0,044	0,756	0,739	0,423		
	Geëxpandeerd		0,035	0,798	0,766	0,368		
	Geëxtrudeerd	0,363	0,097	0,757	0,740	0,394	0,346	0,346
	Formaldehyde beh.	0,357	0,024	0,541	0,604	0,184	0,420	0,342
Gerst	Geen	0,515	0,350	0,913	0,838	0,414	0,424	0,465
	Gemalen	0,460	0,387	0,859	0,804	0,468	0,337	0,422
	Gebroken	0,010	0,060	0,503	0,580	0,495	0,085	0,071
	Stoom-gerold	0,295	0,109	0,706	0,708	0,455	0,253	0,293
	Stoom-gevlokkteerd	0,053	0,344	0,839	0,792	0,806	-0,015	0,104
	Geëxpandeerd		0,219	0,690	0,698	0,785		
	Geëxtrudeerd		0,292	0,683	0,693	0,830		
	Formaldehyde beh.	0,397	0,264	0,844	0,795	0,491	0,303	0,373
Tarwe	Geen	0,604	0,329	0,939	0,855	0,335	0,520	0,534
	Bijproducten	0,782	0,238	0,937	0,853	0,174	0,679	0,673
	gemalen		0,213					
	Stoom-gevlokkteerd		0,061					
	geëxpandeerd		0,129	0,669	0,684	0,683		
	geëxtrudeerd		0,350	0,841	0,793	0,854		
formald. beh	0,644	0,076	0,855	0,802	0,199	0,603	0,566	
Haver		0,668	0,189	0,918	0,841	0,252	0,589	0,584
Bierbostel		0,770	0,174	0,833	0,788	0,171	0,617	0,664
Maïsvoermeel		0,390	0,053	0,673	0,687	0,286	0,401	0,367
Maïsglutenmeel		0,230	0,286	0,866	0,809	0,636	0,172	0,242
Maïsglutenvoer		0,562	0,119	0,841	0,793	0,291	0,502	0,502
Formald. Beh. maïsglutenvoer		0,673	0,130	0,890	0,824	0,224	0,600	0,588
Triticale		0,453	0,583	0,934	0,851	0,496	0,355	0,416
Rijst		0,260	0,076	0,674	0,688	0,414	0,274	0,266
Rijst-zemelen		0,188	0,127	0,734	0,725	0,551	0,174	0,210
Erwten		0,462	0,116	0,802	0,768	0,355	0,414	0,424
Gemalen erwten		0,494	0,192	0,878	0,816	0,386	0,431	0,449
Erwten, gebroken		0,411	0,153	0,848	0,797	0,423	0,374	0,384
Erwten, getoast		0,278	0,045	0,587	0,633	0,309	0,323	0,280
Erwten, geëxtrudeerd		0,699	0,344	0,951	0,862	0,256	0,606	0,609
Bonen		0,371	0,079	0,729	0,722	0,357	0,365	0,352
Bonen, getoast		0,369	0,043	0,628	0,659	0,263	0,395	0,351
Aardappel		0,452	0,091	0,779	0,754	0,330	0,424	0,416
Tapioca		0,895	0,139	0,880	0,817	0,073	0,744	0,762
Maïssilage		0,668	0,087	0,865	0,808	0,196	0,611	0,584

## Bijlage 2. In vitro zetmeelafbraak (Cone en Van Gelder, 2005)

Voedermiddel	Tijd	Zetmeelresidu		Kd	
		W	D	W	D
Maïsmeel	0	100	100		
	6	62,1	88,7		
	8	32,9	65,3		
	10	31,4	50,5	0,113	0,055
Tarwe	0	100	100		
	6	36,9	78,1		
	8	19,0	46,6		
	10	12,2	30,0	0,190	0,091
Aardappelzetmeel	0	100	100		
	6	82,2	91,5		
	8	42,6	75,1		
	10	26,2	66,2	0,095	0,037
Tapioca pellets	0	100	100		
	6	36,4	67,2		
	8	17,3	33,8		
	10	10,9	20,9	0,197	0,119

<sup>1)</sup> Berekend uit Genstat (NLIN).



**Bijlage 3. Regressie van de afbraaksnelheid van de W-fractie (berekening 1 t/m 3) op de gefitte zetmeelafbraak in vivo.**

	Model	Y = aX		Y = aX + C			
	kd(W)	Y	R <sup>2</sup>		Y	C	R <sup>2</sup>
Berekening 1	0,25	1.0956	0,6062		0,7033	0,2713	0,8928
	0,50	1.0281	0,6486		0,6613	0,2706	0,9508
	0,75	1.0031	0,6397		0,6393	0,2753	0,9619
	1,00	0.9901	0,6300		0,6269	0,2785	0,9757
Berekening 2	1 x kd(D)	1.1753	1,2145		0,4524	0,4692	0,6979
	2 x kd(D)	1.0860	0,4427		0,4931	0,4165	0,8283
	3 x kd(D)	1.0482	0,1275		0,5135	0,3890	0,8794
	4 x kd(D)	1.0270	0,0429		0,5262	0,3716	0,9058
	5 x kd(D)	1.0134	0,1489		0,5351	0,3595	0,9215
Berekening 3	kd(D) + 0.25	1.0441	0,4730		0,6197	0,3088	0,9225
	kd(D) + 0.50	1.0096	0,5781		0,6246	0,2896	0,9537
	1,5 x kd(D) + 0,25	1.0312	0,4510		0,6053	0,3138	0,9295
	2 x kd(D) + 0,25	1.0217	0,4402		0,5965	0,3164	0,9347
	2 x kd(D) = 0,375	1.0083	0,5116		0,6053	0,3037	0,9484
	2 x kd(D) + 0,50	0.9992	0,5462		0,6084	0,2972	0,9557

**Bijlage 4. Het effect van pelletteren op zetmeelfracties en pensafbraak  
(Tamminga en Goelema, 2004, niet gepubliceerd)**

Voedermiddel	Zetmeel (g/kg DS)	Meel			Pellet		
		D	kd	%BZET	D	kd	%BZET
Maïs (M) <sup>1)</sup>	358	87	0,050	49,2	79	0,052	45,2
Gerst (B) <sup>1)</sup>	370	39	0,203	17,3	34	0,239	15,9
Tapioca (T) <sup>1)</sup>	360	25	0,141	17,8	19	0,158	16,4
Mix M,B,T <sup>1)</sup>	373	49	0,077	28,5	41	0,093	24,2
A-standaard <sup>2)</sup>	76	70	0,120	27,5	56	0,124	24,3
A-select <sup>2)</sup>	55	65	0,126	25,8	44	0,106	23,6
DVE-hoog <sup>2)</sup>	307	56	0,125	24,2	39	0,114	21,9
DVE-laag <sup>2)</sup>	294	58	0,120	25,1	40	0,178	18,4
Mix (maïs) <sup>3)</sup>	203	84	0,065	42,5	75	0,055	42,6
Mix (maïs) <sup>3)</sup>	200	75	0,056	42,2	74	0,056	41,9
Mix (maïs) <sup>3)</sup>	200	74	0,084	24,3	74	0,099	31,5
Gemiddeld		62	0,106	30,4	52	0,116	27,8

Bronnen: <sup>1</sup> Tamminga et al., 1989; <sup>2</sup> Houtmans, Kemp, Van der Velden, Hof, 1991, niet gepubliceerd; <sup>3</sup> Perdok, Smink, Veen, 1991, niet gepubliceerd; <sup>4</sup> Perdok, Groot & Veen, 1992, niet gepubliceerd; <sup>5</sup> Gepelletiseerd met stoom conditioning en pre-compressie (Mixcompres).

## Bijlage 5. Verdwijning uit de pens t.g.v. passage, gebaseerd op lignine of IADF

Type ruwvoer	koe	DSI	kg kv	NDF/DS	Kp	kp'	Methode	Marker	Referentie
Grassilage	droog	10,3		442	2,82	2,82	pensevacuatie	IADF	Bosch, 1991
Grassilage	droog	11,1		515	3,18	3,18	pensevacuatie	IADF	Bosch, 1991
Gras	lacterend	13,3	1,0	352	3,10	2,59	duodenale flow	Lignine	vVuuren et al., 1992
Gras	lacterend	16,8	1,0	374	3,10	2,59	duodenale flow	Lignine	vVuuren et al., 1992
Gras	lacterend	13,0	1,0	381	2,90	2,43	duodenale flow	Lignine	vVuuren et al., 1992
Gras	lacterend	15,2	1,0	317	2,40	2,01	duodenale flow	Lignine	vVuuren et al., 1992
Gras	lacterend	16,3	1,7	406	3,50	2,93	duodenale flow	Lignine	vVuuren, 1993
Gras	lacterend	16,3	7,0	352	4,70	3,93	duodenale flow	Lignine	vVuuren, 1993
Gras	lacterend	16,5	7,2	407	4,60	3,85	duodenale flow	Lignine	vVuuren, 1993
TMR (gerst)	lacterend	24,0	12,0	367	4,76	4,76	pensevacuatie	IADF	de Visser et al., 1992
TMR (maïs)	lacterend	23,1	11,6	345	4,74	4,74	pensevacuatie	IADF	de Visser et al., 1992
TMR (bietenspulp)	lacterend	22,9	11,5	438	4,25	4,25	pensevacuatie	IADF	de Visser et al., 1992
TMR (maïszemelen)	lacterend	24,2	12,1	448	4,81	4,81	pensevacuatie	IADF	de Visser et al., 1992
Grassilage (jong)	lacterend	21,0	10,0	360	1,60	1,34	duodenale flow	Lignine	Klop et al., 1997
Grassilage (jong)	lacterend	20,0	9,0	360	1,60	1,34	duodenale flow	Lignine	Klop et al., 1997
Grassilage (jong)	lacterend	19,0	9,0	360	1,60	1,34	duodenale flow	Lignine	Klop et al., 1997
Grassilage (oud)	lacterend	17,0	8,0	420	2,10	1,76	duodenale flow	Lignine	Klop et al., 1997
Grassilage (oud)	lacterend	18,0	8,0	420	2,10	1,76	duodenale flow	Lignine	Klop et al., 1997
Grassilage (oud)	lacterend	16,0	7,0	420	2,10	1,76	duodenale flow	Lignine	Klop et al., 1997
TMR (WGS)	lacterend	24,4	17,1	483	4,00	3,35	pensevacuatie	Lignine	de Visser, 1993
TMR (MGS)	lacterend	23,7	16,6	459	3,70	3,10	pensevacuatie	Lignine	de Visser, 1993
TMR (PGS)	lacterend	23,5	16,5	464	3,80	3,18	pensevacuatie	Lignine	de Visser, 1993
TMR (WW)	lacterend	23,8	16,7	483	4,00	3,35	pensevacuatie	Lignine	de Visser, 1993

Type ruwvoer	koe	DSI	kg kv	NDF/DS	Kp	kp'	Methode	Marker	Referentie
Grassilage (100IM)	lacterend	18,5	4,5	470	2,70	2,70	pensevacuatie	IADF	Bruinenberg, 2003
Grassilage (20SPP)	lacterend	18,1	4,5	481	2,30	2,30	pensevacuatie	IADF	Bruinenberg, 2003
Grassilage (60SPP)	lacterend	16,7	4,5	497	2,50	2,50	pensevacuatie	IADF	Bruinenberg, 2003
Grassilage (60SPR)	lacterend	17,5	4,5	486	2,80	2,80	pensevacuatie	IADF	Bruinenberg, 2003
Gras	lacterend	16,2	4,6	415	2,70	2,26	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	16,5	4,6	430	3,50	2,93	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	16,6	4,6	426	3,00	2,51	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	16,2	4,6	414	2,80	2,34	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	17,3	4,6	422	2,40	2,01	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	16,8	4,6	436	3,10	2,59	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	15,7	2,8	422	3,60	3,01	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	16,0	2,8	442	3,10	2,59	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	15,0	2,8	465	3,40	2,85	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	15,2	2,8	462	3,00	2,51	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	15,2	2,8	456	2,90	2,43	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gras	lacterend	15,7	2,8	443	3,40	2,85	pensevacuatie	Lignine	Taweel, 2004
Gemiddeld		17,76				2,78			
S.D.		3,64				0,88			

## Bijlage 6. Aandeel van DNDF dat daadwerkelijk verteerd wordt.

Onderzoek H. Valk (2002)															
Krachtvoerders						Krachtvoerders									
	%	NDF/DS	UNDF/DS	NDF	UNDF		%	NDF/DS	UNDF/DS	NDF	UNDF				
Bietenpulp	20	400	24	80	5	Bietenpulp	15	400	24	60	4				
Citruspulp	20	200	15	40	3	Maïsglutenvoer	20	350	20	70	4				
Maïsglutenvoer	22,5	350	20	79	5	palm kernel expeller	17,5	600	150	105	26				
Palmpitschilfers	15	600	150	90	23	Sojahullen	14	650	25	91	4				
Sojahullen	8	650	25	52	2	lijnzaad expeller	8	200	50	16	4				
Anders	14,5					kokosnoot expeller	8	430	80	34,4	6				
						Tarwe	7,5	120	16	9	1				
						Anders	10								
Totaal	100			341	37	Totaal	100			385	49				
Behandeling	NDF opname			UNDF opname			DNDF opname			Fecale output			DNDF		
	Totaal	krachtvoer	ruwvoer	krachtvoer	ruwvoer	ruwvoer	krachtvoer	Totaal	dNDF	NDF	UNDF	Fecaal	Max	Werkelijk	
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(% NDF)	(kg)	(kg)	(kg)	(%)	(kg)	(kg)	(kg)	(%)	(%)	
S91	450	7,80	0,73	7,07	0,086	0,597	6,48	0,64	7,12	77,3	1,77	0,683	1,088	91,2	84,7
	300	8,00	0,73	7,27	0,086	0,645	6,63	0,64	7,27	75,1	1,99	0,731	1,261	90,9	82,7
	150	8,00	0,73	7,27	0,086	0,701	6,57	0,64	7,21	70,1	2,39	0,787	1,605	90,2	77,7
S92	450	8,90	0,73	8,17	0,086	0,899	7,27	0,64	7,91	75,3	2,20	0,985	1,213	88,9	84,7
	300	8,70	0,73	7,97	0,086	0,853	7,12	0,64	7,76	72,9	2,36	0,939	1,419	89,2	81,7
	150	8,80	0,73	8,07	0,086	0,953	7,12	0,64	7,76	71,5	2,51	1,039	1,469	88,2	81,1
A92	450	8,60	1,07	7,53	0,123	0,697	6,84	0,94	7,78	75,5	2,11	0,820	1,287	90,5	83,5
	300	9,20	1,07	8,13	0,123	0,842	7,29	0,94	8,23	74,2	2,37	0,965	1,409	89,5	82,9
	150	8,70	1,07	7,63	0,123	0,977	6,66	0,94	7,60	70,5	2,57	1,100	1,467	87,4	80,7
A93	450	8,60	1,07	7,53	0,123	0,478	7,05	0,94	7,99	76,1	2,06	0,601	1,455	93,0	81,8
	300	8,60	1,07	7,53	0,123	0,505	7,03	0,94	7,97	73,1	2,31	0,628	1,686	92,7	78,9
	150	8,10	1,07	7,03	0,123	0,619	6,41	0,94	7,35	70,5	2,39	0,742	1,648	90,8	77,6

<b>Onderzoek M. Bosch et al. (1992)</b>					
<b>Krachtvoerders</b>	<b>%</b>	<b>NDF/DS</b>	<b>NDF</b>	<b>UNDF/DS</b>	<b>UNDF</b>
Bietenpulp	20	400	80	24	5
Citruspulp	20	200	40	15	3
Maïsglutenvoer	25	350	88	20	5
Sojaschroot	10,7	100	11	3,5	0
Lijnzaad	3,8	133	5	30	1
Tarwegries	13,8	422	58	90	12
<b>Totaal</b>			281		27

	<b>Kracht- voer</b>	<b>NDF opname</b>				<b>UNDF opname</b>		<b>DNDF opname</b>			<b>Fecale output</b>			<b>DNDF</b>		
		<b>DS</b>	<b>Totaal</b>	<b>krachtvoer</b>	<b>ruwvoer</b>	<b>krachtvoer</b>	<b>ruwvoer</b>	<b>ruwvoer</b>	<b>krachtvoer</b>	<b>Totaal</b>	<b>dNDF</b>	<b>NDF</b>	<b>UNDF</b>	<b>Fecaal</b>	<b>Max</b>	<b>Werkelijk</b>
		<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(% NDF)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(%)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
G1L	0,875	5,65	0,25	5,40	0,023	0,572	4,83	0,22	5,05	78,0	1,24	0,596	0,646	89,4	87,2	
G2L	0,875	6,45	0,25	6,20	0,023	1,029	5,17	0,22	5,39	70,9	1,88	1,053	0,823	83,7	84,7	
G3L	0,875	8,05	0,25	7,80	0,023	1,248	6,55	0,22	6,77	73,8	2,11	1,271	0,837	84,2	87,6	
G4L	0,875	7,15	0,25	6,90	0,023	1,684	5,22	0,22	5,44	62,9	2,65	1,707	0,944	76,1	82,6	
G1H	6,125	6,82	1,72	5,10	0,164	0,541	4,56	1,56	6,12	74,7	1,73	0,704	1,022	89,7	83,3	
G2H	6,125	7,42	1,72	5,70	0,164	0,946	4,75	1,56	6,31	66,4	2,49	1,110	1,385	85,0	78,1	
G3H	6,125	8,42	1,72	6,70	0,164	1,072	5,63	1,56	7,19	71,4	2,41	1,236	1,174	85,3	83,7	
G5H	6,125	8,32	1,72	6,60	0,164	1,960	4,64	1,56	6,20	56,8	3,60	2,124	1,472	74,5	76,3	
<b>Gemiddeld</b>															82,07	
<b>STDEV</b>															3,14	

## Bijlage 7. Berekende en gemeten NDF-verteerbaarheden

		kdf	kdc	kpf	kpc	kg NDFf	kg NDFc	VCNDF	VCNDF	
		Bepaald (% p.u.)	Bepaald (% p.u.)	Berekend (% p.u.)	Bepaald	ber. (%)	bep. (%)			
grassilage	G1L	5,91	4,50	2,44	2,65	5,40	0,25	0,783	0,780	Bosch, 1992
grassilage	G2L	3,75	4,50	2,06	2,65	6,20	0,25	0,717	0,709	
grassilage	G3L	4,60	4,50	2,21	2,65	7,80	0,25	0,749	0,738	
grassilage	G4L	3,90	4,50	2,08	2,65	6,90	0,25	0,723	0,629	
grassilage	G1H	6,35	4,50	2,52	2,65	5,10	1,75	0,771	0,747	
grassilage	G2H	3,99	4,50	2,10	2,65	5,70	1,75	0,721	0,664	
grassilage	G3H	3,79	4,50	2,06	2,65	6,70	1,75	0,715	0,714	
grassilage	G5H	2,71	4,50	1,87	2,65	6,60	1,75	0,666	0,568	
vers gras	S91 450	5,51	4,50	2,37	2,65	7,11	0,61	0,771	0,773	Valk, 2002
vers gras	S91 300	4,67	4,50	2,22	2,65	7,43	0,61	0,749	0,751	
vers gras	S91 150	4,07	4,50	2,11	2,65	7,34	0,61	0,729	0,701	
vers gras	S92 450	4,32	4,50	2,16	2,65	8,26	0,61	0,738	0,753	
vers gras	S92 300	3,97	4,50	2,09	2,65	8,05	0,61	0,725	0,729	
vers gras	S92 150	3,51	4,50	2,01	2,65	8,07	0,61	0,706	0,715	
vers gras	A92 450	5,11	4,50	2,30	2,65	7,62	0,91	0,759	0,755	
vers gras	A92 300	4,58	4,50	2,20	2,65	8,21	0,91	0,745	0,742	
vers gras	A92 150	3,84	4,50	2,07	2,65	7,83	0,91	0,719	0,705	
vers gras	A93 450	7,54	4,50	2,73	2,65	7,67	0,91	0,803	0,761	
vers gras	A93 300	6,80	4,50	2,60	2,65	7,67	0,91	0,793	0,731	
vers gras	A93 150	5,36	4,50	2,34	2,65	7,15	0,91	0,765	0,705	
vers gras	geen	4,73	4,70	2,23	2,69	5,99	0,64	0,750	0,787	Van Vuuren, 1993
	HS	4,73	4,50	2,23	2,65	3,84	1,63	0,738	0,745	
	HF	4,73	9,60	2,23	3,56	3,84	2,93	0,779	0,792	
vers gras	N500	5,60	4,50	2,38	2,65	4,64	0,32	0,774	0,770	Van Vuuren, 1992
	N275	4,90	4,50	2,26	2,65	6,35	0,32	0,757	0,797	
	N500	4,20	4,50	2,14	2,65	4,96	0,32	0,734	0,756	
	N275	6,60	4,50	2,56	2,65	4,74	0,32	0,794	0,768	
jonge silage	geen zetmeel	4,00	8,34	2,10	3,34	4,65	2,96	0,754	0,844	Klop et al., 1997
	0,75 kg zetmeel	4,00	8,34	2,10	3,34	4,47	2,85	0,754	0,826	
	1,5 kg zetmeel	4,00	8,34	2,10	3,34	4,23	2,69	0,754	0,845	
oude silage	geen zetmeel	3,50	8,32	2,01	3,33	5,01	2,18	0,732	0,776	
	0,75 kg zetmeel	3,50	8,32	2,01	3,33	5,28	2,30	0,732	0,791	
	1,5 kg zetmeel	3,50	8,32	2,01	3,33	4,69	2,04	0,732	0,775	

**Bijlage 8. Geselecteerde voedingrediënten voor de berekening van pensafbraakcharacteristieken van RNSP.**

Omschrijving	NDF	D**	U	kd <sub>D</sub>	kp <sub>D</sub>	FOSp	VCNDF	RNSP	W	D	U	kd <sub>D</sub>	kp <sub>D</sub>	FOSp	VCRNSP
	g/kg DS	%		% p.u.		g/kg NDF	%	g/kg DS	%			% p.u.		g/kg RNSP	%
Aardappelpersvezels	220	90.2	9.8	3.85	2.54	544	60.4	256	0.0	98.0	2.0	11.83	3.96	735	81.6
Aardappelvezels	326	82.8	17.2	6.02	2.92	558	62.0	272	38.9	61.1	0.0	32.34	7.59	849	94.3
Bietenperspulp	502	94.8	5.2	4.45	2.65	595	66.1	292	0.0	98.8	1.2	5.53	2.84	653	72.6
Bietenperspulp	542	96.0	4.0	4.21	2.60	593	65.9	267	0.0	99.1	0.9	4.32	2.62	616	68.5
Bietenpulp, gedroogd	356	93.2	6.8	6.59	3.03	639	71.0	232	13.2	86.1	0.7	8.62	3.39	715	79.4
Bietenpulp, gedroogd	421	94.3	5.8	8.32	3.33	673	74.8	304	0.0	100.0	0.0	9.92	3.62	733	81.4
Bietenpulp,gedroogd	380	93.7	6.3	8.55	3.37	672	74.7	338	35.3	64.7	0.0	15.17	4.55	789	87.7
Citruspulp	195	92.6	7.4	7.57	3.20	651	72.3	424	22.1	77.9	0.0	11.88	3.96	758	84.2
Citruspulp	191	93.6	6.4	5.65	2.86	622	69.1	384	25.7	74.3	0.1	7.94	3.26	709	78.8
Citruspulp	205	92.7	7.3	6.86	3.07	640	71.1	456	18.7	80.8	0.4	11.54	3.90	751	83.4
Lijnzaadschilfers	205	65.2	34.8	5.72	2.87	434	48.2	190	0.0	91.2	8.8	9.78	3.59	667	74.1
Lijnzaadschroot	221	70.3	29.7	3.50	2.48	412	45.8	200	44.2	53.4	2.3	7.14	3.12	677	75.2
Lupinen	292	95.1	4.9	3.50	2.48	557	61.9	234	25.1	74.9	0.0	9.83	3.60	738	82.0
CVB Referentiemonster*	189	81.7	18.3	4.29	2.62	508	56.4	84	52.6	38.5	8.9	5.17	2.77	575	63.9
CVB Referentiemonster*	189	82.0	18.0	3.28	2.44	470	52.3	84	21.7	77.7	0.6	7.11	3.12	690	76.7
CVB Referentiemonster*	191	82.2	17.8	2.95	2.38	455	50.6	82	48.9	48.9	2.2	3.53	2.48	543	60.4
CVB Referentiemonster*	191	85.5	14.5	5.33	2.80	560	62.3	82	36.4	56.9	6.8	3.01	2.39	494	54.9
CVB Referentiemonster*	191	89.6	10.4	2.96	2.38	497	55.2	82	45.2	51.4	3.5	3.20	2.42	518	57.6
Sojabonen getoast	118	97.0	3.0	5.59	2.85	643	71.4	132	27.7	72.3	0.0	10.47	3.71	746	82.9
Sojabonen niet getoast	151	98.7	1.3	4.76	2.70	630	70.0	140	28.8	71.2	0.0	11.42	3.88	756	84.0
Sojaschroot	204	98.0	2.0	4.07	2.58	600	66.7	137	44.9	55.1	0.0	9.21	3.49	733	81.4
Gemiddelde	261	89.0	11.0	5.14	2.77	569	63.2	222	25.2	73.0	1.8	9.47	3.54	688	76.4
St. Dev.	116	8.9	8.9	1.70	0.30	80	8.9	117	17.7	18.3	2.8	6.19	1.10	92	76.2

\* : CVB referentiemonster = 30% sojaschroot (RE 47%), 35% kiemenarm maïsmeel en 35% suikerarm grasmeel. Dit mengsel bevat per kg ca. 230 g ruw eiwit, ca. 220 g NDF, en ca. 220 g zetmeel.

\*\* :  $D = 100 - W - U$  (voor NDF geldt:  $W=0$ ).