

574 Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg

N. Agergaard, S. Boisen, L. Neergaard
og P. E. Andersen.
Statens Husdyrbrugsforsøg

I. E. Ternrud
Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala

Indflydelsen af NaOH-behandlet halm på omsætningen af kulhydrater, kvælstof og mineralstoffer hos får

*Influence of sodium hydroxide-treated
straw on the metabolism of carbohydrates,
and minerals in sheep*

English Summary



I kommission hos Landhusholdningsselskabets forlag,
Rolighedsvej 26, 1958 København V.

Trykt i Frederiksberg Bogtrykkeri 1984

FORORD

Beretningen beskriver en detaljeret undersøgelse af omsætningen af kulhydrater, protein- og mineralstoffer hos får, der blev fodret med ubehandlet og ludet halm. Omsætningens omfang er bestemt før og efter pylorus. Endvidere er det søgt klarlagt, hvorvidt optagelsen af base har påvirket dyrenes syre-basebalance.

Projektet blev udført som et led i et nordisk halmforskningsprogram med forsøgsleder, cand. agro Preben E. Andersen som projektkoordinator. Det var baseret på et projektforslag, udarbejdet af forsøgsleder, lic. agro. Victor C. Mason og lic. agro V. Friis Kristensen, og blev støttet af Landbrugets Samråd for Forskning og Forsøg (projekt nummer K9 og Nordisk Kontaktorgan for Jordbrugsforskning nr 43).

Forsøgsleder, dr. med. vet. Niels Agergaard har forestået forsøgene, udført fistuleringerne på fårene og skrevet kapitlet om mineralstofomsætningen.

Cand. scient. Sigurd Boisen har forestået blodprøveudtagningen og skrevet kapitlet om aminosyreomsætningen.

Cand. agro. Lise Neergaard har forestået opsamlingerne, data- og tekstbehandlingen og skrevet kapitlet om kulhydratomsætningen.

Cand. pharm. Ingrid E. Ternrud har i samarbejde med professor Oluf Theander, afdelingen for kemi og molekylærbiologi, Uppsala Universitet, udført de meget detaljerede kulhydratanalyser.

Cand. pharm. Steen Bech-Andersen har stået for aminosyreanalyserne, og cand. agro. Jens Oluf Andersen har stået for analyserne af flygtige fedtsyrer, urea og ammoniak. Laboranterne Zipora Krage-lund (M.Sc.) og Kirsten Hansen har udført de fleste analyser på blod- og duodenalprøverne, medens de øvrige analyser er udført på kemisk sektion under ledelse af forsøgsleder, cand. polyt. Kirsten Weidner.

Forvalter Henning Laursen, dyrepasser Margit Jensen og elev Birgitte Funk passede forsøgsdyrene, og sekretær Carl Cramer har renskrevet tabellerne.

INDHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	7
I. KULHYDRATOMSÆTNINGEN	7
II. KVÆLSTOFOMSÆTNINGEN	9
III. MINERALSTOFOMSÆTNINGEN	11
ENGLISH SUMMARY	14
I. CARBOHYDRATE METABOLISM	14
II. NITROGEN METABOLISM	17
III. MINERAL METABOLISM	19
1. INDLEDNING	22
2. MATERIALER OG METODER	23
2.1 Forsøgsplaner	23
2.2 Prøveudtagning	24
2.3 Analysemetoder	25
2.4 Statistiske analyser	27
2.5 Anvendte indikatorer	27
2.5.1 Ekstern indikator	27
2.5.2 Intern indikator	28
2.5.3 Efterundersøgelse af foderets passagehastighed	29
2.6 Litteratur	31
3. KULHYDRATOMSÆTNINGEN OG DEN BEREGNED ENEGIOMSÆTNING	33
3.1 Teoretisk baggrund	33
3.1.1 Halmens sammensætning	33
3.1.2 Mikrobiel nedbrydning af halmens cellevægsbestanddele ...	36
3.1.3 Ludningens virkning på halmen	38
3.1.4 Den kemiske bestemmelse af cellevægsbestanddele i planter	39
3.2 Resultater og diskussion	43
3.2.1 Rationernes kemiske sammensætning	43
3.2.2 Beregnet energi og foderniveau	46

3.2.3	Den tilsyneladende fordøjelighed af de enkelte næringsstoffer ...	48
3.2.4	Fordøjeligheden af de enkelte næringsstoffer før og efter pylorus ...	51
3.3	Konklusion	63
3.4	Litteratur	64
4	KVÆLSTOFOMSÆTNINGEN OG AMINOSYREFORSYNINGEN	68
4.1	Teoretisk baggrund	68
4.1.1	Aminosyrerne og deres bestemmelse	68
4.1.2	Oversigt over kvælstofomsætningen hos drøvtyggere	70
4.1.3	Mikrobiel proteinsyntese i vommen	73
4.1.4	Bestemmelse af den mikrobielle proteinsyntese i vommen ..	75
4.1.5	Protein nedbrydningen og aminosyreforsyningen i tyndtarmen	78
4.1.6	Aminosyrernes omsætning uden for fordøjelseskanalen	80
4.1.7	Aminosyrebehov	80
4.2	Resultater og diskussion	82
4.2.1	Foderets kvælstofkilder	82
4.2.2	Aminosyreomsætningen	84
4.2.3	Mikrobiel proteinsyntese i vommen	91
4.2.4	Aminosyrefordøjelsen i tyndtarmen	96
4.3	Konklusion	101
4.4	Litteratur	102
5.	MINERALSTOFOMSÆTNING OG SYRE-BASEBALANCE	104
5.1.	Teoretisk baggrund	104
5.1.1	Væskerummene	105
5.1.2	Væskereguleringen	108
5.1.3	Vandbalancen	108
5.1.4	Syre-basebalancen	110
5.2	Resultater og diskussion	111
5.2.1	Mineralstofomsætningen	111
5.2.1.1	Natrium, kalium og klorid	114
5.2.1.2	Kalcium, magnesium og fosfor	118
5.2.2	Nettobase	118
5.2.3	Resorption før og efter pylorus	120
5.2.4	Mineralstoffer i blodet	128
5.2.5	Syre-baseparametre i blodet	130

5.2.6	Mineralstoffer og elektrolytter i urin og gødning	131
5.2.7	Mineralstofoptagelsen i relation til den endogene omsætning	135
5.3	Konklusion	143
5.4	Litteratur	144
6.	APPENDIKS. DEFINITIONER OG ANVENDTE FORKORTELSER	146

SAMMENDRAG

Omsætningen af kulhydrater, kvælstof og mineralstoffer blev undersøgt hos 3 udvoksede beder, der vejede 60 kg og var af racen Hvidhovedet Marsk. Fårene var 5 uger i forvejen blevet forsynet med en T-formet kanyler i duodenum, 5-10 cm efter pylorus. Fårene blev fodret 2 gange daglig og havde fri adgang til drikkevand. Følgende 4 rationer blev anvendt: Ubehandlet halm (Ration A), NaOH-behandlet halm (Ration B), NaOH-behandlet halm + valset byg (Ration C og D), idet der blev givet mere pr dag af Ration D. Til alle 4 rationer blev der givet fiskemel som proteinkilde, idet denne dog blev reduceret på rationerne C og D i forhold til disses indhold af bygprotein. Desuden blev der givet urea for at sikre en rigelig kvælstofforsyning til den mikrobielle proteinsyntese i vommen. Før hver fodring blev der givet en kromoxyd-pille. Hver fodringsperiode omfattede 21 dage bestående af en forperiode på 7 dage, 3 dages duodenalopsamling, 7 dages balanceperiode med kvantitativ opsamling af gødning og urin og til sidst igen 3 dages duodenalopsamling. Mængden af tørstof, der passerede pylorus, blev beregnet fra forholdet mellem kromoxyd og tørstof.

I. KULHYDRATOMSÆTNINGEN

Den tilsyneladende fordøjelighed af foderets kulhydratfraktioner i de 4 rationer blev undersøgt med særlig henblik på virkningen af halmens ludbehandling og af en tilblanding af stivelsesholdigt foder i form af valset byg.

Kulhydratfraktionerne blev analyseret i foder, prøver fra tarminholdet ved pylorus og i gødningen. Der blev foretaget en opdeling i NFE- og træstoffraktionerne og i S+S- og RCH-fraktionerne; desuden blev NDF bestemt. I foderemnerne og i samleprøver fra alle 3 dyrs tarminhold og gødning blev indholdet af hemicellulose, cellulose og Klason-lignin bestemt på basis af indholdet af mono- og disakkarider.

Analyser af halmen før og efter ludbehandlingen viste, at NDF-fraktionen i % af organisk stof var ca 10 procentenheder (pce) lavere i ludet halm end i det ubehandlede parti. Dette var ikke i overensstemmelse hverken med forskellen mellem RCH-indholdet, der kun udgjorde en forskel på ca 1 pce, eller med forskellen mellem summen af Klason-lignin, hemicellulose og cellulose i de to analyser, der kun udgjorde ca 2 pce i de to halmpartier. Dette afslørede et tab i NDF-fraktionen ved ludningen, hvoraf fremgår, at NDF ikke er et eksakt udtryk for cellevægsbestanddelene.

En beregning af det energetiske ernæringsniveau i forhold til vedligeholdelsesbehovet ud fra de tilsyneladende fordøjede næringsstoffer viste, at optagelsen af omsættelig energi i ration A var på 0.6 x vedligehold og at niveauet steg med 0.2 enheder i hver ration fra A til D.

Fordøjelighedskvotienterne for tørstof og organisk stof ved fodring med ration A var henholdsvis 53% og 56% og 14-17 pce lavere end med de to bygrationer, C og D. Ved NaOH-behandlingen af halmen i ration B steg fordøjelighedskvotienterne omkring 9 pce i forhold til ration A.

Træstoffets fordøjelighed steg fra 59% i ration A til 73% i ration B. Men i ration C og D bevirkede bygindholdet et fald til henholdsvis 64% og 61%. RCH-fordøjeligheden steg ligeledes med 11 pce på grund af ludbehandlingen, også her var forskellene mellem ration A og såvel ration C som D ikke signifikante. NFE-fraktionens fordøjelighed var væsentlig lavere, end den var for S+S, som i rationerne med byg fordøjedes med næsten 100%. Dette skyldes at NFE foruden S+S indeholder ukendte mængder vandopløseligt hemicellulose og en stor del af ligninfraktionen.

Det øgede stivelsesindhold på henholdsvis 221 g og 251 g pr dag blev beregnet til at forårsage et fald i fordøjet træstof på henholdsvis 15 g og 25 g pr dag, d.v.s. i dette forsøg et fald på 7-10 g fordøjet træstof pr 100 g S+S i foderet. Hemicellulosens fordøjelighed var 55% før og 74% efter ludbehandlingen. Det viste sig, at medens hemicellulosens fordøjelighed ikke påvirkedes nævneværdigt af stivelsen, viste den nedsatte fordøjelighed sig i cellulosefraktionen, hvor det beregnede tab var 22 g og 19 g i henholdsvis ration C og D. Cellulosens fordøjelighed var 44% før og 73% efter behandlingen, men faldt efter bygtilskuddet til henholdsvis 54% og 59% af de optagne mængder.

Nedbrydningen af kulhydratfraktionen i formaverne, udtrykt i % af optagne mængder, var påvirket såvel af ludningen som af den tilførte bygstivelse. Fordøjeligheden af foderets cellevægsbestanddele i RCH-fraktionen øgedes fra 46% til 61% i vommen hos fårene, men faldt igen i bygrationerne C og D. Til gengæld øgedes fordøjeligheden efter pylorus især på den største ration (D). Noget lignende gjorde sig gældende såvel for NDF-fraktionen som for celluloseens vedkommende. Forgæringen af cellulosen i vommen var på ration A ca 40%, men forøgedes ved ludning med 20 pce på ration B, men kun godt 10 pce på ration C og var ikke forøget på ration D.

Hemicelluloseens nedbrydning i formaverne steg fra 48% til 70% på grund af ludningen; tilsætning af byg medførte kun et mindre fald, som oven i købet blev udlignet ved en tilsvarende øget fordøjelighed efter pylorus.

Til trods for S+S-fraktionens lette nedbrydelighed i vommen, blev omkring 10% fordøjet efter pylorus på bygrationerne, sandsynligvis bragt dertil som oplagsnæring i vombakterierne.

II. KVÆLSTOFOMSÆTNINGEN

Kvælstofomsætningen blev undersøgt med særlig henblik på aminosyreomsætningen, dvs. den mikrobielle aminosyresyntese i vommen og aminosyreoptagelsen i tyndtarmen.

Foderets aminosyreindhold stammede først og fremmest fra fiskemel og byg, da halm kun indeholder lidt protein. Analyser af foderkomponenternes aminosyresammensætning viste, at proteinkvaliteten i fiskemel var bedre end i byg.

Aminosyreomsætningen ved fodring med de 4 rationer blev undersøgt ved bestemmelse af aminosyreindholdet i foder, duodenal passage og gødning. Heraf fremgik det, at der i formaverne var et tab af både essentielle og ikke-essentielle aminosyrer på Ration A, medens der på rationerne B, C og D var en stigende gevinst på såvel essentielle aminosyrer som på aminosyrerne totalt, men alligevel var der et tab af ikke-essentielle aminosyrer på alle rationer. Såvel proteinmængden som proteinkvaliteten er således blevet forbedret som følge af den mikrobielle omsætning i formaverne ved fodring med rationerne B, C og D. Kvalitetsforbedringen skyldes især en netto-syntese af lysin, treonin, isoleucin og tyrosin. Absorptionen i

tyndtarmen af disse aminosyrer samt asparagin oversteg indholdet i foderet ved Ration C og D, men var i alle andre tilfælde under foderets indhold af de enkelte aminosyrer.

Den mikrobielle proteinsyntese i formaverne blev bestemt, dels på grundlag af fordøjede kvælstoffrie ekstraktstoffer (NFE) og træstof, dels på grundlag af diaminopimelinsyre (DAPA) i duodenalpassagen, og dels på grundlag af allantoin i urinen. De 3 metoder gav dog noget afvigende resultater, specielt ved Ration A. Da DAPA-metoden er den mest direkte metode, må man formode, at det også er den mest nøjagtige. På grundlag af denne metode blev der beregnet en produktion på henholdsvis 23, 18, 36 og 36 g mikrobielt-N pr kg tilsyneladende forgæret organisk stof i vommen med rationerne A-D. Resultaterne tyder på, at effektiviteten i den mikrobielle proteinsyntese er nedsat ved fodring med NaOH-behandlet halm alene, men øget når der også gives byg. Forskellene skyldes et kompliceret samspil mellem ændringer i passagehastighed, vom-pH, kulhydraternes tilgængelighed m.m. På Ration A og B udgjorde det mikrobielle organiske stof i duodenalpassagen ca 20% af det organiske stof, der blev forgæret i formaverne, medens det på Ration C og D udgjorde ca 40%.

Den tilsyneladende fordøjelighed af aminosyrerne i tyndtarmen var gennemgående uafhængig af foderrationen. Derimod var der nogle karakteristiske forskelle imellem de forskellige aminosyrer. De basiske aminosyrer arginin, lysin og histidin havde en forholdsvis høj fordøjelighed på henholdsvis 84%, 82% og 81%, medens cystein havde en særlig lav fordøjelighed på ca 69%. De øvrige aminosyrer havde stort set alle en fordøjelighed på 76-79%.

Absorptionen i tyndtarmen af de enkelte aminosyrer var i alle tilfælde betydeligt over behovet, bortset fra absorptionen af cystein, der var i underkanten af behovet. En rigelig absorption af methionin, der let kan omdannes til cystein, kompenserer dog herfor, men resultaterne viser tydeligt, at den første begrænsende aminosyre hos får ofte vil være cystein (eller methionin).

Aminosyresammensætningen i duodenalpassagen var næsten helt uafhængig af sammensætningen i foderrationen, hvilket viser, at størstedelen af foderproteinet blev omdannet til mikrobielt protein. Fiskemelsprotein med en god aminosyresammensætning og bygprotein med en forholdsvis dårlig aminosyresammensætning er således ble-

vet omdannet til mikrobielt protein med en forholdsvis god sammensætning (bortset fra et lavt indhold af svovlholdige aminosyrer). Sammensætningen i gødningen minder meget om sammensætningen i duodenalpassagen, men lysin-, arginin- og histidinindholdet er lavere medens cysteinindholdet er højere. Disse forskelle afspejler tilsyneladende nogle karakteristiske forskelle i aminosyresammensætningen i mikroorganismerne i vommen og blind- og tyktarmen, og forklarer de tidligere omtalte forskelle i fordøjeligheden af de enkelte aminosyrer.

Aminosyre-N omsætningen viste, at der var et tab af aminosyre-N i formaverne på 6% ved Ration A, men en gevinst på hhv 3%, 8% og 10% ved rationerne B, C og D. Af det aminosyre-N, der passerede pylorus, blev der på alle rationer absorberet ca 78%, medens der af total-N kun blev absorberet ca 70%.

Kvælstofomsætningen viste endvidere, at der var 2-3 gange så meget kvælstof i urinen som i gødningen, hvilket er lidt usædvanligt hos drøvtyggere, der normalt udskiller det meste kvælstof med gødningen. Årsagen må ligge i en rigelig kvælstofforsyning, hvilket også fremgår af, at der på alle rationer var et kvælstoftab i vommen af ammoniak, der er diffunderet over vomvæggen. Aflejringen af kvælstof var på alle rationer på 2-4 g pr dag, hvilket er i god overensstemmelse med, at udvoksede får normalt aflejrer 1-2 g kvælstof i ulden pr dag.

III. MINERALSTOFOMSÆTNINGEN

Mineralstofomsætningen blev undersøgt med særlig henblik på natrium og nettobase (NB).

Ved anvendelsen af NaOH-behandlet halm (ration B, C og D) steg natriumindtagelsen indtil 13,6 g/dag, hvilket var 11 gange så meget som i det ubehandlede halm (ration A). Selv om indtagelsen var 15 gange større end behovet, var absorptionen fra fordøjelseskkanalen praktisk taget kvantitativ. Udskillelsen i urinen var tilsvarende høj.

Indtagelsen af NB var indtil 4 x højere ved optagelsen af ludet halm, men ligesom for natrium blev merindtagelsen fuldstændig absorberet og udskilt i urinen.

Podring med NaOH-behandlet halm gav mod forventning negative natriumbalancer. Det skyldes sandsynligvis den store omsætning af base og den dermed forbundne store udskillelse i urinen, hvorved der alt andet lige indtræder en forøget udskillelse af natrium.

Der fandtes ligeledes negative kloridbalancer. Forklaringen er dels den høje natriumudskillelse, som automatisk ledsages af høj kloridudskillelse, og dels det relativt høje indhold af bikarbonat i plasma og ekstracellulærvæsken, hvorved der fortrænges en ækvivalent mængde klorid i overensstemmelse med elektroneutralitetsprincippet.

For kalcium, magnesium og fosfor var fordejlens og balancerne samt udskillelsesmønstret upåvirket af foderets indhold af base. Resultater af variansanalyser på mineralstofretentionen er givet i tabel 5.4.

Da fårene var forsynet med kanyler i duodenum, var det muligt at bestemme omsætningen af mineralstoffer og nettobase i henholdsvis formaverne og løben samt i den resterende del af tarmsystemet.

Mineralstofindholdet i duodenalpassagen var såvel kvalitativt som kvantitativt næsten upåvirket af ludoftagelsen, idet der allerede i formaverne skete en udligning af koncentrationen af såvel natrium som NB. Derimod øvede stigende energikoncentration i rationerne C og D en vis indflydelse på passagen i retning af et højere flow.

Da absorptionen af NB fandt sted før pylorus, var pH i duodenum ikke påvirket.

I plasmaet fandtes et højere indhold af natrium og bikarbonat, og i blodet indtrådte en signifikant stigning i pH og baseoverskud. Syre-baseparametrene viste, at dyrene havde en svag metabolisk alkalose.

På rationerne med ludet halm påvirkedes urinens sammensætning, men ikke diuresens størrelse. Natrium-udskillelsen steg indtil 96 gange, og bikarbonatudskillelsen steg til et niveau, svarende til $\text{pH} = 8.8$, hvilket var 3 pH-enheder højere end på ration A. Elektrolytkoncentrationen, som på ration A var 425 mOsmol/l, steg samtidigt til det dobbelte ved optagelse af ludet halm.

Der skete ingen udskillelse af NB i urinen på ration A, men indtil 270 mækv/l på ration B, hvilket svarer til 60-70% af den totale udskillelse.

Indtagelsen af drikkevand steg indtil 41% ved fodring med ludet halm, men stigningen skete ikke som følge af foderets indhold af base, men derimod som følge af dyrenes højere tørstofoptagelse. På alle rationer drak fårene ca 5 l vand pr kg optaget fodertørstof.

I gødningen steg natriumudskillelsen ca 2,5 gange, men koncentrationen af NB var upåvirket af fodringen.

Da transporten af mineralstoffer over epitelet i formaver og tyndtarm er meget større end hvad der kan forventes på grundlag af fordøjelsen før og efter pylorus, er der gennemført nogle beregninger over relationerne mellem den daglige optagelse af natrium og den endogene omsætning. Den endogene tilførsel af natrium til fordøjelseskanalen sker før pylorus med spyt og mavesaft (ca 90%) og efter pylorus med bugspyt, galde og tarmsaft (ca 10%). På ration A udgjorde foderandelen kun 2% af den totale omsætning af natrium, medens foderandelen på ration B, C og D udgjorde mellem 11% og 18% af omsætningen. Sættes optagelsen i relation til nyrernes filtrationsarbejde udgjorde det med foderet tilførte natrium fra ca 0,06% af den daglige ultrafiltration på ration A, medens det på ration B, C og D udgjorde indtil 0,7% af ultrafiltrationsmængden. Den ekstra-belastning med natrium, som påførtes nyrerne ved fodring med ludet halm, var således mindre end 1% af den normale filtrationsmængde.

SUMMARY

The metabolism of carbohydrates, nitrogen and minerals was investigated in three mature Danish-Marsh wethers of 60 kg body weight, fitted with a single T-shaped cannula in the proximal duodenum 5-10 cm distant from pylorus.

In a 3x4 Latin-square design, four straw rations: A (untreated), B (NaOH-treated), C (NaOH-treated plus rolled barley) and D (as C but increased amount) as shown in Tables 2.1 and 2.2, were given. The nitrogen source was defatted fish meal supplemented with urea in order to secure sufficient available N for microbial protein synthesis in the rumen. One gram of Cr_2O_3 was given twice daily prior to each feeding, in order to calculate the amount of dry matter passing the pylorus. In each 21-day experimental period (Table 2.3), a representative 24 h sampling of digesta from duodenum was made twice over a 3-day period and the amount of dry matter passing the pylorus was calculated from the Cr_2O_3 /dry matter relation. The sampling of duodenal digesta was made after a 7-day pre-period and the two samplings were intervened by a 7-day balance period while faeces and urine were collected quantitatively.

I. CARBOHYDRATE METABOLISM

The apparent digestibility of carbohydrate fraktionen in the four rations was investigated mainly in relation to effects of sodium hydroxide-treatment of the straw as such and of the influence of supplying starch by means of rolled barley to the ration.

The composition of plant cell walls are depicted in Table 3.1 and in Figure 3.1, illustrating the main constituents in fibre polysaccharides. An example of the structure of a lignin molecule

in softwood can be seen in Figure 3.2., only that lignin in cereal straw also contains small amounts of protein.

In illuminating the discussion of different analytical methods, Table 3.2 shows the components found by Theander & Åman, when the two fractions, neutral detergent fibre (NDF, van Soest) and acid detergent fibre (ADF, van Soest) were subjected to separation in the so-called Klason-lignin as insoluble residues and in the neutral sugars in the hydrolysates by quantified CGL as alditol acetates, indicating the ambiguity of the NDF and ADF fractions.

Apart from analysis of feedstuffs and samples from each animal, performed in Copenhagen, the method of Theander and Åman was applied to single feedstuffs and to merged weighted (based on daily amounts of dry matter) samples of digesta and faeces and carried out in Uppsala, Sweden by dr. Ingrid Ternrud.

The chemical composition of the experimental diets can be seen in Table 3.3, indicating the various carbohydrate fractions determined in this experiment.

The chemical composition of the untreated and NaOH-treated barley straw used is shown in Tabel 3.4. The NDF fraction in relation to organic matter was 10 per cent units (PCU) lower in the alkaline treated straw, whereas the difference between the RCH fraction was only about 1 PCU. When the sum of cellulose, hemicellulose and Klason-lignin in the two straws was compared, the difference was only 2 PCU. This confirmed a loss of NDF in treated straw, indicating that NDF is not an exact expression of fibre.

Metabolizable energy, based on apparently digested nutrients, was calculated (Table 3.5) and showed the feeding level in ration A to be 0.6 times maintenance requirement, increasing by 0.2 units per ration from A to D.

The apparent digestibility in nutrients when determined individually can be seen in Table 3.6. In cases of statistically significance for treatment when analyzed for variance (Tabel 3.7) the differences between rations have been analyzed by Tukey's test.

Dry matter and organic matter were digested significantly better (14-17 PCU) in the rations containing barley (C and D). The sodium hydroxide-treatment of straw improved on these digestibility quotients with 9 PCU.

Alkaline treatment of the straw resulted in a significant in-

crease of crude fibre digestibility of ration B of 14 PCU as compared to ration A, but the supply of rolled barley decreased the quotients of digestibility of crude fibre to a level not significantly different from that of the ration with untreated straw. This was also the case for the RCH fraction.

The digestibility of NFE was much lower than for S+S, which in the barley rations was digested close to 100%. This difference is caused by the presence, besides S+S, of unknown amounts of water soluble hemicellulose and lignin in the NFE fraction.

Concentration of carbohydrate fractions from ingredients in the experimental rations can be seen in Table 3.8. The increased amount of S+S of 221 g and 251 g per day (Table 3.9) was calculated to cause a drop in digested crude fibre of 15 g and 25 g per day, respectively; this meant a decrease of 7-10 g digested crude fibre per 100 g of S+S. The hemicellulose was digested with 55% before and 74% after treatment. Whereas the influence of S+S on hemicellulose was very little, the decline of digestibility was clearly to be seen in the cellulose part, where it was found that 22 g and 19 g less cellulose was digested in ration C and D. The cellulose was digested with 44% before and 73% after treatment, but the supplementation of barley in ration C and D made the quotients fall to 54% and 59%, respectively.

The digestion of nutrients before and after pylorus are shown in Tables 3.11-3.13 and, for the carbohydrates, compiled in Table 3.14. The decomposition of carbohydrates in the rumen, expressed in per cent of intake, was influenced both by alkaline treatment of the straw and by the supplemented barley. The digestibility of the fed cell wall components in the RCH fraction of ration A and B increased in the rumen from 46% to 61%, respectively, but fell when barley was added to the diet (C and D). In return, the digestibility after pylorus increased, especially when the animals were on the highest feeding level (D). The same pattern was maintained as well for the NDF as for the cellulose. The cellulose disappearance in the rumen of ration A was 40%. It increased 20 PCU by sodium hydroxide treatment (ration B), but only 10 PCU by feeding ration C and remained like A by the ration D.

The hemicellulose disappearance before pylorus increased from 48% to 70% because of alkaline treatment. The addition of barley

resulted only in a minor fall in digestibility and this was made up for by a subsequent increased digestibility after pylorus.

Despite that S+S is readily fermented, 10% of intake from the barley rations was digested after pylorus. In Table 3.15, calculations of microbial dry matter, fat and carbohydrate can be seen. The calculations were based on the microbial nitrogen content in digesta, determined from diaminopimelic acid (Table 4.8 in Chapter 4). The amount of calculated microbial carbohydrate as compared to S+S in the duodenal flow of digesta renders the possibility of the 10% S+S was brought about as stored microbial starch.

II. NITROGEN METABOLISM

The nitrogen metabolism (Figure 4.1) was investigated mainly in relation to the amino acid metabolism i.e. the microbial amino acid synthesis in the rumen and the amino acid absorption in the small intestine.

Feed amino acids were mainly from fish meal and barley as straw only contains small amounts of protein (Table 4.1). Analyses of the amino acid composition in the single feed components showed that the quality of protein in fish meal was better than of that in barley protein (Table 4.2).

The amino acid metabolism from feeding the four straw rations was investigated by determining the amino acid content in feed, duodenal flow and faeces (Tables 4.3-4.6). Calculation of net synthesis before pylorus and apparent absorption after pylorus in per cent of intake (Table 4.7) demonstrated a loss of both essential and non-essential amino acids in the rumen after feeding with ration A, but an increasing gain of essential as well as total amino acids from ration B to D. In contrast, non-essential amino acids were lost with all rations. This means, that both quality and quantity of protein were increased by the microbial metabolism in the rumen after feeding with ration B, C and D, respectively. The increase in quality was particularly due to an increased net synthesis of lysine, threonine, isoleucine and tyrosine. The microbial synthesis of amino acids in the rumen led to a higher absorption in the small intestine of lysine, threonine, isoleucine, tyrosine and asparagine than did the amount of these amino acids from rations C

and D, while the absorption in all other cases was below the content of the single amino acids in the feed.

The microbial protein synthesis in the rumen was calculated on the basis of NFE and crude fibre, on the basis of diaminopimelic acid (DAPA) in duodenal flow, and on the basis of allantoin in urine (Table 4.8). However, the three methods gave somewhat different results, particularly from feeding ration A. The DAPA-method was the most direct method and was, therefore, considered to be the most reliable method. On the basis of this method, the yield of microbial-N in g per kg organic matter fermented was calculated to be 23, 18, 36 and 36 from feeding rations A-D, respectively (Table 4.9). The microbial organic matter in duodenal flow accounted for about 20% of organic matter fermented in the rumen after feeding ration A and B, but about 40% after feeding ration C and D (Table 4.10).

The apparent digestibility of amino acids in the small intestine was essentially independent of the ration (Table 4.11). However, some characteristic differences were found between the various amino acids. The basic amino acids, arginine, lysine and histidine had a relatively high digestibility of 84%, 82% and 81%, respectively, whereas cysteine had an unusually low digestibility of 69%. The other amino acids had a digestibility of 76-79%.

The absorption of amino acids in the small intestine was in all cases considerably higher than the requirement, except of cysteine which was below the requirement (Table 4.12). However, a surplus of methionine compensated for this, but the results demonstrated clearly that the limiting amino acid in sheep often would be cysteine (or methionine). This is caused by a relatively low content of sulphur-containing amino acids in rumen microorganisms and a high requirement for cysteine for wool synthesis.

The amino acid composition in duodenal flow was mainly unaffected by the composition in the feed (Table 4.13), demonstrating that the main part of feed protein was transformed to microbial protein. Consequently, fish meal protein with a biologically good amino acid composition and barley protein with a relatively bad amino acid composition was transformed to microbial protein with a relatively good amino acid composition. The amino acid composition in faeces was close to that in duodenal flow but the content of lysine, argi-

nine and histidine was lower and of cysteine higher in faeces. These differences reflected apparently the similar characteristic differences in the amino acid composition of the microorganisms in the rumen and those in the large intestine (Table 4.14) and explained the before mentioned differences in the digestibility of these amino acids.

The amino acid-N metabolism (Table 4.15) showed a ruminal loss of 6% with ration A, but a gain of 3%, 8% and 10% with rations B, C and D, respectively. The intestinal absorption of amino acid-N passing pylorus was in all rations of about 78%, whereas only about 70% of total N intake was absorbed.

The nitrogen metabolism (Table 4.16) showed that there was 2-3 times more N in the urine than in faeces. This is a somewhat unusual finding in ruminants as they mainly excrete N in faeces but it could be explained by the rather high surplus of N in the ration as indicated by a loss of N in the rumen. The N retention was with all rations 2-4 g per day and in good agreement with the retention of N in wool of usually 1-2 g per day for mature sheep.

III. MINERAL METABOLISM

The mineral metabolism was investigated with special reference to sodium and net base (NB).

Feeding NaOH-treated straw (ration B, C and D) increased sodium intake up to 13.6 g per day (Table 5.1) which was 11 times more than for untreated straw (ration A). Although the intake was about 15 times higher than the requirement, the absorption from the digestive tract was almost complete; however, the extra intake was excreted in the urine (Tables 5.3, 5.12 and Fig. 5.2).

The intake of NB was up to 4 times higher by feeding lyed straw (Table 5.2), however, also in this case the extra intake was absorbed in the digestive tract and excreted in the urine.

Surprisingly, feeding NaOH-treated straw resulted in negative sodium balances (Table 5.1). This was probable caused by the high base intake and the resulting high excretion in the urine, leading to an increased total excretion of sodium (Tables 5.3 and 5.1).

Also the chloride balances were found to be negative. This can be explained, partly by the very high excretion of sodium accom-

panied by a high chloride excretion, partly to the relatively high content of hydrogen carbonate in plasma and extracellular fluid (Table 5.11 and Fig. 5.1), which should displace an equivalent amount of chloride, according to the principle of electron neutrality.

The metabolism of calcium, magnesium and phosphorus (Tables 5.1 and 5.3) was unaffected by the dietary content of base. Results of analyses of variance of the retention of minerals are presented in Table 5.4

The fistulation of the sheep in duodenum made it possible to determine net absorption of mineral and base in the forestomachs plus abomasum and in the intestinal tract after pylorus, separately.

The content of minerals in the duodenal flow was almost qualitatively and quantitatively unaffected by the intake of base. This was due to an equalisation of the concentration of sodium and NB already in the forestomachs (Table 5.5). On the other hand, the increasing energy concentration in ration C and D was followed by an increased rate of flow in duodenum (Tables 5.5 and 5.8).

Absorption of NB took place before pylorus (Table 5.6), and pH in the duodenum was consequently unaffected of base intake (Table 5.7).

Intake of NaOH-treated straw increased concentrations of sodium and hydrogen carbonate in the plasma (Table 5.11). In whole blood a significant increase in pH and base excess occurred (Table 5.11). The acid-base parameters showed that the sheep had a minor metabolic alkalosis.

The rations containing NaOH-treated straw affected the composition of the urine, but not the diuresis (Tables 5.12, 5.13 and 5.15). The urinary excretion of sodium increased until 96 times and an increased excretion of hydrogen carbonate was reflected by a urinary pH of 8.8, which was three pH units higher than after feeding ration A. Accordingly, the electrolyte concentration, which was 425 mOsmol per l in urine from sheep on untreated straw, was doubled when feeding on NaOH-treated straw.

NB was not excreted in the urine when feeding ration A, while on ration B, 270 meqv per l urine was excreted, corresponding to 60% - 70% of the total excretion.

Intake of water increased up to 41% when feeding the lyed straw

(Tables 5.14 and 5.15). However this increment seemed not to be caused by the base content in the feed, but by the higher dry matter consumption by the sheep. Irrespectively of ration, the water intake was approximately 5 l per kg dry matter intake.

The excretion of sodium in faeces increased about 2.5 times, but the concentration of NB was unaffected when feeding NaOH-treated straw (Table 5.16).

As the transport of minerals through the epithelium in the various parts of the whole intestinal tract is much higher than could be expected on basis of the apparently digested amounts before and after pylorus, some calculations of the proportion between intake of sodium and the endogenous turnover were made. The endogenous supply of sodium to the digestive tract is from saliva and gastric juice (about 90%) before pylorus and from pancreatic juice, bile and intestinal fluid (about 10%) after pylorus. When feeding ration A, dietary sodium only contributed 2% to the total sodium turnover, but up to 18% when feeding the rations with NaOH-treated straw (Table 5.20). When comparing the sodium intake to the amount of sodium filtrated by the kidneys, dietary sodium from ration A was only 0.06 per cent of the daily ultrafiltration, but about 0.7 per cent from the rations with NaOH-treated straw (Table 5.22). The extra load of sodium to the kidneys when feeding NaOH-treated straw thus amounted to less than 1% of the normal amounts filtrated.

1. INDLEDNING

NaOH-behandling af træstofholdige fodermidler, som f.eks. halm, er en kemisk metode til forbedring af fordøjeligheden, idet hydroxydionerne nedbryder en række alkalilabile bindinger i cellevæggene (Chesson, 1981), således at den mikrobielle omsætning af potentielt fordøjelige kulhydrater fremmes. Ved de almindeligt benyttede NaOH-koncentrationer på 4-5% af fodermidlets tørstofindhold er den positive effekt på fordøjeligheden af forskellige grovfodermidler tidligere dokumenteret i en række arbejder (Rexen & Thomsen, 1976; Jackson, 1977; Klopfenstein et al., 1972; Berger et al., 1979; Arndt et al., 1980).

Forskellige forhold gør sig imidlertid gældende i forbindelse med optagelsen af NaOH-behandlet grovfoder. Således påvirkes passagehastigheden, idet natriumhydroxydbehandlingen reducerer foderets opholdstid i vommen, samtidigt med at det mikrobielle miljø påvirkes (Klopfenstein, 1972; Berger et al., 1979). Endvidere påvirkes dyrenes mineralstof-, væske- og syre-basebalance (Arndt et al., 1980; Hout, 1982; Kristensen et al., 1978; Scott & Buchan, 1981; Scott, 1982). Andre undersøgelser har vist en nedsat proteinfordøjelighed som resultat af NaOH-behandling af grovfoder (Singh & Jackson, 1971; Levy et al., 1980).

Formålet med de foreliggende undersøgelser var at belyse kulhydrat-, protein- og mineralstofomsætningen hos får i forbindelse med fodring med NaOH-behandlet halm og den dermed forbundne natrium- og basebelastning. Ved at erstatte noget af halmen med byg og fodre denne ration på to niveauer, var det desuden hensigten at fastlægge stivelsens betydning for nedbrydningen af halmens fiberkomponenter (cellulose, hemicellulose m.m.) i vommen og deres videre omsætning i tarmkanalen. Ved anvendelse af duodenalfistulerede får er der gennemført undersøgelser af fordøjelsesprocessernes omfang henholdsvis før og efter pylorus. Endelig tog undersøgelserne sigte på at fastlægge fårenes mineralstofstatus samt syre-basebalance ved hjælp af blodanalyser.

2. MATERIALER OG METODER

2.1 Forsøgsplaner

Forsøget udførtes med 4 udvoksede beder af racen Hvidhovedet Marsk med en gennemsnitlig legemsvægt på omkring 60 kg. Fem uger før forsøgets begyndelse blev dyrene forsynet med en T-formet kanyle i duodenum ca. 10 cm caudalt for pylorus (åbningen mellem løben og tyndtarmen). Kanylen var af polyetylen og havde en indre diameter på 15 mm. Under forsøget, som gennemførtes ved 16°C og ca 60% rel. luftfugtighed, var fårene anbragt i opsamlingsbure, hvorfra der blev foretaget kvantitativ opsamling af gødning og urin.

Et af fårene blev sygt under forsøget, og målingerne fra dette dyr er taget ud af beregningerne.

Sammensætningen af de anvendte foderrationer fremgår af tabel 2.1. Ludningen af halmen udførtes lokalt ved hjælp af en JF-straw processor (J.Freudendahl A/S, DK-6400 Sønderborg), der snitter halmen i stykker på 2-4 cm's længde og samtidig river ca 85% af stråene op på langs. I maskinens blandekammer tilsættes NaOH-opløsning i en mængde, der svarer til 4-5 kg NaOH pr 100 kg halmtørstof.

Som kvælstofkilde anvendtes affedt fiskemel samt et tilskud af urinstof for at sikre en tilstrækkelig tilførsel af let tilgængeligt N til en optimal mikrobiel syntese i vommen. Halmens andel af tørstoffet var 85%, 88%, 49% og 49% i henholdsvis ration A, B, C og D. Ration A, der udgjorde kontrolrationen, indeholdt ubehandlet halm. De tre andre rationer udgjorde forsøgsrationerne med ludet halm, idet C og D indeholdt valset byg, og tildelingen af halm og byg samt fiskemel var øget med 20% på ration D i forhold til ration C.

Fårene blev fodret 2 gange dagligt og med henblik på kvantitative målinger af foderets fordøjelighed i formaverne, blev der indgivet 1 kromtablet indeholdende 1,0 g Cr_2O_3 umiddelbart før hver fodring. Vandoptagelsen målttes dagligt.

Forsøgene udførtes i 4 på hinanden følgende perioder af 3 ugers

Tabel 2.1

Sammensætningen af rationerne

A, B, C og D; daglige tørstofmængder og den procentiske fordeling

Table 2.1

Components in the rations A, B,

C and D; daily intake in dry matter and percentage allocation

	A		B		C		D	
	g	%	g	%	g	%	g	%
Halm (Straw)	500	83.9	-	-	-	-	-	-
Ludet halm ¹ (Lyed straw) ¹	-	-	669	87.5	387	48.9	479	51.2
Valset byg (Rolled barley)	-	-	-	-	353	44.5	400	42.7
Fiskemel ² (Fish meal) ²	74	12.4	74	9.6	30	3.8	35	3.7
Urea	12	2.0	12	1.5	12	1.5	12	1.3
Mineralstoffer ³ (Minerals) ³	10	1.6	10	1.3	10	1.3	10	1.1

¹) Behandlet med 4-5 kg NaOH pr 100 kg tørstof (Supplemented with 4-5 kg NaOH per 100 kg dry matter)

²) Affedtet fiskeprotein koncentrat (Degreased fish meal protein concentrate)

³) Sammensætning (Composition): 47.3% CaHPO_4 ; 16.7% CaCO_3 ; 11.7% Na_2HPO_4 ; 6.7% NaCl ; 11.7% KCl ; 5% MgSO_4 ; 0.01% Fe-citrat; 0.01% $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 0.001% KJO_3 ; 0.001% ZnCO_3 ; 0.001% CuSO_4 ; 0.0001% $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0.0001% Na_2SeO_3

varighed. Hver periode var opdelt i en forperiode på en uge efterfulgt af forsøgsperioden, der strakte sig over 2 uger. Kombinationen af ration, periode og dyr fremgår af tabel 2.2.

2.2 Prøveudtagning

Udtagning af prøver fremgår af opsamlingskemaet i tabel 2.3. På 7., 11. og 18. dagen i hver periode er der udtaget heparinstabiliserede blodprøver i venoject^(R) glas fra V.jugularis til bestemmelse af såvel mineralstofferne: natrium, kalium, calcium, magnesium, og elektrolytterne: klorid og fosfor, som syre-baseparametrene: hæmoglobin, pH, PO_2 , PCO_2 , baseoverskud og bicarbonat, samt til hæmatokrit. Desuden udtoges serumprøver til bestemmelse af protein og glykose. Prøverne blev taget 1 time før og henholdsvis 0,5 time og 4,5 timer efter morgenfodringen.

Tabel 2.2 Forsøgsplan. Kombinationsforsøg med 3 får og 4 rationer (A, B, C og D)

Table 2.2 *Experimental plan. Randomized complete block design with 3 sheep and 4 diets (A, B, C and D)*

Dyr nr. (Animal No.)	1	2	3
<u>Periode (Period)</u>			
I	A	B	C
II	B	C	D
III	D	A	B
IV	C	D	A

Prøver af tarmindehold via duodenalkanylen samt døgnprøver af gødning og urin til bestemmelse af pH, ionstyrke og titrerbar indhold af base blev ligeledes indsamlet på 7., 11. og 18. dagen. I to perioder af hver 3 døgns varighed, begyndende på henholdsvis 8. og 19. dagen, blev der udtaget repræsentative 24-timers samleprøver af duodenalindholdet: 12 prøver á 180 ml blev opsamlet med 4 eller 6 timers mellemrum (tabel 2.3) og straks frosset ned. Før udtagning til analyse blev prøverne optøet og blandet, og samleprøven blev betragtet som repræsentativ for stofpassagen gennem duodenum i løbet af døgnet. Imellem disse duodenalopsamlinger, fra 12. til 18. døgn, gennemførtes balanceforsøg med kvantitativ opsamling af gødning og urin.

2.3 Analysemetoder

De kemiske analyser for tørstof, aske, N, Stoldt fedt, træstof, og NDF (van Soest) er gennemført efter traditionelt benyttede metoder (Jakobsen og Weidner, 1973), og LHK (sukker og stivelse, S+S) som beskrevet af Dahlgaard Christensen (1980). Aminosyreanalyserne er gennemført efter metoder, beskrevet af Mason et al. (1980).

Bestemmelser af natrium, kalium, kalcium, magnesium og fosfor i foder, duodenalindhold og fæces er foretaget efter foraskning i varmeovn. I plasma er bestemmelserne foretaget efter vådforskning med $KClO_4$ og HNO_3 , medens urinprøverne målttes efter fortynding uden destruktion. Natrium og kalium målttes i cæciumkloridopløsning ved

Tabel 2.3 Tidsskema for prøveudtagning af blod og duodenalindhold samt for opsamling af gødning og urin

Table 2.3 Time Table for sampling blood and duodenal digesta and for collection of faeces and urine

	Forsøgsperiode, foderdag (Experimental period, day of feeding)																
	1.-6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	
Blod (Blood)		7 ⁰⁰ 9 ³⁰ 12 ³⁰				7 ⁰⁰ 9 ³⁰ 12 ³⁰							7 ⁰⁰ 9 ³⁰ 12 ³⁰				
Duodenalindhold (Duodenal digesta)		7 ⁰⁰ 9 ³⁰ 12 ³⁰	8 ³⁰ 14 ³⁰ 20 ³⁰	2 ³⁰ 6 ³⁰ 12 ³⁰ 18 ³⁰	0 ³⁰ 4 ³⁰ 10 ³⁰ 16 ³⁰ 22 ³⁰	7 ⁰⁰ 9 ³⁰ 12 ³⁰							7 ⁰⁰ 9 ³⁰ 12 ³⁰	8 ³⁰ 14 ³⁰ 20 ³⁰	2 ³⁰ 6 ³⁰ 12 ³⁰ 18 ³⁰	0 ³⁰ 4 ³⁰ 10 ³⁰ 16 ³⁰ 22 ³⁰	
Gødning (Faeces)		8 ⁰⁰				8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰				
Urin (Urine)		8 ⁰⁰				8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰	8 ⁰⁰				

atomabsorptionspektrofotometri (AAS) på Unicam SP 9, medens kalций og magnesium målttes i lantthankloridopløsning ligeledes ved AAS. Fosfor i foder, fæces og urin bestemtes kolorimetrisk efter reaktion med ammoniumvanadamolybdat. Uorganisk fosfat i plasma bestemtes på samme måde, men efter en forudgående proteinfældning. Klorid bestemtes potentiometrisk på ekstrakter af foder, duodenalindhold og fæcesprøver, eller direkte i plasma og urin ved hjælp af Radiometer CM 10 chloridtitrator.

Protein og glykose i plasma er bestemt med henholdsvis biuret-metoden (Weichselbaum, 1946) og en enzymatisk kolorimetrisk metodik (Trinder, 1969). Koncentrationen af flygtige fedtsyrer i duodenalindholdet bestemtes ved titrering efter vanddampdestillation, medens fordelingsprocenterne mellem eddike-, propion- og smørsyre er bestemt med gaskromatografi. $\text{NH}_3\text{-N}$ i duodenalindholdet bestemtes ved en flow injection analysemetode (Ruzicka & Hansen, 1981). Endelig er brintionstyrken og den samlede ionkoncentration i duodenalindholdet bestemt ved henholdsvis titrering med 0,1 N NaOH til pH 7,4 og måling af ledningsevnen.

Analysen af kulhydratfraktionerne i foderet, samt i samleprøver af duodenalindhold og gødning blev udført af Ingrid Ternrud og O. Theander på afdelingen for kemi og molekylær biologi, Sveriges Lantbrukshögskole, Uppsala, og omtales nærmere i kapitel 3.

2.4 Statistiske analyser

Data fra forsøget, der var planlagt som et 4 x 4-faktorielt forsøg, men senere ændret til et 3 x 4-faktorielt forsøg, blev underkastet variansanalyse. Middelverdier med signifikant varians blev sammenlignet ved hjælp af Tukey's test. Beregningerne blev udført på NEUCC, Danmarks Tekniske Højskole ved hjælp af SAS-programmel.

2.5 Anvendte indikatorer

2.5.1 Ekstern indikator

Som ekstern indikator anvendtes Cr_2O_3 i tabletform. Hver tablet

indeholdt 1 g finmalet kromoxyd med forskellige letopløselige bindemidler. Umiddelbart før hver fodring blev 1 pille indført med tabletinjektor.

I balanceforsøget mellem de to duodenalopsamlingsperioder var genfindelsesprocenterne for Cr_2O_3 tæt på 100 (tabel 2.4). Disse er i god overensstemmelse med Ben-Ghedalia et al. (1974), der benyttede opsamlingsperioder af 12 dages varighed.

Til kvantitativ måling af foderets tilsyneladende fordøjelighed i formaverne har MacRae et al. (1972) sammenlignet total opsamling fra re-entrant kanyler ved pylorus med prøveudtagning 12 gange på forskellige tidspunkter af døgnet, fordelt over 72 timer, og med kromoxyd som indikator. Efter korrektion til 100 % genfindelse af indikatoren fandtes ikke signifikante forskelle mellem de passerede mængder tørstof, der blev fundet ved total opsamling og dem, der blev beregnet på grundlag af den ovenfor beskrevne punktopsamling.

2.5.2 Intern indikator

Som intern indikator anvendtes diaminopimelinsyre (DAPA), der er en naturligt forekommende aminosyre i bakteriernes cellevægge. Idet DAPA udelukkende findes i protein af bakteriel oprindelse, vil ind-

Tabel 2.4 Genfindelse af Cr_2O_3 . Pille á 1 g givet før hver fodring (2 gange daglig) til får på ration A, B, C og D (6 dages opsamling)

Table 2.4 Recovery of Cr_2O_3 . A 1 g pellet offered before feeding (twice daily) to sheep on ration A, B, C and D (collection of faeces in 6 d)

Ration	Tørstof i gødning (Faecal dry matter)	Genfunden Cr_2O_3 (Recovered Cr_2O_3)	
		g/dag	I forhold til optaget (In proportion to intake)
A	280	1.931	0.97
B	283	1.970	0.99
C	239	2.017	1.01
D	297	2.043	1.02
(S.E.)			(0.03)

holdet ved pylorus med god tilnærmelse angive størrelsen af den mikrobielt producerede biomasse i vommen.

2.5.3 Efterundersøgelse af foderets passagehastighed

Tre forhold øver indflydelse på den mikrobielle omsætning af foderet i drøvtyggernes formaver: foderets nedbrydelighed, dets passagehastighed og væskemængden, d.v.s. vomindholdets fortyndingsgrad.

Da fårene ikke var forsynet med vomkanyle, har det ikke været muligt direkte at måle, hvor meget formaveindhold, der passerede ud af vommen pr tidsenhed. Men for at få et skøn over tørstoffets passagehastighed fortsattes fodringen i en uge efter forsøget med rationerne A, C og D, men uden krom. Hver 8. time i 4 døgn blev der udtaget prøver fra duodenum og den afsatte gødning blev opsamlet kvantitativt. Materialet anvendtes til bestemmelse af tørstof- og kromkoncentrationen.

Beregningen af tørstoffets passagehastighed på grundlag af duodenalindholdets aftagende indhold af krom er udført, som angivet af Faichney (1975) efter funktionen $C_t = C_0 e^{-kt}$ og $F = kV$, hvor C_t er indikatorkoncentrationen til tiden t , og C_0 er indikatorkoncentrationen, når systemet er i balance efter kontinuerlig indgift af indikator; k er fortyndingshastigheden; F er passagehastigheden pr tidsenhed, og V er indikatorens fordelingsrum. Resultaterne fremgår af tabel 2.5. Såvel den passerende tørstofmængde pr dag, som mængden af tørstof i formaverne er i overensstemmelse med MacRae (1975).

Desuden er indikatorens gennemsnitlige retentionstid i hele fordøjelseskanalen beregnet efter en formel, baseret på gødningsprøver, taget på kendte tidspunkter efter ophør med kontinuerlig indgift af indikator (Faichney, 1975). Selv om MacRae (1975) angiver, at to trediedele af variationen ved sådanne målinger kan hidrøre fra forskelle mellem dyrene, indicerer undersøgelsen dog den forventede stigning i tørstoffets passagehastighed på grund af dets hurtigere nedbrydelighed, opnået ved henholdsvis ludningen af halmen og tilskud af byg.

Tabel 2.5 Orienterende observationer af passagehastigheden af Cr_2O_3 foretaget på prøver fra 3 får på henholdsvis ration A, C og D i løbet af 95 timer. Ligevægtskoncentration i duodenalindhold, passagehastighed og gennemsnitlig retentionstid før pylorus. Dagligt passeret tørstof, dets mængde før pylorus og dets passagehastighedskvotient, samt dets totale retentionstid i fordøjelseskanaalen, beregnet fra Cr_2O_3 -koncentration i gødningen

Table 2.5 Pilot observations of Cr_2O_3 flow rate made once on spot samples during 95 hours from three sheep fed ration A, C and D, respectively. Equilibrium concentration in digesta, rate of flow and mean retention time of the marker. Dry matter flow per day, its compartment size before pylorus and its fractional rate of outflow per 24 h to small intestines. Total mean retention time of dry matter calculated from faecal Cr_2O_3 -concentration

Ration	A	C	D
Får (Sheep)	4	1	3
Cr_2O_3 , g pr 100 g tørstof i duodenal indhold ved t_0 (Concentration of Cr_2O_3 in duodenal flow at t_0)	0.560	0.368	0.416
Passagehastighed ved pylorus, % pr time (Flow rate at pylorus, pct. per hour)	2.43	2.97	3.20
Gennemsnitlig retentionstid før pylorus, timer (Mean retention before pylorus, h)	41	34	31
Tørstof passeret (F), g pr dag (Dry matter flow (F), per 24 h)	357	543	481
Tørstofmængde før pylorus, g (Dry matter compartment before pylorus, g)	612	762	626
Passagehastighedskvotient pr dag (Fractional rate of dry matter outflow from pylorus per 24 h)	0.58	0.71	0.77
Gennemsnitlig retentionstid i hele mave-tarmkanalen, timer (Mean retention time in the entire gastro-intestinal tract, h)	68	54	58

2.6 Litteratur

- Arndt, D.L., Richardson, C.R., Albin, R.C. & Sherrod, L.B. (1980). Digestibility of chemical treated cotton plants byproducts and effect on mineral balance, urine volume and pH. *J. Anim. Sci.*, 51, 215-233.
- Ben-Ghedalia, D., Tagari, H., Bondi, A. & Tadmor, A. (1974). Protein digestion in the intestine of sheep. *Br. J. Nutr.*, 31, 125-142.
- Berger, L.L., Klopfenstein, T. & Britton, R. (1979). Effect of sodium hydroxide on efficiency of rumen digestion. *J. Anim. Sci.*, 49, 1317-1323.
- Chesson, A. (1981). Effects of sodium hydroxide on cereal straws in relation to enhanced degradation of structural polysaccharides by rumen microorganisms. *J. Sci. Food. Agr.*, 33, 745-749.
- Christensen, K.D. (1980). Bestemmelse af letopløselige og lethydrolyserbare kulhydrater (LHK). *Ugeskr. Jordbrug*, 125, 340.
- Faichney, G.J. (1975). The use of marker to partition digestion within the gastro-intestinal tract of ruminants. In: *Digestion and metabolism in the ruminant*. Eds.: I.W. McDonald & A.C.I. Warner. 277-291. Univ. New England, Australia.
- Haupt, T.R. (1982). Water, electrolytes and acid-base balance. In *Dukes Physiology of Domestic Animals*. 9th ed. Ed.: M.J. Swenson. Comstock publishing associates, Cornell University Press, Ithaca, USA, 443-462.
- Jackson, M.G. (1977). Review article: The alkali treatments of straws. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2, 105-115.
- Jakobsen, P.E. & Weidner, K. (1973). Chemistry of feedstuffs and animals. Veterinærfakultetet for FAO-studerende, KVL, København.
- Klopfenstein, T.J., Krause, V.E., Jones, M.J. & Woods, W. (1972). Chemical treatment of low quality roughages. *J. Anim. Sci.*, 35, 418-422.
- Kristensen, v. Friis, Andersen, P.E., Stigsen, P., Thomsen, K.V., Refsgård Andersen, H., Sørensen, M., Ali, S.S., Mason, V.C., Rexen, F., Israelsen, M. & Wolstrup, J. (1978). Natriumhydroxyd-behandlet halm som foder til kvæg og får. 464. Beretn. fra Statens Husdyrbrugsforsøg, København. pp 218.
- Levy, D., Holzer, Z. & Folman, Y. (1980). Chemical processing of wheat straw and cotton byproducts for fattening cattle: 3. Performance of animals receiving material in complete feeds. *Anim. Prod.*, 31(1), 27-33.
- MacRae, J.C. (1975). The use of re-entrant cannulae to partition digestive function within the gastro-intestinal tract of ruminants. In: *Digestion and metabolism in the ruminant*. Eds.: I.W. McDonald & A.C.I. Warner. 261-276. Univ. New England, Australia.
- McRae, J.C., Ulyatt, M.J., Pearce, P.D. & Hendtlass, Jane (1972). Quantitative intestinal digestion of nitrogen in sheep given formaldehyde-treated and untreated supplements. *Br. J. Nutr.*, 27, 39-50.
- Mason, V.C., Bech-Andersen, S. & Rudemo, M. (1980). Hydrolysate preparation for amino acid determinations in feed constituents. *Zeitschr. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde.*, 43, 146-164.
- Rexen, F. & Thomsen, K. Vestergaard. (1976). The effect on digestibility of a new technique for alkali treatment of straw. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1, 73-83.

- Ruzicka, J. & Hansen, E.H. (1981). Flow injection analysis. Chemical analysis. Eds.: P.J. Elwing, J.D. Winefordner & I.M. Kolthoff. John Wiley & Sons, New York.
- Scott, D. & Buchan, W. (1981). Changes in blood composition and urinary mineral excretion in the sheep in response to acute acid-base disturbance. Res. Vet. Sci., 31, 43-47.
- Scott, R.C. (1982). Disorders of sodium metabolism. Vet. Clin. North Am.: Small Animal Practice, 12(3), 375-397.
- Singh, M. & Jackson, M.G. (1971). The effect of different levels of sodium hydroxide spray treatment of wheat straw on consumption and digestibility by cattle. J. Agr. Sci. (Camb.), 77, 5-10.
- Thomsen, K. Vestergaard, Rexen, F. & Kristensen, V. Friis. (1973a). Forsøg med natriumhydroxyd-behandling af halm. 1. Behandlingens indflydelse på halmens fordøjelighed. Ugeskr. f. agron. & horton., 25, 436-440.
- Thomsen, K. Vestergaard, Rexen, F. & Kristensen, V. Friis. (1973b). Forsøg med natriumhydroxyd-behandling af halm. 2. Den kemiske sammensætning af ludbehandlet halm og metoder til måling af oplukningsgraden. Ugeskr. f. agron. & horton., 26, 467-470.
- Trinder, P. (1969). Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor. Am. clin. Biochem., 6, 24-27.
- Weichselbaum, T.E. (1946). Determination of protein in blood. Am. J. Clin. Path., 16, 40-47.

3. KULHYDRATOMSÆTNINGEN OG DEN BEREGNED E ENERGIOMSÆTNING

3.1 Teoretisk baggrund

3.1.1 Halmens sammensætning

Halm består næsten udelukkende af cellevægge. En oversigt i tabel 3.1 over de stoffer, der indgår i planternes cellevægsbestanddele, forklarer hvor komplekst et materiale, der her er tale om.

I byghalm udgør cellulose 29-33%, hemicellulose 23-27% og egentlig lignin omkring 10%, mens pektinindholdet er ubetydeligt. Af tabel 3.1 fremgår det, at de enkelte sukkerenheder, som ses i figur 3.1, genfindes i mange forskellige forbindelser både i hemicellulose, pektin og de andre grupper, som er nævnt i tabellen. Fordelingen er dog meget forskellig. Af de neutrale sukkerenheder i byghalm udgør glykose, der overvejende stammer fra cellulose, omkring 57%. Xylose og arabinose, der bidrager med henholdsvis ca 34% og 6-7%, udgør sammen med glukuronsyre størstedelen af hemicellulosen, idet galaktose kun udgør 1,6% og mannose 0,4% (Theander & Åman, 1978).

Lignin består af et tredimensionalt netværk, der ud fra aminosyrerne fenylalanin og tyrosin er bygget op af fenylpropan-enheder. Disse er dannet fra cinnamylalkoholerne coniferyl, sinapyl og paracumaryl, der alle er ringformede forbindelser, som transformeres til lignin ved hjælp af en kompleks polymerisation ved dehydrogenering. Ligniners sammensætning varierer afhængig af plantens art og alder, samt lokalisering i planten; forskellen består bl.a. i den procentiske fordeling af de ovennævnte alkoholer. I græsser er der ofte mange para-cumarylenheder.

Bindingerne i ligninmolekylet er meget stabile og fuldstændig modstandsdygtige over for hydrolyse. I modsætning til træarternes ligniner, hvis opbygning ses i figur 3.2, indgår der altid mindre

Tabel 3.1 Inddeling af bestanddelene i plantefibre¹⁾Table 3.1 Classification of dietary fibre components¹⁾

Almindelig gruppering

(General classification)

Polysakkarider

(Polysaccharides)

Cellulose

Glukaner (β -1,4D-glykoseenheder)

Ikke celluloseholdige polysakkarider

(Non-cellulosic polysaccharides)

Hemicellulose

(Hemicelluloses)

Xylaner

Glukuronxylaner

Arabinoxylaner

Mannaner

Galactoglucomannaner

Galactoglukaner

Pektinstoffer

(Pectic substances)

Galacturonaner

Rhamnogalacturonaner

Arabinaner

Galactaner

Arabinogalactaner

Andre polysakkarider

(Other polysaccharides)

Xyloglukaner (β -1,4D-glykoseenheder) β -glukaner (β -1,4 og β -1,3-D-glukanenheder)

Gummiararter

(Gum)

Galactaner (indeholder uronsyrerester)

Glukuronomannaner

Galactomannaner

Planteslim

(Mucilages)

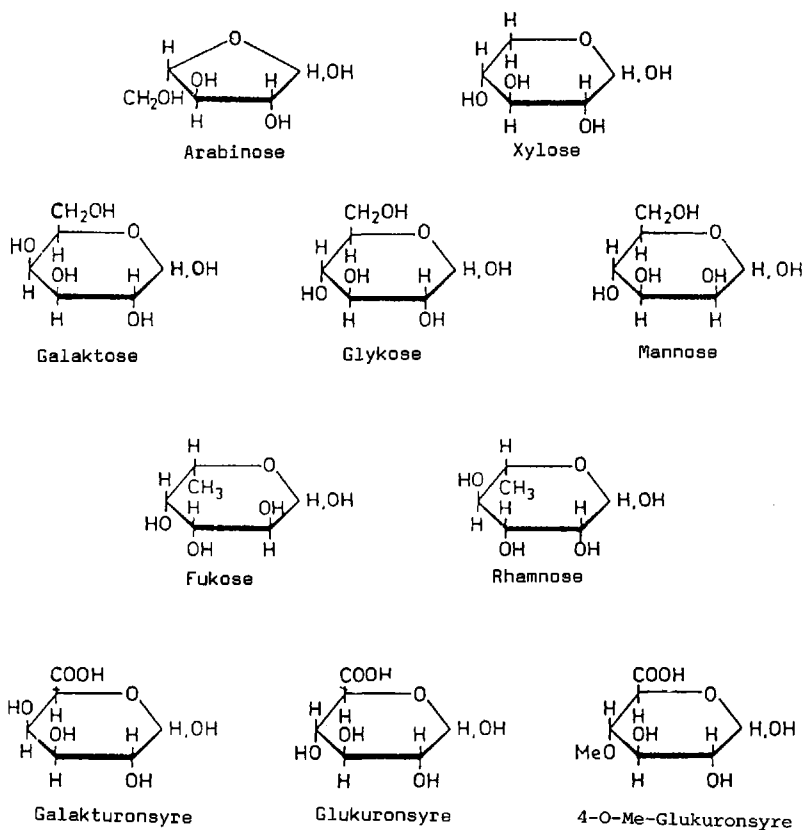
Galacturonorhamnaner

Ligniner

(Lignins)

Polyfenylpropanpolymere af coniferyl-,
sinapyl- og para- cumarylalkohol¹⁾ Efter Theander & Åman (1979) ¹⁾ (From Theander & Åman, 1979)

mængder kvælstofholdige forbindelser i foderplanternes ligniner. Ligninskelettet er associeret til de strukturelle kulhydrater (cellulose, hemicellulose) via kulhydratrestere og ferulinsyre. Ferulinsyre og para-cumarinsyre kan indgå i krydsbindinger mellem ligninen og de strukturelle kulhydrater, fordi de har både hy-



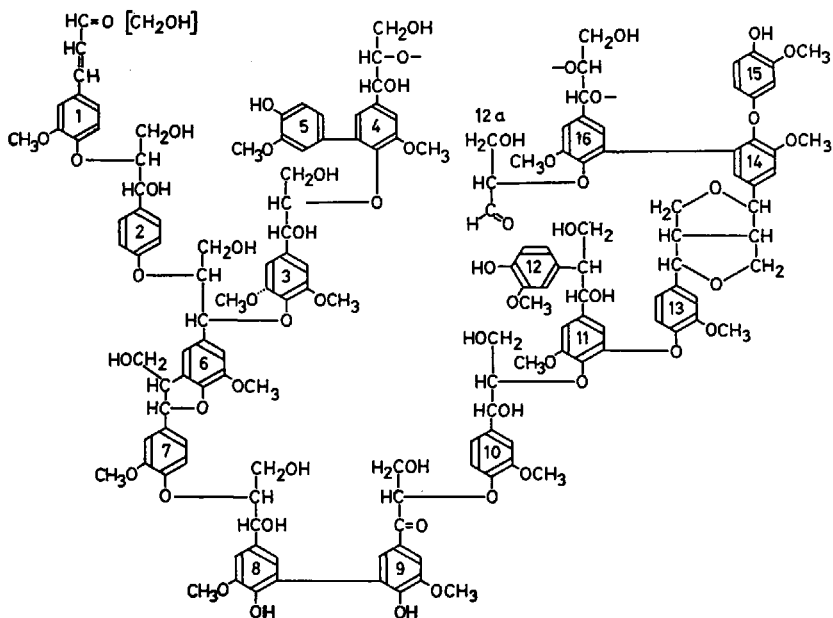
Figur 3.1 Polysakkaridernes vigtigste bestanddele i planternes cellevægge (Theander & Åman, 1979)

Figure 3.1 The main constituents in dietary fiber polysaccharides (Theander & Åman, 1979)

droxyl- og carboxylgrupper som funktionelle grupper (Jung & Fahey, 1983a; Morrison, 1979).

Desuden er der ca 0,7% frie fenolsyrer i bygghalmens tørstof (Chesson, 1981).

Halmens indhold af silikater og voksforbindelser kan ikke nedbrydes af vommens mikroorganismer.



Figur 3.2 Skema af fraktion af ligninmolekyle i nåletræ. Enhed 1 kan alternativt være en forestret coniferylaldehyd- eller coniferylalkoholgruppe. Enhed 2 stammer fra para-cumarylalkohol og 3 fra sinapyl- eller coniferylalkohol (Adler, 1968)

Figure 3.2 Outline of fraction of the lignin molecule in softwood. Alternatively, unit 1 can be ester from groups of coniferyl aldehyde or from groups of coniferyl alcohol. Unit 2 derives from para-coumaryl alcohol and unit 3 from sinapyl or coniferyl alcohol (Adler, 1968)

3.1.2 Mikrobiel nedbrydning af halmens cellevægsbestanddele

Undersøgelser med elektronmikroskop har vist, at mikroorganismer (bakterier, protozoer og svampe) tiltrækkes af de beskadigede overflader på plantedelene og deltager i nedbrydningen ved at sætte sig fast på disse. Svampe kan udgøre op til 8% af vommens mikrobielle

biomasse (Orpin, 1983), medens protozoer kan udgøre fra 49-78% (Harrison & McAllan, 1980). Elektronmikroskopiske undersøgelser viste desuden, at langt flere mikroorganismer end tidligere antaget sætter sig fast på plantedelene, således at de, der findes frit i vomvæsken kun udgør en lille del i forhold til dem, der er bundet til foderpartiklerne.

Den mikrobielle nedbrydning af foderet kan foregå enten ved udskillelse af fordøjelsesenzymer eller ved optagelse af mindre partikler, der omsættes intracellulært.

Cellulosemolekylerne nedbrydes til opløselige oligosakkarider af enzymet cellulase, der også hydrolyserer 1,4-bindingen i beta-glucan. Nedbrydningen af cellulose synes at foregå i to trin, idet et enzym på en endnu ukendt måde nedbryder krystallinsk cellulose til en mere tilgængelig form, hvorefter et andet enzym hydrolyserer denne form videre til opløselige sukkerarter med forskellig kædelængde. Cellobiase og mere uspecifikke beta-glukosidaser forestår den endelige nedbrydning til glykose (Prins, 1977).

Nedbrydningen af hemicellulosen foretages af bakteriearter, der kan udnytte xylaner, og processen foregår ved spaltning af beta-(1,4)-xylosidbindinger ved hjælp af cellulase. Der opstår herved en temporær akkumulation af xylose- og arabinose-oligosakkarider, som hydrolyseres videre til frie xyloser af xylanase og xylobiase.

Flere oligotriche protozoer hydrolyserer hemicellulose. De er i stand til at danne enzymet arabinofuranosidase, som er nødvendig for at frigøre xylan. Det frie xylan inducerer dannelsen af et andet enzym, xylanase, der medvirker til den videregående spaltning til xylotriose og xylobiose.

Galaktoseenhederne i mannan frigøres af alfa-galaktosidase før beta-mannase kan katalysere nedbrydningen af polymannose (Hobson & Wallace, 1982). Både cellulase, xylanase og beta-glukosidase har optimum ved pH 6,4. Den cellulolytiske aktivitet er i høj grad afhængig af den surhedsgrad, der betinger en egentlig vækst af organismerne. Således fandt Stewart (1977), at den cellulolytiske aktivitet, målt på bomuldsfibre, fuldstændig forsvandt, og at antallet af de dyrkbare cellulolytiske bakterier reduceredes stærkt ved en reduktion af pH fra 7,0 til 6,0.

Årsagen til det kendte fald i træstoffordøjeligheden hos drøvtyggere ved fodring med stivelseholdige produkter, som f. eks. byg,

synes derfor især at hidrøre fra det fald i vomvæskens pH, der fremkommer ved en hurtig forgæring af stivelse til flygtige fedtsyrer.

De cellulolytiske protozoer er ligeså følsomme for ændringer af surhedsgraden i miljøet og antallet reduceres væsentligt, når pH kommer uden for området 5,5 - 8,0. Jouany & Senaud (1979) fandt, at protozoer bidrog med omkring halvdelen af cellulosenedbrydningen i vommen hos får, afhængigt af foderets sammensætning.

Pektin og polygalakturonsyre nedbrydes af bakterier ved hjælp af pektinesteraser og pektinlyaser. Nedbrydningen af galakturonoligomere sker ved meget specifikke intracellulære mikrobielle enzymer. Pektin forgæres hurtigt i forhold til cellulose og hemicellulose, men pektinindholdet i halm er meget lavt og har derfor ringe betydning for den kvantitative omsætning.

For alle tre kulhydratgrupper gælder det således, at mange forskellige enzymesystemer er involveret i den mikrobielle nedbrydning og omsætning til de resulterende flygtige fedtsyrer og mælkesyre. Imidlertid er denne omsætning nødvendig, for at disse kulhydrater kan udnyttes i værtsdyrets energistofskifte (Ørskov et al., 1979).

Lignin har været anset for at være modstandsdygtig over for nedbrydning af mikroorganismer under anaerobe forhold, men for nyligt er der fundet en trådformig, fakultativ anaerob bakterie, der var fæstnet til lignificerede græsblade. Den voksede langsomt med optimum ved pH 7,4 - 8,0, men kunne konkurrere med mikroorganismerne i vommen ved at udnytte uopløseligt lignin og lignin-kulhydratkomplekser som substrat, hvilket gjorde strukturkulhydraterne lettere nedbrydelige for andre mikroorganismer (Akin, 1980).

3.1.3 Ludningens virkning på halmen

Som anført i 464. beretning (Kristensen et al., 1977), er formålet med NaOH-behandling af halm, at gøre cellevægsstofferne lettere tilgængelige for mikroorganismerne. Latham et al. (1979) undersøgte to ^{14}C -mærkede cellulolytiske bakteriestammer og fandt, at 6-12 gange flere bakterier havde sat sig fast på ludbehandlet byghalm end på ubehandlet halm, og at bakterierne fordøjede mere af den ludede halm. Den vigtigste virkning af ludningen er, at NaOH

opløser og frigør en stor del af de tilstedeværende fenoler og spaltes bindingerne mellem lignin og kulhydraterne. Desuden gøres dele af hemicellulosen, proteinet, ligninen og silikaterne opløselige, og Chesson et al.(1983) mener, at dette antageligt er af størst betydning for enzymernes indtrængen og dermed nedbrydningen af polysakkariderne. Morris & Bacon (1977) mener, at hemicellulosefraktionens acetylerede syrer begrænser nedbrydningen lige så meget, som ligninbindingerne. Disse acetylestre er alkalilabile, hvilket fremgår af et forøget indhold af fri acetat i halm efter ludning (Evans, 1978).

Medens frigørelsen af polysakkariderne fra fenolforbindelserne stimulerer den mikrobielle vækst, kan alkalifenolater hæmme både mikroorganismernes og værtsdyrets enzymssystemer (Farstad & Næss, 1977) og dermed reducere forholdet mellem syntetiseret biomasse og omsat organisk stof.

3.1.4 Den kemiske bestemmelse af cellevægsbestanddele i planter

Vurderingen af fodermidlernes omsætning og udnyttelse hos husdyrene er baseret på kemiske analyser. Jo mere stringent og entydig analysemetoderne er, desto bedre kan udnyttelsesgraden forudsiges. Medens Kjeldahl-metoden og aminosyreanalyser giver et godt grundlag for vurdering af fodermidlernes proteinindhold og -sammensætning, har det været langt vanskeligere at opnå den tilsvarende entydighed, når det gælder kulhydratfraktionen.

Allerede Henneberg og Stohman, der i forrige århundrede udviklede den klassiske Weendemetode, forholdt sig kritiske til denne, fordi den deler foderstoffernes kulhydrat- og ligninindhold i 2 tilfældige fraktioner, hvor træstoffraktionen ikke er ren cellulose og hemicellulose, og hvor NFE-fraktionen, der skulle være et udtryk for sukker- og stivelsesindholdet, desuden indeholder en del hemicellulose og en del af den helt ufordøjelige lignin (Paloheimo, 1953).

Selv om der blev arbejdet meget med analysering af planternes cellevægsbestanddele i Finland (Salo, 1961), og Østtyskland (Nehring og Laube, 1955) blev van Soest-metoden (van Soest, 1963; van

Soest & Wine, 1967) snart den mest anvendte metode, da den var hurtigere end de andre. Princippet heri er kogning med tilbagesvaling i en detergentopløsning, der består af 3% laurylsulfat, som danner opløselige proteinkomplekser, og EDTA som chelatdannende middel, der kompleksbinder alle divalente ioner. Desuden tilsættes ethoxy-ethanol, der fremmer opløsningen af stivelse, samt borat og fosfat som buffer til opretholdelse af et neutralt pH for at undgå hydrolyse af hemicellulose. Den uopløste rest, der består af hemicellulose, cellulose, lignin, tungtopløselig protein og ca 1/5 af organisk bundet silicium, betegnes neutral detergent fiber (NDF) og bestemmes gravimetrisk.

Acid detergent fiber (ADF) er den rest, der bliver tilbage, når hemicellulosen og fiberbundet, men ikke tungtopløseligt protein fjernes fra NDF. ADF bestemmes ved kogning med tilbagesvaling med 2% cetyl-trimetyl-ammoniumbromid opløst i 0,5 M svovlsyre. Hemicellulosen beregnes ofte som NDF minus ADF; lignin og cellulose bestemmes i den uopløselige rest fra ADF-analysen ved, enten at gøre ligninen opløselig ved oxidering med permanganat eller ved at gøre cellulosen opløselig efter hydrolysering med syre.

I 1968 publicerede McRae og Armstrong en metode, hvor alfa-bundne polyglucomere (stivelse) ved hjælp af enzymer fra aspergillus-svampe kunne adskilles fra cellevægsbestanddelene, der kun indeholder de tilsvarende beta-bundne forbindelser (McRae & Armstrong, 1968). Derved blev kulhydraterne delt op i dem, som kan fordøjes af dyrenes egne fordøjelsesenzymer (sukker og stivelse, S+S) og resten, hvis nedbrydning kræver mikrobiel aktivitet eller er ufordøjelige, (restkulhydrat, RCH) (Thomsen, 1972; Neergaard, 1973 og 1974).

Gaillard (1972) fraktionerede foderets plantedele i 5 hovedfraktioner og bestemte hver fraktions indhold af monosakkarider og ligninindholdet som rest (6) efter følgende skema:

- 1) Ethanol-opløselig fraktion: Mono- og disakkarider
- 2) alfa-glukosepolymere: Stivelse
- 3) Vandopløselige polysakkarider: Fruktose, galaktose, uronsyrer,
beta-glukose, arabinose, mannose,
xylose, fukose, rhamnose,

- 4) Hemicellulose og let hydrolyserbare, ikke vandopløselige polysakkarider
- 5) Cellulose og andre polysakkarider, der ikke kan hydrolyseres af 1 M svovlsyre
- 6) Ikke-hydrolyserbar, askefri rest: Lignin

Denne analyse blev anvendt af Gaillard & van't Klooster (1973) til en kvantitativ bestemmelse af sukkerbestanddelene i såvel foderets NDF-fraktion som i den tilsvarende opløselige fraktion, hvor NDF var bestemt efter van Soest. Desuden bestemtes fraktionernes monosakkarider i indholdet fra formaverne, tyndtarmen og tyktarmen samt i gødningen til fastlæggelse af disses fordøjelighed i de forskellige afsnit af fordøjelseskanalen hos køer. Herved indgik også sukkerbestanddelene i bakteriernes cellevægge og tarmenes slimsekret, der er de samme, som i planternes cellevægge med undtagelse af rhamnose, som kun findes i bakterielle polysakkarider, og nogle N-holdige sukkersyrer, der forekommer i slim.

Da analysemetoden var meget tidskrævende, foreligger kun få undersøgelser af tilsvarende art. Derimod har van Soest-metoden været meget anvendt i foderstofanalysen, da den er hurtig og er blevet anset for at give rimeligt gode oplysninger om de tre vigtigste komponenter, hemicellulose, cellulose og lignin. Forskellige modifikationer er diskuteret af van Soest (1975), og efter at 23 europæiske laboratorier i en ringtest i 1983 fik en ret lav overensstemmelse, af Mascarenhas Ferreira et al., (1983).

Theander & Åman (1980) undersøgte, om den praktiske fraktionering af græs, lucerne, halm og ludet halm i NDF og ADF var i overensstemmelse med det teoretiske indhold og fandt, at omkring 30% af råproteinet og 20% af asken var tilbage i NDF-fraktionen (tabel 3.2). Desuden blev indholdet af hemicellulosen efter van Soest-metoden let undervurderet, som det ses i tabellen, fordi den vanskeligt tilgængelige del ikke fjernes i ADF-fraktionen (110 g pr kg tørstof) og fejlen bliver endnu større, når det drejer sig om ludet halm (140 g pr kg tørstof), hvilket viser, at metoden ikke er reproducerbar. Der optræder også uronsyreforbindelser i ADF-fraktionen; de kan enten hidrøre fra pektinstofferne, som skulle være fjernet ved detergentbehandlingen både i NDF og ADF, eller fra hemicellulosen, som skulle være fjernet fra ADF-fraktionen.

Tabel 3.2 Den kemiske sammensætning af nogle NDF og ADF fraktioner (g/kg tørstof)¹⁾Table 3.2 Chemical composition of some NDF and ADF fractions (g/kg DM)¹⁾

Indhold (Content)	Havrehalm (Oat straw)	NaOH-ludet havrehalm (NaOH treated oat straw)	Græs mest Timothé (Grass) (Mainly timothy)
<u>NDF-fraktion (NDF fraction)</u>			
Cellulose	450	430	330
Hemicellulose, neutralt (neutral part)	290	310	280
Xylose/Arabinose forholdet (ratio)	66	69	37
Polyuronider (Polyuronides)	34	25	27
Klason-lignin	220	210	230
Råprotein (Crude protein)	10	12	43
Aske (Ash)	9	12	11
<u>ADF-fraktion (ADF fraction)</u>			
Cellulose	630	580	440
Hemicellulose, neutralt (neutral part)	110	140	70
Xylose/Arabinose forholdet (ratio)	74	62	22
Polyuronider (Polyuronides)	7	9	8
Klason-lignin	150	150	210
Råprotein (Crude protein)	9	13	13
Aske (Ash)	19	20	47

¹⁾ Efter Theander & Åman (1980) (From Theander & Åman, 1980)

Metoden, som Theander og Åman anvendte til at vise dette er følgende: Plantematerialet formales og ekstraheres først med 80% ethanol og bagefter med hexan. I filtratet kan lavmolekylære kulhydrater bestemmes. Filtratresten behandles med 72% svovlsyre ved 100 °C. Den uopløselige rest efter udvaskning og tørring er Klason-

lignin, der dog kan indeholde andet end lignin, men alle komponenter er ufordøjelige. Hydrolysatets sukkerindhold transformeres til deres korresponderende alkoholer ved reduktion med borhydrid. Alkoholerne omdannes til en mere flygtig acetatform og bestemmes kvantitativt ved hjælp af gaskromatografi, idet derivatet af allose bruges som intern standard.

Ved våd forbrænding (dekarboxylering) med H_2O_4 og måling af den dannede kuldioxyd efter ledningsevnetoden bestemmes uronsyre. Papirelektroforese af hydrolysatet fra svovlsyren giver en semi-kvantitativ bestemmelse af forholdet mellem glukuronsyrerne fra henholdsvis hemicellulosen og pektinerne. Ved analyse af halm, som næsten ikke indeholder alfa-glykosepolymere og pektiner, kan celluloseindholdet beregnes fra glykoseværdierne og hemicelluloseindholdet som summen af de andre sukkerstoffer plus uronsyreværdien. For nærmere enkeltheder, se Theander & Åman (1978) og Theander & Åman (1980).

Med denne analyseprocedure er der åbnet mulighed for ad kemisk vej, entydigt og langt hurtigere end før, at bestemme hvilke kulhydratfraktioner, der påvirkes af alkalibehandlingen, ligesom udnyttelsesgraden af de forskellige komponenter i planternes cellevægsbestanddele kan undersøges rationelt.

3.2 Resultater og diskussion

3.2.1 Rationernes kemiske sammensætning

Rationernes kemiske sammensætning fremgår af tabel 3.3. Det ses, at NDF-fraktionen var væsentlig lavere i ration B end i A.

Årsagen hertil kunne skyldes en forskel i den kemiske sammensætning af den anvendte bygghalm (tabel 3.4). Det fremgår også heraf, at selv om halmen fra begge partier var dyrket på samme ejendom, udgjorde summen af protein og fedt 6,8% af organisk stof (OS) i den ubehandlede halm og 8,0% i den ludedede halm. Det indbyrdes forhold mellem de enkelte kulhydratfraktioner i de to halmpartier fremgår af figur 3.3. Det ses, at forskellen mellem RCH-indholdet i ludet og ubehandlet halm var omkring 1 procentenhed (pce). I modsætning

Tabel 3.3 Kemisk sammensætning af foderrationerne i pct. af tørstof

Table 3.3 Chemical composition of rations in pct. of dry matter

Ration	A	B	C	D
Organisk stof (Organic matter)	93.5	89.5	92.5	92.7
Kvælstof (Nitrogen)	3.2	2.8	2.6	2.3
Fedt, Stoldt (Crude fat, Stoldt)	1.8	1.7	2.5	2.5
Træstof (Crude fibre)	41.4	37.9	23.8	24.8
NFE ¹⁾	33.6	35.0	52.7	52.5
Sukker + stivelse (LHK) ²⁾ (Sugar + starch) ²⁾	1.7	2.3	29.2	28.2
RCH ³⁾	73.3	70.5	47.4	49.0
NDF ⁴⁾	69.7	60.8	41.7	43.2
Ethanol ekstrakt (Ethanol extract)	5.2	8.4	6.5	6.7
Klason-lignin	17.3	16.0	10.5	10.9
Hemicellulose ⁵⁾	17.8	18.3	14.4	14.7
Cellulose-glykose (Cellulose-glucose)	29.3	28.3	19.9	20.6
Stivelse-glykose (Starch-glucose)	-	-	24.8	23.9

1) Kvælstoffri ekstraktstoffer (N-free extractives)

2) Let hydrolyserbare kulhydrater: sukker + α -bundne glykosepolymerer
(Readily hydrolysable carbohydrates: sugar + α -glucose polymers)

3) Rest, beregnet som indholdet af organisk stof minus summen af råprotein, fedt og S+S (Residuals, calculated as the difference between the content of organic matter and that of the sum of crude protein, crude fat. and S+S)

4) Neutral detergent-uopløselig fiber, Van Soest (Neutral detergent fibre, Van Soest)

5) Hovedsagelig arabino-xylaner, Theander & Ternrud (Mainly arabino-xylans, Theander & Ternrud)

hertil udviste NDF-indholdet en forskel på næsten 10 pce. Summen af cellevæggenes bestanddele, bestemt efter Theander: Klason-lignin, hemicellulose (arabino-xylaner) og cellulose udgjorde 78,3% i den

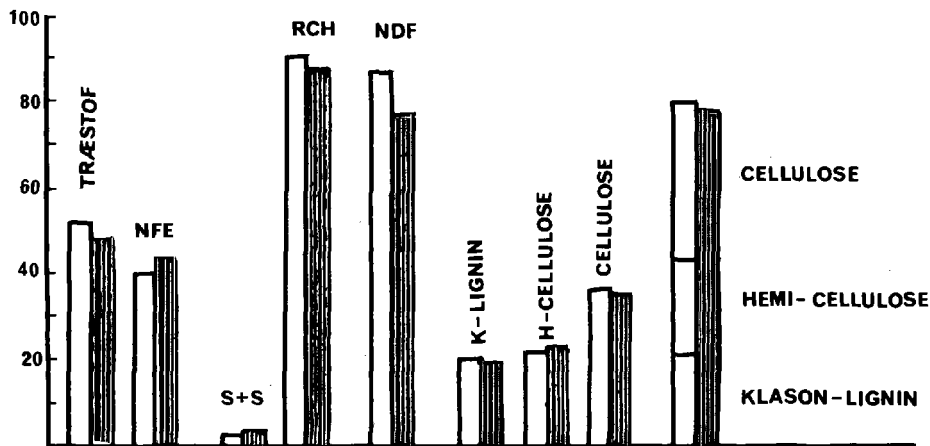
Table 3.4 Kemisk sammensætning af ubehandlet og ludet byghalm anvendt i forsøget

Table 3.4 Chemical composition of untreated and alkali-treated barley straw as used in the experiment

	Byghalm (Barley straw)			
	Ubehandlet (Untreated)		Ludbehandlet (Alkali-treated)	
	% af tørstof (% of DM)	% af org.stof (% of OM)	% af tørstof (% of DM)	% af org.stof (% of OM)
Organisk stof (Organic Matter, OM)	95.7	100	90.5	100
Protein, N x 6.25	4.63	4.81	5.38	5.94
Fedt, Stoldt (Fat, Stoldt)	1.90	1.98	1.88	2.08
Træstof (Crude fibre)	50.1	52.4	43.9	48.5
NFE ¹⁾	39.1	40.8	39.4	43.5
S + S	1.87	1.95	2.61	2.88
RCH	87.3	91.2	80.6	89.1
NDF	83.7	87.5	70.3	77.7
Ethanolekstrakt (Ethanol extract)	5.2	5.4	9.6	10.6
Klason-lignin	20.6	21.5	18.3	20.2
Hemicellulose	21.2	22.2	20.9	23.1
Cellulose-glykose (Cellulose-glucose)	35.0	36.6	32.4	35.8

¹⁾ Se fodnote i Tabel 3.3 ¹⁾(See footnote in Table 3.3)

ubehandlede og 76,2% i den ludedede halm; her var altså også kun en forskel på ca 2 pce, hvilket viser, at NDF-fraktionen blev bestemt 7-8% pce for lavt i det ludedede materiale.



Figur 3.3 Kulhydratfraktioner i bygghalm i % af organisk stof

□ ubehandlet, ▨ luset

Figure 3.3 Fractions of carbohydrate in the barley straw used

□ untreated, ▨ lysed

3.2.2 Beregnet energi og foderniveau

For at kunne vurdere omsætningen af de 4 forsøgsrationer er det energetiske ernæringsniveau beregnet på grundlag af rationernes indhold af tilsyneladende fordøjede næringsstoffer (Hoffmann, 1969). Tabel 3.5 viser det beregnede indhold af såvel fordøjelig som omsættelig energi (OE). Foderniveauet er udtrykt som et multiplum af fårs vedligeholdelsesbehov, der er beregnet på grundlag af formlen:

$$OE_m, \text{ MJ/d} = (0,29W^{0,75})1,43; (\text{MAFF, 1976}),$$

hvor OE_m er OE til vedligehold i MJ pr dag og W er levende vægt i kg. Det fremgår af tabel 3.5, at optagelsen af OE var på 0,6 x vedligehold, og at denne steg med 0,2 enheder i hver ration fra A til D.

Tabel 3.5 Beregnet indhold af fordøjelig energi, omsættelig energi (OE), foder-niveau og energiens koncentrationsgrad i rationerne

Table 3.5 Calculated content of digestible energy, metabolizable energy (ME), feeding level and metabolizable energy concentration in diets

Ration	A	B	C	D
Fordøjelig energi, MJ pr. dag (Digestible energy, MJ per day)	6.47	8.88	10.33	11.74
Omsættelig energi, MJ pr. dag (Metabolizable energy, MJ per day)	4.97	6.91	8.50	9.69
Foderniveau, optaget OE/vedligehold (Feeding level, ME intake/maintenance)	0.6	0.8	1.0	1.2
Koncentrationsgrad, OE/kg tørstof, MJ (Dietary concentration, ME/kg dry matter, MJ)	8.37	9.04	10.74	10.31

I et energistofskifteforsøg målte Sundstøl (1982) omsætningen af 2 rationer svarende til A og B, givet under vedligeholdelsesniveau til får og fandt, at den ubehandlede halmration indeholdt 9,0 MJ OE pr kg tørstof og rationen med den ludedede halm 9,8 MJ OE pr kg tørstof. Disse værdier er lidt højere end de beregnede værdier i ration A og B (tabel 3.5), hvilket kan skyldes at træstofkoncentrationen var lavere i det norske forsøg end i dette. I samme laboratorium bestemte McNiven (1984) udvoksede fårs varmeproduktion ved faste (HP_f) til $0,31 \text{ MJ/W}^{0,75}$, hvor W er kg levende vægt (metabolisk legemsvægt). Fra Sundstøls data kan varmeproduktionen ved vedligeholdelsesstofskiftet og dermed OE-behovet til vedligehold (OE_m) beregnes. Forholdet: $HP_f/OE_m = k_m$, hvilket er udnyttelsesgraden af den omsættelige energi ved vedligeholdelsesniveau, lå i Sundstøls første forsøg på omkring 0,67-0,68 for begge rationer, medens forskellen mellem rationerne var at finde i omsætteligheden af rationernes bruttoenergi med 0,42 for den ubehandlede halm og 0,53 for den ludedede halm.

3.2.3 Den tilsyneladende fordøjelighed af de enkelte næringsstoffer

I tabel 3.6 er anført de næringsstoffer, hvis fordøjelighed er bestemt for hvert enkelt dyr, så resultaterne kunne gøres til genstand for en statistisk analyse. De tilhørende variansanalyser er samlede i tabel 3.7, og i de tilfælde, hvor der har været signifikant udslag af forsøgsbehandlingen, er forskelle mellem rationer analyseret ved hjælp af Tukey's test (SAS, 1979).

Det ses, at fordøjelseskvotienten for tørstof i ration A kun var signifikant forskellig fra de 2 kornholdige rationer (C og D). Dette gælder også for organisk stof.

Ludningen af halmen bevirkede, at mængden af fordøjet træstof blev signifikant højere i ration B, hvor træstoffet blev fordøjet 14 pce bedre end i ration A. Ved tilsætning af valset byg i ration C og D faldt fordøjelighedskvotienterne imidlertid, så træstoffordøjeligheden her ikke var signifikant forskellig fra ration A med det ubehandlede halm

Head (1953) angiver, at siden 1891 har det været kendt og senere vist i mange undersøgelser, at træstoffets fordøjelighed hos drøvtyggere faldt ved tilsætning af stivelse, enten denne blev givet som majsstivelse eller i form af formalet korn. Ved fodring med hø til får fandt Head (1953) en nedsat fordøjelighed af cellulose ved tilsætning af majs- eller kartoffelstivelse.

RCH, som udgør alle cellevægsbestanddelene, viste ligeledes en forskel på 11 pce i fordøjelighedskvotienterne mellem ration A og B, medens forskellene mellem ration A og såvel ration C som D ikke var signifikante.

Den fundne forskel i træstoffordøjeligheden i de forskellige rationer kunne også hidrøre fra et højere foderniveau og den dermed øgede passagehastighed, som omtalt af Thomsen og Nørgaard (1983), men så skulle ændringen forventes at være størst med ration D. Desuden kan en del af faldet i træstoffordøjeligheden forklares ved, at bygkernernes cellevægsbestanddele ikke er alkalibehandlet.

De små mængder af sukker + stivelse (S+S), som fandtes i rationerne A og B, giver ikke grundlag for en vurdering af denne fraktions fordøjelighed, men i rationerne C og D fås en fordøjelighed på næsten 100%. NFE-fraktionen indeholder, som omtalt, foruden S+S ukendte mængder vandopløseligt hemicellulose og en stor del af lig-

Tabel 3.6 Optagne næringsstoffers tilsyneladende fordøjelighed i
rationerne A, B, C og D i g pr dag og i procent af optaget stof

Table 3.6 Intake and apparent digestibility of nutrients in ration
A, B, C and D in g per day and in per cent of intake

Ration	A			B			C			D		
	Optaget (Intake) g/d	Fordøjet (Digested) g/d	%	Optaget (Intake) g/d	Fordøjet (Digested) g/d	%	Optaget (Intake) g/d	Fordøjet (Digested) g/d	%	Optaget (Intake) g/d	Fordøjet (Digested) g/d	%
Tørstof (DM)	596	317 ^b	53.1 ^b	765	482 ^a	63.0 ^{ab}	792	552 ^a	69.8 ^a	933	639 ^a	68.1 ^a
Org.stof (OM)	557	311 ^c	55.9 ^b	684	443 ^{bc}	64.8 ^{ab}	732	526 ^{ab}	71.8 ^a	867	609 ^a	70.1 ^a
N	19.1	15.2	79.6	21.2	15.6	73.3	20.3	15.0	73.8	21.7	15.3	69.8
Fedt (Fat)	10.6	2.8 ^b	26.7 ^b	13.3	4.2 ^b	31.6 ^b	19.8	11.9 ^a	60.0 ^a	23.4	15.3 ^a	56.5 ^a
Træstof (CF)	247	145 ^b	58.9 ^b	290	212 ^a	73.3 ^a	189	121 ^b	64.0 ^{ab}	232	142 ^b	61.3 ^b
NFE	200	88 ^b	44.0 ^b	268	149 ^b	55.8 ^b	417	320 ^a	76.7 ^a	491	373 ^a	75.7 ^a
S + S ¹⁾	10.1	8.3 ^b	81.7 ^c	17.9	15.8 ^b	87.9 ^b	231	229 ^a	99.0 ^a	264	262 ^a	99.2 ^a
RCH ¹⁾	437	225 ^b	51.6 ^b	540	345 ^a	64.0 ^a	375	212 ^b	56.4 ^{ab}	459	253 ^b	55.0 ^{ab}
NDF ¹⁾	416	236 ^b	56.7	465	330 ^a	70.9	330	205 ^b	62.0	404	249 ^{ab}	61.5

Forskelligt indeks for samhørende værdier i samme linie betyder signifikant forskel mellem rationerne (P<0.05)

(Different superscripts for corresponding values in same line indicate significant differences between rations (P<0.05))

¹⁾ Se fodnote i tabel 3.3 (See footnote in Table 3.3)

Tabel 3.7

Oversigt over F-værdier fra variansanalyser af den
tilsyneladende fordøjelighed af næringsstoffer, totalt og før og efter pylorus

Table 3.7

*F-values from analysis of variance on the over all apparent
digestibility of nutrients and their digestibility before and after pylorus*

	Tilsyneladende fordøjet (Apparently digested)					
	Total (All over)		Før (Before) pylorus		Efter (After) pylorus	
	Ration(Ration)	Dyr(Animal)	Ration(Ration)	Dyr(Animal)	Ration(Ration)	Dyr(Animal)
Tørstof (DM)	18.00**	0.05	15.45***	0.14	8.97***	0.14
Tørstof i pct. (DM, pct.)	12.17**	0.53	9.00***	0.07	1.69	0.36
Organisk stof (OM)	16.69**	0.07	18.16***	0.16	6.76**	0.27
Org. stof i pct. (OM, pct.)	10.96**	0.69	8.95***	0.02	1.31	0.46
Kvælstof (Nitrogen)	0.03	0.50	6.03*	0.03	9.59***	1.27
Kvælstof i pct. (Nitrogen, pct.)	3.86	0.52	7.89**	0.08	4.34*	0.01
Fedt, Stoldt (Fat, Stoldt)	28.05***	0.17	1.44	2.58	66.03***	2.23
Fedt i pct. (Fat, pct.)	18.91**	0.34	4.17*	2.68	5.66**	2.19
Træstof (CF)	21.67**	0.47	39.76***	0.55	1.73	0.15
Træstof i pct. (CF, pct.)	9.78**	1.28	8.20**	0.88	1.36	0.10
NFE	58.53***	0.33	88.38**	0.51	7.14**	0.09
NFE i pct. (NFE, pct.)	31.89***	0.60	46.12***	0.06	1.32	0.39
S+S (Sugar + starch)	119.51***	0.86	163.61***	0.96	76.98***	0.05
S+S i pct. (S+S, pct.)	67.79***	2.35	61.56***	1.69	14.05***	2.49
RCH (Residual Carbohydrates)	15.84**	0.28	32.43***	0.14	1.87	0.03
RCH i pct. (RCH, pct.)	4.61*	0.57	11.63***	0.29	1.62	0.01
NDF, van Soest	9.37**	0.31	21.58***	0.05	0.76	0.11
NDF i pct. (NDF, pct.)	4.13	0.30	6.05**	1.42	0.72	0.26

*P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

ninfraktionen, og fordøjelighedskvotienterne for NFE er derfor væsentlig lavere end for S+S og desuden lavere end kvotienterne for træstof i rationerne A og B.

Tabel 3.8 viser fordelingen af kulhydratfraktionerne i de to foderemner i de fire rationer og deres fordøjelighedskvotienter. Byggens træstof indgik med 10-11% af det totale træstofindhold i ration C og D. I tabel 3.9 er de fordøjelseskvotienter, som blev fundet ved fodring med ration A og B, anvendt til beregning af de enkelte kulhydratfraktioners fordøjelighed i ration C og D. Under forudsætning af, at cellevægsbestanddelene i bygkerne fordøjes på samme måde, som i den ubehandlede halm, giver disse beregninger et indtryk af den indflydelse, byggens stivelsesindhold har haft på den mikrobielle nedbrydning af cellevægsbestanddelene. Det ses, at den beregnede virkning er et fald på 8-11 pce for træstoffordøjeligheden, medens den kun er på 6-7 pce for såvel RCH som NDF. Det ses også, at der ingen forskel bliver med hensyn til hemicellulosens fordøjelighed som følge af et forøget indhold af stivelse, men at hele udslaget kommer frem i cellulose-delen, hvor det beregnede fald på ca 20 g fordøjet cellulose udgør 13-18 pce.

Da der blev målt en stærk stigning i koncentrationen af flygtige fedtsyrer i tarminholdet ved bygfodring (se tabel 5.9), bekræfter dette, at øget LHK-optagelse forøger den mikrobielle dannelse af flygtige fedtsyrer i drøvtyggerses formaver. Dette medfører trods foderets alkaliindhold et fald i formavernes pH, hvilket hæmmer de cellulolytiske mikroorganismers vækst (Stewart, 1977).

3.2.4 Fordøjeligheden af de enkelte næringsstoffer før og efter pylorus

Ved hjælp af den beskrevne fistulering af fårene og indgift af kromoxyd som markør, var det muligt kvantitativt at bestemme den gennemsnitlige mængde tørstof, som pr dag passerede tarmen ved pylorus (portåbningen mellem løben og tyndtarmen).

I tabellerne 3.10 - 3.13 er de enkelte næringsstoffers tilsyneladende fordøjelighed før og efter pylorus angivet. I tabel 3.10 ses, at ludningen af halmen bevirkede, at en større del af tørstof og organisk stof blev omsat i formaverne med ration B end med ra-

Tabel 3.8

Kulhydraternes fordeling i foderemnerne (g/d) og deres samlede fordøjelighed i % af rationernes totalindhold

Table 3.8

Concentration of carbohydrate fractions from ingredients in the experimental rations (g per day) and their total digestibility in per cent of the total content in the rations

	g pr dag (g per day)								I alt fordøjet, % (Total digested, pct.)			
	A		B		C		D					
	Halm (Straw)	Byg (Barley)	Halm (Straw)	Byg (Barley)	Halm (Straw)	Byg (Barley)	Halm (Straw)	Byg (Barley)				
									A	B	C	D
Træstof (CF)	247	-	290	-	170	19	211	21	58.8	73.3	64.0	61.3
NFE ¹⁾	200	-	268	-	152	265	190	301	44.0	55.8	76.7	75.7
S+S (Sugar + starch)	10	-	18	-	10	221	13	251	81.7	87.9	99.0	99.2
RCH	437	-	540	-	312	63	388	71	51.6	64.0	56.4	55.0
NDF	416	-	465	-	272	58	338	66	56.7	70.9	62.0	61.5
Hemicellulose	106	-	140	-	81	33	101	37	55.1	74.2	74.2	69.2
Cellulose-glykose+S+S	176	-	217	-	125	229	156	261	58.2	74.2	83.3	84.6
Cellulose-glykose ²⁾	165	-	199	-	115	8	143	9	44.2	72.5	54.2	59.4

¹⁾ Se fodnote under tabel 3.3 (See footnote in Table 3.3)

²⁾ Cellulose-glykose beregnet som total glykose minus S+S (Cellulose-glucose calculated from total glucose minus (S+S))

Tabel 3.9

Kulhydratfraktionernes totale fordøjelighed i ration C og D
og den beregnede virkning af byg ved hjælp af fraktionernes fordøjeligheds-
kvotienter fundet ved fodring med ration A og B (g pr dag og i % af optaget stof)

Table 3.9

*Total digested carbohydrate fractions in ration C and D and
the calculated effect of barley supplementation by means of digesti-
bility quotients from feeding ration A and B (g per day and in per cent of intake)*

	Fordøjet (Digested)				Beregnet ¹⁾ (Calculated) ¹⁾							
	C		D		C				D			
					afvigelse (difference)				afvigelse (difference)			
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
Træstof (CF)	121	64.0	142	61.3	136	72.0	-15	-8.0	167	72.0	-25	-10.8
NFE	320	76.7	372	75.7	317	76.0	3	0.7	370	75.4	2	0.4
S+S (Sugar + starch)	229	99.0	262	99.2	189	81.8	40	17.3	216	81.8	46	17.4
RCH	212	56.4	253	55.0	233	62.1	-21	-5.6	285	62.1	-31	-6.9
NDF	205	62.0	249	61.5	226	68.5	-21	-6.3	276	68.3	-27	-6.8
Hemicellulose	83	73.3	94	68.2	79	69.4	4	3.5	96	69.6	-2	-1.5
Cellulose-glykose+S+S	295	83.3	352	84.6	226	63.8	69	19.5	268	64.4	84	20.3
Cellulose-glykose	66	53.9	90	59.4	88	71.5	-22	-17.9	109	71.6	-19	-12.5

¹⁾ Se teksten (See summary text)

tion A, medens de målte forskelle mellem rationerne B, C og D ikke var signifikante. Til orientering er kvælstofomsætningen også anført her, men gennemgås først i kapitel 4.

I tabel 3.11 ses en negativ fordøjelighed af fedtet i vommen, hvilket betyder, at der har fundet en syntese af fedtsyrer sted, som beskrevet af Mason og Hvelplund (1983). Det fremgår også af senere beregninger i dette afsnit, at hovedparten af det fedt, der passerede pylorus, var mikrobielt fedt. Desuden kan fedtsyrer fra foderet ikke nedbrydes i vommens anaerobe miljø.

Tabellerne 3.11-3.13 viser de forskellige kulhydratfraktioners omsætning, og for at lette overblikket er disse resultater samlet i tabel 3.14 og vist i figurerne 3.4-3.6.

Det ses, at fordøjelighedskvotienten for træstof er højere end for NFE i formaverne med ration A og B, hvilket både må forklares ved, at mikrobielt opbygget stivelse, fortrinsvis amylopektin, undslipper nedbrydning før pylorus, og at NFE-fraktionen indeholder lignin.

RCH-fraktionen viser, at fordøjeligheden af halmens cellevægsbestanddele øgedes fra 46% til 61% i formaverne efter ludningen (ration A og B) men faldt igen, når der blev givet byg. Dette fald blev i nogen grad kompenseret ved en øget fordøjelighed efter pylorus især med ration D. Den samme tendens gjorde sig gældende såvel for NDF-fraktionen som for cellulosefraktionen i formaverne forøget efter ludningen med 20 pce i ration B, men kun med godt 10 pce i ration C, men var på samme niveau i ration D, som før ludningen.

I modsætning hertil bevirkede tilsætning af byg kun et mindre fald i forgæringen af hemicellulosen i formaverne, hvilket blev modsvaret af en øget fordøjelighed efter pylorus.

Til trods for S+S-fraktionens lette nedbrydelighed i vommen, fandt vi ved bygfodring, at omkring 10% blev fordøjet i tyndtarmen. McAllan & Smith (1974) viste, at oplagsnæringen i vombakterierne hos får fortrinsvis består af alfa-glykose, idet dette indhold steg fra 17-61 g pr kg bakteriel tørstof, når rationen ændredes fra hø til hø + kraftfoder. Derimod var der ingen ændring i koncentrationen af rhamnose og galaktose, som begge er bestanddele af bakteriernes cellevægge.

Tabel 3.10 Tørstof, organisk stof og kvælstof i foder, passeret i tarm og i gødning (g og % af tørstof) samt fordøjeligheden af disse stoffer før og efter pylorus i g og i % af optaget stof

Table 3.10 Dry matter, organic matter and nitrogen in diet, duodenal flow and faeces (g and in per cent of dry matter), and the digestion of these nutrients before and after pylorus in g and in per cent of intake

Ration	A		B		C		D	
	g	%	g	%	g	%	g	%
<u>Tørstof (dry matter)</u>								
I foder (In diet)	606		793		787		945	
Passeret i tarm (Duodenal flow)	417		438				549	
Gødning (Faeces)	298		298		236		295	
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	189 ^b	30.7 ^b	355 ^a	44.8 ^a	368 ^a	46.8 ^a	397 ^a	41.6 ^a
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	118 ^b	20.5	140 ^b	17.6	183 ^{ab}	23.2	254 ^a	27.1
<u>Organisk stof (Organic matter)</u>								
I foder (In diet)	567	93.6	709	89.4	727	92.4	874	92.5
Passeret i tarm (Duodenal flow)	346	83.0	358	81.7	336	80.2	445	81.1
Gødning (Faeces)	263	88.3	253	84.9	203	86.0	256	86.8
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	221 ^b	38.7 ^b	352 ^a	49.6 ^a	392 ^a	53.9 ^a	429 ^a	48.8 ^a
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	83 ^b	15.5	105 ^b	14.7	132 ^{ab}	18.1	189 ^a	21.8
<u>Kvælstof (Nitrogen)</u>								
I foder (In diet)	19.2	3.2	21.6	2.7	20.2	2.6	22.0	2.3
Passeret i tarm (Duodenal flow)	13.9	3.3	18.0	4.1	17.5	4.2	21.2	3.9
Gødning (Faeces)	4.2	1.4	6.0	2.0	5.2	2.2	6.4	2.2
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	5.3 ^a	27.6 ^a	3.5 ^{ab}	16.4 ^{ab}	2.7 ^{ab}	13.3 ^{bc}	0.8 ^b	2.2 ^c
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	9.7 ^b	50.8 ^b	12.1 ^b	55.9 ^{ab}	12.2 ^{ab}	60.7 ^{ab}	14.8 ^a	68.2 ^a

Forskelligt indeks for samhørende værdier i samme linie betyder signifikant forskel mellem rationerne ($P < 0.05$)

(Different superscripts for corresponding values in same line indicate significant differences between rations ($P < 0.05$))

Tabel 3.11 Fedt, træstof og kvælstoffri ekstraktstoffer (NFE) i foder, passeret i tarm og i gødning (g og % af tørstof) samt fordøjeligheden af disse stoffer før og efter pylorus i g og % af optaget stof

Table 3.11 Fat, crude fibre and N-free extracts (NFE) in diet, duodenal flow and faeces (g and in per cent of dry matter), and the digestion of these nutrients before and after pylorus in g and in per cent of intake

Ration	A		B		C		D	
	g	%	g	%	g	%	g	%
<u>Fedt (Fat)</u>								
I foder (In diet)	10.7	1.8	13.7	1.7	19.7	2.5	23.7	2.5
Passeret i tarm (Duodenal flow)	13.1	3.1	16.4	3.7	21.1	5.0	26.1	4.8
Gødning (Faeces)	8.3	2.8	9.6	3.2	7.8	3.3	10.0	3.4
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	-2.4	-22.9 ^b	-2.7	-19.3 ^{ab}	-1.4	-7.1 ^a	-2.5	-10.7 ^{ab}
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	4.7 ^c	45.9 ^b	6.8 ^c	49.6 ^{ab}	13.3 ^b	67.3	16.1 ^a	68.1 ^a
<u>Træstof (Crude fibre)</u>								
I foder (In diet)	253	41.7	304	38.3	186	23.6	233	24.7
Passeret i tarm (Duodenal flow)	109	26.1	94	21.5	68	16.2	103	18.8
Gødning (Faeces)	109	36.6	82	27.5	67	28.4	89	30.2
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	144 ^b	56.9 ^b	209 ^a	69.0 ^a	118 ^c	63.6 ^{ab}	130 ^{bc}	55.7 ^b
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	0.5	0.5	13	4.0	0.8	0.2	15	6.4
<u>NFE</u>								
I foder (In diet)	203	33.4	277	34.9	416	52.9	496	52.5
Passeret i tarm (Duodenal flow)	136	32.6	135	30.8	131	31.3	183	33.3
Gødning (Faeces)	119	39.9	124	41.6	96	40.7	118	40.0
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	67 ^c	32.5 ^c	142 ^b	51.3 ^b	285 ^a	68.5 ^a	312 ^a	62.7 ^a
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	17 ^b	9.6	11 ^b	3.7	35 ^{ab}	8.4	66 ^a	13.3

Se fodnote, tabel 3.10 (See footnote in Table 3.10)

Tabel 3.12 Sukker + stivelse (S+S), restkulhydrat (RCH) og neutral detergentuopløselig fiber (NDF) i foder, passeret i tarm og i gødning (g og % af tørstof) samt fordøjeligheden af disse stoffer før og efter pylorus i g og i % af optaget stof

Table 3.12 Sugar + starch (S+S), residual carbohydrates (RCH) and neutral detergent fibre (NDF) in diet, duodenal flow and faeces (g and in per cent of dry matter), and the digestion of these nutrients before and after pylorus in g and in per cent of intake

Ration	A		B		C		D	
	g	%	g	%	g	%	g	%
<u>S + S</u>								
I foder (In diets)	9.7	1.6	19	2.4	230	29.2	268	28.4
Passeret i tarm (Duodenal flow)	4.3	1.0	6	1.4	23	5.5	29	5.3
Gødning (Faeces)	2.2	0.7	2.3	0.8	2.3	1.0	2.2	0.7
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	5.4 ^b	53.8 ^c	12 ^b	66.8 ^b	207 ^a	90.0 ^a	239 ^a	88.7 ^a
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	2.3 ^c	25.4 ^a	3.9 ^c	20.7 ^a	21 ^b	9.0 ^b	27 ^a	10.4 ^b
<u>RCH</u>								
I foder (In diets)	446	73.6	562	70.9	372	47.3	461	48.8
Passeret i tarm (Duodenal flow)	241	57.8	223	50.9	176	42.0	257	46.8
Gødning (Faeces)	226	75.8	204	68.5	161	68.2	204	69.2
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	205 ^b	45.8 ^{bc}	339 ^a	60.5 ^a	196 ^b	52.8 ^{ab}	204 ^b	44.2 ^c
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	15	4.1	19	3.2	15	3.9	53	11.5
<u>NDF</u>								
I foder (In diets)	426	70.3	488	61.5	327	41.6	406	43.0
Passeret i tarm (Duodenal flow)	196	47.0	157	35.8	141	33.7	183	33.0
Gødning (Faeces)	192	64.4	142	47.7	123	52.1	154	52.2
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	230 ^b	54.1 ^b	330 ^a	67.9 ^a	187 ^b	57.2 ^b	224 ^b	54.9 ^b
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	3.5	1.3	15	3.0	18	5.2	29	7.2

Se fodnote, tabel 3.10 (See footnote in Table 3.10)

Tabel 3.13 Lignin (Klason), Arabino-xylaner og glykose-polymerer i foder, passeret i tarm og i gødning (g og % af tørstof) samt fordøjeligheden af disse stoffer før og efter pylorus i g og i % af optaget stof (middel af 2 opsamlinger fra 3 får pr ration, hvor analysen af tarmindehold og gødning blev udført på samleprøver fra alle 3 dyr i hver opsamling)

Table 3.13 Lignin (Klason), Arabino-xylans and glucose in feed, duodenal flow and in faeces (g and per cent of dry matter) and their digestion before and after pylorus in g and in per cent of intake (mean of two collections from 3 sheep per ration where determinations in duodenal content and faeces were made on merged samples from the 3 animals in each collection)

Ration	A		B		C		D	
	g	%	g	%	g	%	g	%
<u>Lignin (Klason)</u>								
I foder (In diet)	105	17.3	127	16.1	82	10.4	102	10.7
Passeret i tarm (Duodenal flow)	100	24.0	111	25.3	77	18.4	102	18.7
Gødning (Faeces)	104	34.7	120	40.3	85	36.2	100	34.0
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	5	4.5	17	13.0	5	6.0	0	-0.1
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	-3	-3.0	-9	-7.3	-8	-9.7	2	2.2
<u>Hemicellulose</u> ¹⁾								
I foder (In diet)	108	17.8	145	18.3	116	14.3	139	14.7
Passeret i tarm (Duodenal flow)	56	13.4	44	10.0	41	9.8	58	10.6
Gødning (Faeces)	49	16.3	38	12.6	30	12.7	43	14.5
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	52	48.4	101	69.7	76	65.1	81	58.3
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	7	6.7	7	4.5	11	9.2	15	11.0
<u>α- og β-glykose (α- and β-glucose)</u> ²⁾								
I foder (In diet)	175	28.9	225	28.4	352	44.8	421	44.5
Passeret i tarm (Duodenal flow)	86	20.6	83	18.9	82	19.6	114	20.8
Gødning (Faeces)	78	26.1	59	19.8	58	24.7	64	21.6
Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)	89	50.7	143	63.3	271	76.8	307	72.9
Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)	8	4.7	24	10.6	24	6.5	51	12.0

1) Hovedsageligt arabino-xylaner (Mainly arabino-xylans)

2) Summen af stivelse- og cellulose-glykose (Sum of starch- and cellulose-glucose)

Tabel 3.14 Oversigt over kulhydraternes tilsyneladende fordøjelighed før og efter pylorus inklusive beregnet cellulose³⁾ i g pr dag og % af optaget (middel af 2 opsamlinger fra 3 får pr ration)

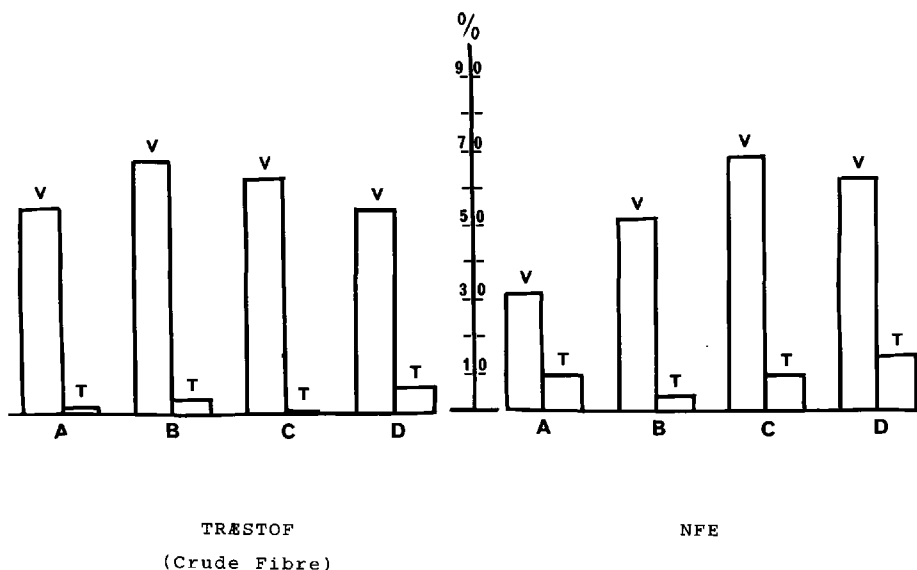
Table 3.14 Survey of the apparently digested carbohydrates before and after pylorus included that of calculated cellulose³⁾ in g per day and per cent of intake (mean of two collections from 3 sheep per ration)

	Fordøjet før pylorus (Digested before pylorus)								Fordøjet efter pylorus (Digested after pylorus)							
	A		B		C		D		A		B		C		D	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
Træstof (Crude fibre)	144	56.9	209	69.0	118	63.6	130	55.7	0.5	0.5	13	4.0	0.8	0.2	15	6.4
NFE	67	32.5	142	51.3	285	68.5	312	62.7	17	9.6	11	4.7	35	8.4	66	13.3
S + S	5.4	53.8	12	66.8	207	90.0	239	88.7	2.3	25.4	3.9	20.7	21	9.0	27	10.4
RCH	205	45.8	339	60.5	196	52.8	204	44.2	15	4.1	19	3.2	15	3.9	53	11.5
NDF	230	54.1	330	67.9	187	57.2	224	54.9	3.5	1.3	15	3.0	18	5.2	29	7.2
Klason lignin	4.7	4.5	17	13.0	4.9	6.0	0	-0.1	-3.2	-3.0	-9.3	-7.3	-8.0	-9.7	2	2.2
Hemicellulose ¹⁾	52	48.4	101	69.7	76	65.1	81	58.3	7.2	6.7	6.5	4.5	11	9.2	15	11.0
α- og β-glykose ²⁾ (α- and β-glucose) ²⁾	89	50.7	143	63.3	271	76.8	307	72.9	8.2	4.7	24	10.6	24	6.7	51	12.0
Cellulose-glykose ³⁾ (Cellulose-glucose) ³⁾	83	40.5	130	62.9	64	52.0	66	43.8	6.1	3.7	20	9.6	2.7	2.2	24	15.6

1) Hovedsageligt arabino-xylaner (Mainly arabino-xylans)

2) Summen af stivelse- og cellulose-glykose (Sum of starch- and cellulose-glucose)

3) Beregnet som ²⁾ minus S + S (Calculated from ²⁾ minus S + S)

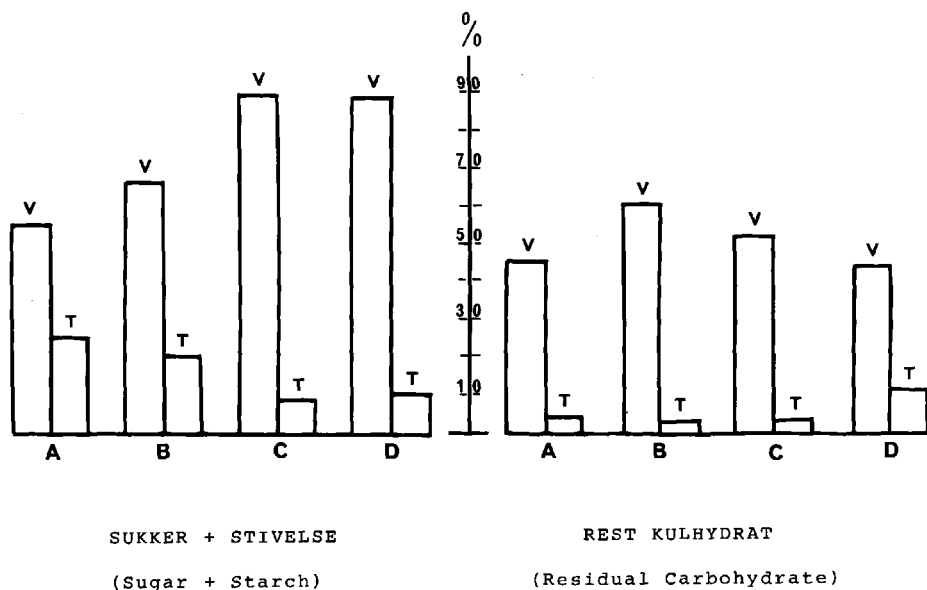


Figur 3.4 Træstof og NFE fordøjet i formaverne (V) og tarm (T) hos får på ration A - D (g pr 100 g i foderet)

Figure 3.4 Digestibility of crude fibre and NFE in rumen (V) and intestines (T) in sheep fed rations A - D (g per 100 g in feed)

Som angivet i kapitel 4 er den mikrobielle proteinsyntese i dette forsøg beregnet på grundlag af diaminopimelinsyrekoncentrationen i prøverne fra tarminholdet. Ud fra disse værdier var det muligt at skønne over mængden af mikrobielt tørstof og fedt, samt de mængder af mikrobielt kulhydrat, der kunne formodes at have passeret i tyndtarmen ved pylorus. Den kemiske sammensætning af tørstoffet i mikroorganismer fra kvæg er angivet af Storm & Ørskov (1983) og er ikke forskellig fra den, man finder i mikrofloraen hos får (Ørskov, 1982).

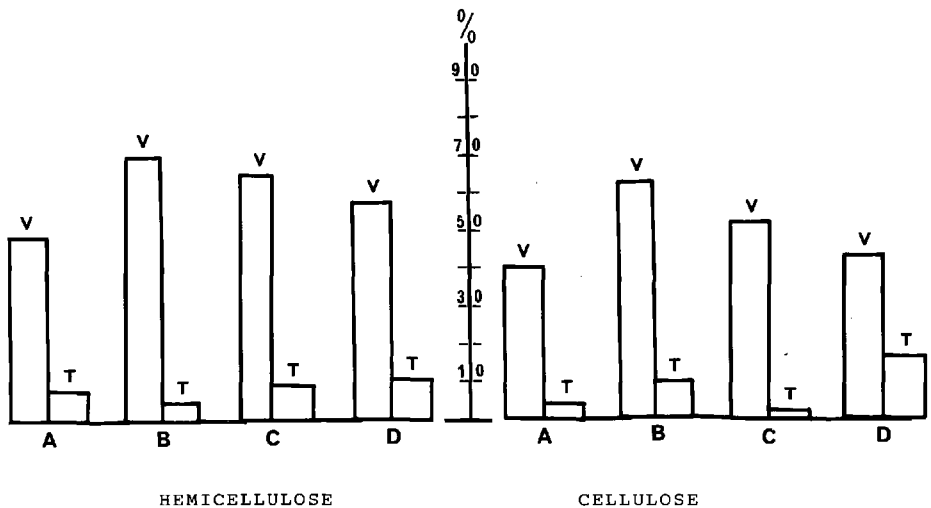
I tabel 3.15 ses, at den beregnede mikrobielle del af de kulhydrater, der passerede pylorus, sammenholdt med de målte mængder S+S sandsynliggør, at størstedelen passerede som oplagsnæring i bakterierne.



Figur 3.5 Sukker + stivelse og restkulhydrat fordøjet i formaverne (V) og tarm (T) hos får på ration A - D (g pr 100 g i foderet)

Figure 3.5 Digestibility of sugar + starch and residual carbohydrate in rumen (V) and intestines (T) in sheep fed ration A - D (g per 100 g in feed)

Den tilsyneladende fordøjelighed af lignin (tabel 3.14) før pylorus og den negative fordøjelighed i tarmkanalen er i overensstemmelse med Gaillard og Richards (1975), der fandt, at der i vommen dannes opløselige komplekse lignin-kulhydratforbindelser, der senere udfældes i tarmkanalen - et forhold, der gør ligninkoncentrationen ubrugelig som markør (Fahey & Jung, 1983). Genfindelseskvotienter for foderets Klason lignin i gødningen for henholdsvis ration A, B, C og D var 0,986, 0,944, 1,038 og 0,980, medens kvotienterne for lignin i tarminholdet var henholdsvis 0,997, 1,010, 1,096 og 0,949, hvor dobbeltbestemmelsernes standardafvigelse (SD = 0,23) indgår i variationen. Egan et al. (1975) fandt en tilsvarende variation.



Figur 3.6 Hemicellulose og cellulose fordøjet i formaverne (V) og tarm (T) hos får på ration A - D (g pr 100 g i foderet)

Figure 3.6 Digestibility of hemicellulose and cellulose in rumen (V) and intestines (T) in sheep fed ration A - D (g per 100 g in feed)

I overensstemmelse med Ulyatt et al. (1975) blev der fordøjet en større procentdel af foderets hemicellulose (arabinose-xylaner) end af cellulose efter pylorus ved fodring med ubehandlet halm, medens det modsatte gjorde sig gældende ved fodring med ludet halm. Det har vist sig, at jo lavere den tilsyneladende fordøjelighed af foderets cellevægsstoffer er i formaverne, des mere fordøjes i blind- og tyktarmen, hvor der kan være fordøjet op til 30 % af den totalt fordøjede cellulose. De flygtige fedtsyrer, der herved produceres, kan udgøre fra 8,6-16,8 % af den totale fedtsyreproduktion (Ulyatt et al., 1975). Disse fedtsyrer optages i blodet og bidrager dermed til energistofskiftet, men aminosyrerne i det samtidigt dannede mikrobielle protein kan ikke absorberes efter tyndtarmen og går derfor stort set tabt med gødningen.

Tabel 3.15 Totalt og beregnet mikrobielt tørstof, fedt og kulhydrat passeret ved pylorus, sammenholdt med S+S i tarmindehold og gødning, g pr dag

Table 3.15 Total and calculated duodenal flow of microbial dry matter, fat and carbohydrate, compared to S+S in digesta and faeces, g per day

Ration	A	B	C	D
<u>Tørstof (Dry matter)</u>				
Totalt (Total)	417	438	419	549
Heraf mikrobielt (Microbial part) ¹	66	82	182	197
Pct. af total (In per cent of total)	15.8	18.7	43.4	35.9
<u>Fedt (Fat)</u>				
Totalt (Total)	13	16	21	26
Heraf mikrobielt (Microbial part) ¹	7	8	19	20
Pct. af total (In per cent of total)	50.4	50.6	87.7	76.2
<u>Kulhydrat (Carbohydrate)</u>				
Totalt (Total)	245	229	199	286
Heraf mikrobielt (Microbial part) ¹	10	13	28	31
Pct. af total (In per cent of total)	4.2	5.6	14.3	10.7
S+S passeret i tarm (S+S in duodenal flow)	4	6	23	29
S+S i gødning (S+S in faeces)	2	2	2	2

¹) Beregnet på grundlag af værdier angivet af Storm og Ørskov (1983)
(Calculated based on values given by Storm and Ørskov (1983))

3.3 Konklusion

Af forsøgets resultater kan følgende hovedkonklusioner drages:

NaOH-behandling af halmen forbedrede fordøjeligheden af plantecellevæggens bestanddele med størst virkning på hemicellulosefraktionen.

Denne forbedring formindskes for celluløsens vedkommende ved tilsætning af stivelse i form af byg.

Virkningen af den kemiske behandling og vekselvirkningen mellem forskellige foderkomponenter kan kun klarlægges på grundlag af en nøjagtig bestemmelse af de forskellige fraktioner i planternes cellevæge, hvilket kræver en detaljeret analyse.

Ved anvendelse af den forbedrede analyseteknik i forbindelse med fordøjelighedsforsøg og energistofskiftemålinger på drøvtyggere, vil udnyttelsesgraden af de enkelte cellevægskomponenter under vekslende fodringsforhold kunne kortlægges. Derved fjernes den usikkerhed, som især halmen kan udgøre for foderplanlægningen. Dette svarer til de konklusioner, den tilsvarende forsøgsinstitution (ADAS) i England for nyligt har publiceret (Barber et al., 1983).

3.4 Litteratur

- Adler, E. (1968). Ligninets kemiska byggnad. *Sven. Kem. Tidskr.*, 80, 279-290.
- Akin, D.E. (1980). Attack on lignified grass cell walls by a facultatively aerob bacterium. *Appl. Environ. Microbiol.*, 40, 809-813.
- Barber, W.P., Alderman, G., Adamson, A.H. & Mansbridge, R.J. (1983) Chemical treatment of cereal straws by on-farm procedures. *Proc. Int. Symp.: Animals as waste converters*. Wageningen, Holland. Ed.: Pudoc. Under trykning.
- Bethage, P.O., Rådeström, R. & Theander, O. (1975). Kvantitativ kolhydratbestämning - en detaljstudie. *Meddelande från STFI* 63B, 1-50.
- Chesson, A. (1981). Effects of sodium hydroxide on cereal straws in relation to enhanced degradation of structural polysaccharides by rumen microorganisms. *J. Sc. Food. Agr.*, 33, 745-749.
- Chesson, A., Gordon, A.H. & Lomax, J.A. (1983). Substituent groups linked by alkali-labile bonds to arabinose and xylose residues of legume, grass and cereal straw cell walls and their fate during digestion by rumen microorganisms. *J. Sci. Food. Agr.*, 34, 1330-1340.
- Egan, A.R., Walker, D.J., Nader, C.J. & Storer, G. (1975). Comparative aspects of digestion of four roughages by sheep. *Austr. J. Agr. Res.*, 26, 909-922.
- Evans, P.J. (1978). Chemical and physical aspects of the interaction of sodium hydroxide with the cell wall components of straw. *Proc. Symp. on Straw and its effect on disposal and utilization*. Ed.: E. Grossbard, 187-197. Wiley & Sons. England.
- Fahey Jr., G.C. & Jung, H.G. (1983). Lignin as a marker in digestion studies: A review. *J. of Anim. Sci.*, 57, 220-225.

- Farstad, L. & Næss, B. (1977). Effects of alkali-lignins on some biological systems. *Acta Agric. Scand.*, 27, 123-126.
- Gaillard, B.D.E. (1972). Personlig meddelelse.
- Gaillard, B.D.E. & Klooster, A.Th.van't (1973). Observations on the fermentation of carbohydrates along the gastro intestinal tract of a fistulated cow. *Neth. J. Agr. Sci.*, 21, 217-226.
- Gaillard, B.D.E. & Richards, G.N. (1975). Presence of soluble lignin carbohydrate complexes in the bovine rumen. *Carbohydr. Res.*, 42, 135-145.
- Harrison, D.G. & McAllan, A.B. (1980). Factors affecting microbial growth yields in the reticulo-rumen. In *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. Eds.: Y. Ruckebusch & P. Thivend. 205-226. MTP Press Ltd., England.
- Head, M.J. (1953). The effect of quality and quantity of carbohydrate and protein in the ration of the sheep on the digestibility of cellulose and other constituents of the ration, with a note on the effect of adding vitamins of the B-complex on the digestibility and retention of the nutrients of a hay ration. *J. of Agric. Sci.*, 43, 281-293.
- Hobson, P.N. & Wallace, R.J. (1982). Microbial ecology and activities in the rumen. *Critical Review in Microbiology*, 9(3), 165-225. CRC Press.
- Hoffmann, L. (1969). The suitability of energetic index numbers for performance prediction. EAAP publ. no. 12. Eds.: K.L. Blaxter, J. Kielanowski & G.Thorbek. 51-58. Oriel Press, Newcastle upon Tyne.
- Jung, H.G. & Fahey, Jr. G.C. (1983a). Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: A review. *J. of Anim. Sc.*, 57, 206-219.
- Jung, H.G., Fahey Jr., G.C. & Merchen, N.R. (1983). Effects of ruminant digestion and metabolism on phenolic monomers of forages. *Br. J. Nutr.*, 50, 637-651.
- Jouany, J.P. & Senaud, J. (1979). Role of rumen protozoa in digestion of food cellulosic materials. *Ann. Rech. Vet.*, 10, 261-263.
- Kristensen, V. Friis, Andersen, P.E., Stigsen, P., Thomsen, K.V., Refsgård Andersen, H., Sørensen, M., Ali, S.S., Mason, V.C., Rexen, F., Israelsen, M. & Wolstrup, J. (1977). Natriumhydroxyd-behandlet halm som foder til kvæg og får. 464. Beretn. fra Statens Husdyrbrugsforsøg, København. pp 218.
- Latham, M.J., Hobbs, D.G. & Harris, P.J. (1979). Adhesion of rumen bacteria to alkali-treated plant stems. *Ann. Vet.*, 10, 244-248.
- MacRae, I.G. & Armstrong, D.G. (1968). Enzyme method for determination of alpha-linked glucose polymers in biological materials. *J.Sc. Fd. Agric.*, 19, 578-581.
- MAFF (1976) Ministry of Agriculture, Fisheries & Food. Energy allowances and feeding systems for ruminants. Technical Bulletin 33, pp 79. H.M.S.O., London.
- Mascarenhas Ferreira, A., Kerstens, J. & Gast, C.H. (1983). The study of several modifications of the neutral detergent fibre procedure. *Anim. Feed. Sc. Technol.*, 9, 19-28.
- Mason, V.C. & Hvelplund, T. (1983). Kvalitative aspekter af fordøjelsen hos drøvtyggere. 551. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg, København. pp 10.9-10.12.
- McAllan, A.B. & Griffith, E.S. (1983). The use of detergent extraction procedures for estimating fibre carbohydrates in feeds and digesta. *Proc. Nutr. Soc.*, 43, 25A.

- McAllan, A.B. & Smith, R.H. (1974). Carbohydrate metabolism in the ruminant. Bacterial carbohydrate formed in the rumen and their contribution to digesta entering the duodenum. *Br. J. Nutr.*, 31, 77-88.
- McAllan, A.B. & Smith, R.H. (1983). Factors influencing the digestion of dietary carbohydrates between the mouth and abomasum of steers. *Br. J. Nutr.*, 50, 445-454.
- McNiven, Mary A. (1984). The effect of body fatness on energetic efficiency and fasting heat production in adult sheep. *Br. J. Nutr.*, 51, 297-304.
- Morrison, I.M. (1979). Carbohydrate chemistry and rumen digestion. *Proc. Nutr. Soc.*, 38, 269-274.
- Morris, E.J. & Bacon, J.S.D. (1977). The fate of acetyl groups and sugar components during the digestion of grass cell walls in sheep. *J. Agric. Sci. Cambridge*, 89, 327-336.
- Neergaard, L. (1973). Om en ny stivelsesanalyse. Bestemmelse af alfa-bundne glykose-polymere og betydningen af at anvende denne fraktion i vurderingen af fodermidlernes energetiske værdi til kvæg. *Ugeskr. for Agron. og Hortonom.*, 48, 906-909.
- Neergaard, L. (1974). Methane production in growing calves in relation to the composition of the food. EAAP publ. no. 14, 103-106. Universität Hohenheim, Dokumentationsstelle.
- Nehring, K. & Laube, W. (1955). Untersuchungen über die Zusammensetzung der pflanzlichen Gerüstsubstanz in Grün- und Raufutterstoffe und ihren Einfluss auf die Verdaulichkeit dieser Futterstoffe. *Arch. Tiernähr.*, 5, 182-215.
- Orpin, C.G. (1983). The role of protozoa and fungi in the rumen degradation of plant cell walls. OECD Workshop on Modification of straw and other ligno-cellulosic materials for animal feed. The Grassland Institute, 16-17 Feb. 1983. Under trykning.
- Paloheimo, L. (1953). Some persistent misconceptions concerning the crude fibre and the nitrogen-free extract. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.*, 25, 16-22.
- Prins, R.A. (1977). Biochemical activities of gut microorganisms. In *Microbial Ecology of the gut*. Eds.: R.T.J. Clarke & T. Beauchop. 73-183. Academic Press, London.
- Salo, Maija-Liisa. (1961). Determination of carbohydrates in animal foods as seven fractions. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.*, 33, 32-38.
- SAS (1979) Tukey's test. SAS User's Guide, 362-364. SAS Institute Inc. Box 800, Cary, North Carolina 27511, USA.
- Soest, P.J.van (1963). Use of detergents in analysis of fibrous feeds. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 46, 825-835.
- Soest, P.J.van (1975). Physico-chemical aspects of fibre digestion. In: *Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Eds.: I.W. McDonald & A.C.I. Warner. 351-365. Armidale: The University of New England Publishing Unit.
- Soest, P.J.van & Wine, R.H. (1967). Use of detergents in analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell wall constituents. *J. Ass. Off. Chem.*, 50, 50-55.
- Stewart, C.S. (1977). Factors affecting the cellulolytic activity in rumen contents. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, 497-503.
- Storm, E. & Ørskov, E.R. (1983). The nutritive value of rumen microorganisms in ruminants. 1. Large scale isolation and chemical composition of rumen microorganisms. *Br. J. Nutr.*, 50, 463-470.
- Sundstøl, F. (1982). Energy utilisation in sheep fed untreated straw, ammonia treated straw or sodium hydroxide treated straw.

- EAAP publ. no. 29. Eds.: A. Ekern & F. Sundstøl. 120-123. Agricultural University of Norway.
- Theander, O. & Åman, P. (1978). Chemical composition of some Swedish straws. *Swedish J. Agric. Res.*, 8, 189-194.
- Theander, O. & Åman, P. (1979). The Chemistry, morphology and analysis of dietary fiber components. In: *Dietary Fibers: Chemistry and Nutrition*. Eds.: G.E. Inglett & S.I. Falkehag. 215-244. Academic Press, New York, San Francisco, London.
- Theander, O. & Åman, P. (1980). Chemical composition of some forages and various residues from feeding value determinations. *J. Sci. Food Agric.*, 31, 31-37.
- Theander, O. (1981). Chemical composition of low quality roughages as related to alkali treatment. In: *Utilisation of low quality roughages in Africa*. Eds.: J.A. Kategile, A.N. Said & F. Sundstøl. 1-15. Ås, Norway.
- Thomsen, K.V. (1972) Foderstofanalysen. *Ugeskr. for Agron. og Horton.*, 16, 316-318.
- Thomsen, K.V. & Nørgaard, P. (1983). In vivo fordøjelighedsbestemmelse. 551. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg, 3.23-3.24.
- Ulyatt, M.J., Dellow, D.W., Reid, C.S.W. & Beauchop, T. (1975). Structure and function of the large intestine of ruminants. In: *Digestion and Metabolism in the ruminant*. Eds.: I.W. McDonald & A.C.I. Warner. 119-133. Armidale: The University of New England Publishing Unit.
- Ørskov, E.R., Grubb, D.A., Smith, J.S., Webster, A.J.F. & Corrigan, W. (1979). Efficiency of utilization of volatile fatty acids for maintenance and energy retention by sheep. *Br. J. Nutr.*, 41, 541-551.
- Ørskov, E.R. (1982). Protein nutrition in ruminants. 160 pp. Academic Press, London.

4. KVÆLSTOFOMSÆTNINGEN OG AMINOSYREFORSYNINGEN

4.1 Teoretisk baggrund

Alle levende organismer skal have tilført kvælstof, da det indgår i en lang række vigtige biologiske stoffer, først og fremmest aminosyrer, der er byggestenen for proteiner, herunder strukturproteiner, enzymer og en del hormoner. Endvidere indgår kvælstof i puriner og pyrimidiner, der er byggestenen for nukleinsyrerne RNA og DNA, samt i vitaminer, der er udgangsstoffer for en række vigtige coenzymer. Alle disse stoffer syntetiseres i planter og bakterier, men nogle af dem (vitaminer og visse aminosyrer) kan ikke syntetiseres i højerestående dyr og må derfor tilføres med foderet.

I dette afsnit behandles kvælstofomsætningen hos får med særlig henblik på dyrenes aminosyreforsyning.

4.1.1 Aminosyrerne og deres bestemmelse

I dyrenes proteinsyntese indgår i alt 20 forskellige aminosyrer. Disse inddeles i de essentielle aminosyrer, der ikke kan syntetiseres af dyrene selv, og de ikke-essentielle aminosyrer, der dannes ud fra intermediære stofskifteprodukter eller - i nogle tilfælde - ud fra essentielle aminosyrer.

De essentielle aminosyrer omfatter histidin, isoleucin, leucin, lysin, methionin, fenyylalanin, treonin, tryptofan og valin, medens de ikke-essentielle aminosyrer omfatter alanin, arginin, asparaginsyre, asparagin, cystein, glutaminsyre, glutamin, glycin, prolin, serin og tyrosin.

Cystein og methionin er de to eneste svovlholdige aminosyrer. Da cystein kun kan dannes ud fra methionin i højerestående dyr, og da det afgørende normalt er tilførslen af den samlede mængde svovlhol-

dige aminosyrer, burde cystein derfor også henregnes til de essentielle aminosyrer. Methionin kan ikke dannes ud fra cystein, men ekstra tilførsel af cystein sparer på methioninforbruget og dermed behovet. Noget tilsvarende gælder for tyrosin, der kun kan dannes ud fra fenylalanin. Endvidere dannes arginin i højerestående dyr kun i forbindelse med urinstofsyntesen, hvortil der hele tiden forbruges lige så meget, som der dannes. Disse tre aminosyrer (cystein, tyrosin og arginin) vil derfor i denne beretning blive henregnet under de essentielle aminosyrer.

De senere års udvikling og automatisering af aminosyreanalyser har gjort det hurtigt og sikkert at bestemme indholdet af de enkelte aminosyrer i proteinet. Samtidig er der på afdelingen for dyrefysiologi, biokemi og analytisk kemi ved Statens Husdyrbrugsforsøg (SH) foregået et intensivt udviklingsarbejde, specielt med henblik på at bestemme aminosyrerne i foderblandinger.

Metoden bygger på en sur hydrolyse af proteinet, efterfulgt af en kromatografisk adskillelse af de frie aminosyrer. Den er detaljeret beskrevet i 360. Meddelelse fra SH og de deri angivne referencer.

Ved den anvendte metode er det dog ikke muligt at bestemme tryptofan, der nedbrydes under den sure hydrolyse, og tryptofan er derfor ikke medtaget i denne beretning. Indholdet af tryptofan i forskellige proteiner ligger normalt på 1-2%, og fejlen ved ikke at medtage denne aminosyre bliver i de fleste sammenhænge acceptabel.

Endvidere bestemmes asparagin og glutamin ved den anvendte metode som henholdsvis asparaginsyre og glutaminsyre, da de respektive amider får fraspaltet en ammoniumion (NH_4^+) under hydrolysen. Herved bliver bestemmelsen af aminosyre-N for lav og andelen af aminosyre-N i forhold til total-N bliver dermed også for lav. Da glutaminsyre og asparaginsyre sammen med deres respektive amider ofte udgør omkring 1/3 af alle aminosyrer, vil fejlen på aminosyre-N bestemmelsen kunne blive forholdsvis stor. Fejlen afhænger naturligvis af amideringsgraden, men denne er vanskelig at bestemme og er i de fleste tilfælde ikke kendt. Det er dog sandsynligt, at den i mange foderblandinger er på mindst 50% (Boisen et al., ikke publiceret). I visse proteiner kan amideringsgraden være betydeligt højere. Således er det påvist, at den i byggets vigtigste oplagsprotein, hordein, er på ca 95% og i bygprotein som helhed på ca 70% (Ewart, 1981).

Endelig skal det fremhæves, at anvendelse af aminosyrebestemmelser giver mulighed for en nøjagtig bestemmelse af sand protein i foderprøver i modsætning til det ofte anvendte råprotein, der er lig med prøvens kvælstofindhold multipliceret med 6,25. Denne faktor er en gennemsnitsfaktor mellem kvælstof og rent protein. Da prøverne næsten altid indeholder ikke-protein-N (nukleinsyrer, aminosukre, vitaminer m.m.), vil proteinindholdet herved ofte blive overestimeret. Proteiner med højt amidindhold vil ligeledes blive overestimeret.

4.1.2 Oversigt over kvælstofomsætningen hos drøvtyggere

Kvælstoffet i almindelige foderstoffer stammer hovedsageligt fra protein (70-80%). Resten stammer fra nukleinsyrer (f.eks. 6-10% i græs og hø), glucosaminer, vitaminer og andre N-holdige stoffer. Endvidere suppleres foderet til drøvtyggere ofte med urinstof (urea).

I det følgende gives en oversigt over kvælstofomsætningen i mave-tarmkanalens forskellige afsnit hos drøvtyggere.

Vommen

I vommen sker der en mikrobiel nedbrydning af størstedelen af foderproteinet, hvorfra der dannes ammoniak (NH_3). Der dannes også ammoniak ud fra ikke-protein-N, især urea, der dels kan være tilført som supplement til foderet, dels tilføres vommen med blodet via spyttet eller vomvæggen. Også mucin, der er et glykoprotein i spyt, samt afstødte vomepitelceller bidrager til kvælstofforsyningen. Ud fra det dannede NH_3 kan der dannes bakterielt protein, der eventuelt kan videreomdannes til protozo-protein. Protozoer kan ikke udnytte NH_3 til aminosyresyntese og må derfor have aminosyrebehovet dækket fra foderet eller bakterier.

Løben

I løben dræbes de fleste mikroorganismer af den udskilte saltsyre, og såvel det mikrobielle protein som det i vommen ufordøjede

protein bliver delvis denatureret af saltsyren. Desuden startes proteinernes nedbrydning af enzymet pepsin.

Tyndtarmen

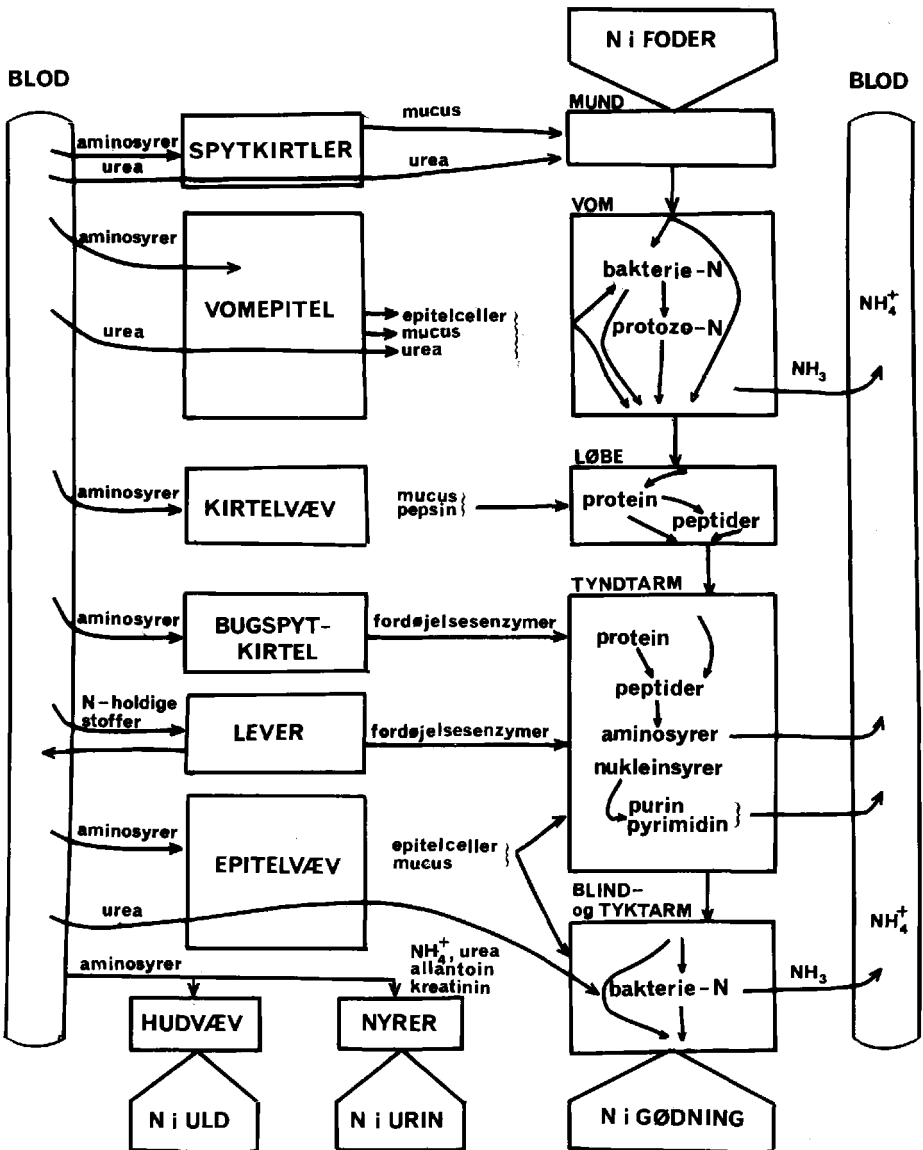
De kvælstofholdige stoffer, der når ud i tyndtarmen, findes dels i ikke-nedbrudt foder, dels i mikroorganismer og endogene udskillelser (enzymmer, epitelceller, mucus). Fordelingen af N-holdige stoffer i det ufordøjede foder svarer normalt ret nøje til fordelingen i det oprindelige foder. Det mikrobielle kvælstof består af ca 79% protein-N og ca 15% nukleinsyre-N, medens resten fortrinsvis udgøres af aminosukre (især N-acetylglucosamin i bakteriecellevægge). Hovedparten af det tilførte protein nedbrydes effektivt i tyndtarmen af proteolytiske enzymer fra bugspytkirtlen og absorberes fortrinsvis som aminosyrer. Nukleinsyrerne nedbrydes ligeledes effektivt, idet drøvtyggere i sammenligning med enmavede dyr har en særlig høj aktivitet af nukleaser i sekretet fra bugspytkirtlen. Kvælstofindholdet i de absorberede nedbrydningsprodukter (puriner og pyrimidiner) kan dog kun i ringe grad udnyttes direkte. En betydelig del af purinerne omdannes i leveren til allantoin, der udskilles med urinen, medens pyrimidin-N (og en del af purin-N) i form af urea kan recirkuleres til vommen via vomvæggen eller spyttet.

Blind-og tyktarm

De stoffer, der når til blind-og tyktarmen, underkastes også en vis mikrobiel omsætning, der dog er betydelig mindre end i vommen. Energikilden er fortrinsvis plantefibre, der eventuelt er blevet mere tilgængelige efter passagen gennem løben og tyndtarmen. N-kilden er det tilførte protein og andre N-holdige stoffer samt urea, der fra blodet kan diffundere igennem tarmvæggen.

Det kvælstof, der udskilles med gødningen, findes hovedsageligt i bakterier (som protein og nukleinsyrer). Betydeligt mindre kvælstof findes i resterne af ufordøjet foderprotein og endogent protein fra fordøjelsesvæsker og afstødte epitelceller.

En samlet oversigt over kvælstofomsætningen fremgår af fig. 4.1.



Figur 4.1 Kvælstofomsætningen hos får

Figure 4.1 Nitrogen metabolism in sheep

4.1.3 Mikrobiel proteinsyntese i vommen

Den mikrobielle omsætning i vommen er uhyre kompleks, da den normalt omfatter mange forskellige substrater, der omsættes af mange forskellige mikroorganismer til et stort antal forskellige produkter. Heraf følger, at omsætningen i vommen vil være påvirket af en række forskellige faktorer.

Den mikrobielle proteinsyntese i vommen er et resultat af den omsætning, der finder sted i bakterier, protozoer og - i mindre omfang - svampe. Hertil kræves tilførsel af kvælstof og energi.

Kvælstoffet tilføres først og fremmest med foderet, men også tilførslen ved recirkuleringen af urea via spyt eller fra blodet ved diffusion gennem vomvæggen kan være ret betydelig. Den mængde, som tilføres ved recirkulering, kan hos får være helt op til 9,8 g N/dag, hvoraf hovedparten (ca 85%) er diffunderet over vomvæggen (Kennedy & Milligan, 1978).

Recirkuleringen af N påvirkes både direkte og indirekte af fodringen. Således afhænger spytsekretionen af foderets struktur og øges f.eks. ved øget indhold af halm. Koncentrationen af urea i spyttet er normalt ca $1/3$ af koncentrationen i blodplasmaet svarende til ca 50 mg N pr l (Somers, 1961). Diffusionen af urea gennem vomvæggen afhænger formentlig af koncentrationsforskellen mellem blodet og vomvæsken. Urea nedbrydes hurtigt til NH_3 af enzymet urease, der bl.a. findes i bakterier, som er koloniseret på vomvæggen. Ved lave koncentrationer af NH_3 i vommen er ureaseaktiviteten i disse bakterier væsentligt forøget, hvilket kan tænkes at være af betydning for en øget diffusionshastighed af urea ind i vommen (Ørskov, 1982). Opretholdelse af en tilstrækkelig høj koncentration af urea i blodet (ved aminosyrekatabolisering i lever og andre væv) vil således sikre en konstant tilførsel af urea (kvælstof) til vommen ved recirkuleringen. Denne ekstra tilførsel af kvælstof til vommen vil i øvrigt bevirke, at når foderet indeholder meget energi i forhold til kvælstofindholdet, vil der kunne være en konstant større tilførsel af kvælstof til tyndtarmen end svarende til kvælstofindholdet i foderet.

Hvis kvælstofforsyningen bliver utilstrækkelig til den mikrobielle omsætning, vil det resultere i såvel en reduceret omsætnings-hastighed som en lavere foderoptagelse (Ørskov, 1982).

På grundlag af en række forsøg kan det konkluderes, at kvælstof-fet i foderet - afhængig af rationens sammensætning - kan udnyttes optimalt ved koncentrationer indtil 3% hos drøvtyggere. NH_3 -koncentrationen i vommen kan variere fra 1-30 mM (Bondi, 1981), men NH_3 -koncentrationer over 5 mM i vommen har ingen positiv indflydelse på den mikrobielle proteinsyntese (Buttery, 1977).

Det skal også fremhæves, at kvælstofkilden ikke er uden betydning, idet de forgrenede kulstofskeletter fra aminosyrerne valin, leucin og isoleucin tjener som vækstfaktorer for mikroorganismer, dels til syntese af de tilsvarende aminosyrer, dels til syntese af forgrenede langkædede fedtsyrer, der er karakteristisk for mikroorganismer. En del af det tilførte kvælstof skal derfor være som protein-N, og celluloserige rationer, der kun indeholder mindre mængder protein, skal derfor suppleres med en passende proteinkilde.

Energitilførslen til vommen stammer først og fremmest fra foderets kulhydrater (stivelse, rørsukker, cellulose, hemicellulose, pektin m.m.). Disse nedbrydes via glykose til flygtige fedtsyrer (VFA), hvorved bakterierne kan udnytte op til 6,4% af den oprindelige energi i kulhydraterne. Derimod kan bakterierne kun udnytte ca 1% af energien i proteinet, og energien i fedt er praktisk taget uudnyttelig for bakterierne, idet kun glyceroldelen i triglyceriderne kan udnyttes energetisk (Ørskov, 1982).

Maksimal mikrobiel proteinsyntese er dels afhængig af foderets indhold af energi og kvælstof, dels af en tilpas samtidig frigørelse af energi og NH_3 ; hvis energien er for let tilgængelig (som det kan være tilfældet ved fodring med stivelsesholdige fodermidler som f.eks. byg) kan produktionen af VFA blive midlertidigt for stor, hvorved vom-pH bliver for lav for en optimal omsætning; hvis derimod NH_3 -dannelsen er for høj (efter fodring med letopløseligt protein eller urea), vil en del af NH_3 -overskuddet diffundere ud i blodet og kan give anledning til ammoniakforgiftning. Efter transport til leveren kan NH_3 imidlertid også indbygges i ikke-essentielle aminosyrer eller omdannes til urea, der kan recirkuleres til vommen.

Endelig skal det nævnes, at selv om de bedste foderrationer almindeligvis anses for at være dem, der giver den mest effektive mikrobielle proteinproduktion (ARC, 1980), har McAllan & Smith (1983) påvist, at denne ikke nødvendigvis er sammenfaldende med den mest

effektive fordøjelse af træstoffet og dermed den mest effektive energiudnyttelse for værtsdyret.

4.1.4 Bestemmelse af den mikrobielle proteinsyntese i vommen

Den mikrobielle proteinsyntese kan dels beregnes på grundlag af foderets sammensætning, dels bestemmes direkte eller indirekte på det maveindhold, der passerer pylorus og fortsætter ud i tyndtarmen.

Den teoretisk maksimale proteinsyntese på grundlag af energi fra kulhydrater kan beregnes ud fra støkiometriske energiberegninger. Det fremgår heraf, at der kræves 3 ATP til indbygning af NH_4 i det kulhydratskelet, der svarer til den syntetiserede aminosyre, og 5 ATP til dannelse af en peptidbinding ved proteinsyntesen. Med en gennemsnitlig molekylvægt på 108 af de enkelte aminosyrer i proteinet, svarer det således til et forbrug på 8 mol ATP pr 108 g protein. Idet nedbrydningen af 100 g stivelse giver ca 2 mol ATP ved de bakterielle forgæringsprocesser, kan man beregne, at den maksimale produktion er på 270 g protein, svarende til ca 43 g aminosyre-N pr kg forgæret stivelse, og dermed også pr kg forgærede kulhydrater i almindelighed.

Da den bakterielle proteinsyntese er forbundet med den øvrige celleopbygning og omsætning i bakterierne, må man formode, at den maksimale proteinsyntese i forhold til forgærede kulhydrater ligger noget lavere end det her beregnede. På den anden side afhænger produktionen også af, i hvor stor udstrækning mikroorganismerne har optaget intakte aminosyrer. Således angiver Nolan et al. (1976), at kun 30-80% af foder-N omdannes til NH_3 , før det indbygges i mikrobielt protein.

Da protozoerne ikke selv kan syntetisere alle aminosyrer, må de have en del af deres aminosyrebehov dækket fra enten foderet eller bakterier. Protozoernes proteinsyntese kan udgøre op til 1/3 af den totale proteinsyntese i vommen - dog vil 2/3 af protozoerne dø og blive nedbrudt i vommen (Leng, 1982). Protozoernes indflydelse på den mikrobielle proteinproduktion er imidlertid vanskelig at vurdere, da de på den ene side opbygger protein ud fra foderprotein ved processer, der formentlig er mindre energikrævende end den bakteri-

elle proteinsyntese, men på den anden side også forbruger bakterielt protein. Således vil en del af det mikrobielle kvælstof, der forlader vommen, have deltaget i to eller flere energikrævende proteinsynteser, hvilket vil nedsætte effektiviteten af den mikrobielle proteinproduktion.

En anden faktor, der påvirker den mikrobielle proteinsyntese, er kulhydratkilden, idet træstofkulhydraterne (cellulose og hemicellulose) giver en dårligere udnyttelse end stivelse og rørsukker. Årsagen hertil er primært en forskel i den måde de forskellige kulhydrater udnyttes på. Stivelsen og rørsukkeret er således fordelt i vomvæsken og udnyttes let af bakterierne heri, medens en udnyttelse af træstofkulhydraterne i halmen kræver, at de cellulose- og hemicellulosespaltende bakterier sætter sig fast på halmen og ved hjælp af deres fordøjelsesenzymer efterhånden arbejder sig ind i cellevæggene (Akin & Barton, 1983). Da denne proces tager tid, og halmen derfor må opholde sig forholdsvis lang tid i vommen, vil disse bakterier have et forholdsvis stort energiforbrug sammenlignet med de stivelsesspaltende bakterier.

Endelig spiller væskens passagehastighed gennem vommen en betydelig rolle, idet et langsomt gennemløb medfører en u hensigtsmæssig lang opholdstid for mikroorganismerne. Møller & Hvelplund (1982) fandt således, at NaOH-behandlet halm sammenlignet med NH_3 -behandlet halm øgede passagehastigheden med ca 25%, hvilket blev anset som forklaring på en øget effektivitet i den mikrobielle proteinsyntese. Et for hurtigt gennemløb kan på den anden side forårsage en kraftig fortynding af mikroorganismerne, hvorved omsætningskapaciteten i vommen nedsættes.

På grund af den meget heterogent sammensatte population af mikroorganismer i vommen er det dog meget svært at opstille nøjagtige retningslinier for optimale betingelser i vommen, dels er de meget forskellige for de forskellige mikroorganismer, dels kan populationens sammensætning variere fra dyr til dyr, selv ved ensartede fodringsbetingelser.

For at vurdere et fodermiddels indflydelse på den mikrobielle omsætning i vommen bestemmer man ofte udbyttet af mikrobielt-N i forhold til tilsyneladende fordøjet organisk stof. Da det mikrobielle protein-N udgør ca 79% af mikroorganismernes total-N, vil det maksimale udbytte af mikrobielt-N på grundlag af ovenstående

betragtninger, næppe kunne tænkes at overstige de ca 43 g N pr kg fordøjet organisk stof, som blev beregnet først i dette afsnit.

På grundlag af empiriske målinger på køer (Madsen, 1983) er der fundet følgende sammenhæng mellem mikrobielt indbygget kvælstof og tilsyneladende fordøjede kulhydrater:

$$g \text{ mikrobielt-N} = 0,039 \times g \text{ ford. NFE} + 0,014 \times g \text{ ford. CF},$$

hvor fordøjet NFE svarer nogenlunde til fordøjet rørsukker og stivelse, medens fordøjet CF svarer nogenlunde til den fordøjede del af foderets cellulose og hemicellulose. Da regressionsligningen refererer til forsøg med køer, kan den muligvis ikke anvendes direkte til får, men er medtaget her til sammenligning. Det bemærkes, at hvis rationen udelukkende bestod af NFE, ville udbyttet være i god overensstemmelse med resultatet af de teoretiske beregninger.

Bestemmelse af den aktuelle mikrobielle proteinproduktion i vommen, såvel direkte som indirekte, kræver indoperering af en fistel lige efter pylorus. Den direkte bestemmelse kræver desuden en adskillelse af bakterier fra foderrester og endogent protein. Denne kan foretages ved en differential centrifugering med påfølgende analyse af den isolerede bakteriemasse. Metoden er dog både besværlig og ikke særlig nøjagtig, da den isolerede bakteriemasse, der stammer fra vomvæsken, aldrig vil kunne være repræsentativ for vommens population af mikroorganismer. Disse varierer dels meget i størrelsen, dels kan de findes fast forankret til store foderpartikler eller til vomvæggen. Det mikrobielle protein i duodenalindholdet bestemmes derfor oftest ved indirekte metoder.

De indirekte metoder bygger på beregninger på grundlag af enten DAPA, der kun findes i bakterier, eller RNA eller ATP, der i overvejende grad stammer fra mikroorganismene. Specifik mærkning med ^{35}S , ^{32}P eller ^{15}N har også været anvendt. Bestemmelse ved hjælp af aminosyreprofilen, der har vist sig at være meget konstant i vommens mikroorganismer og som regel karakteristisk forskellig fra foderets aminosyreprofil, har ligeledes været forsøgt (Siddons et al., 1982; Ørskov, 1982).

Endelig kan den mikrobielle proteinsyntese beregnes på grundlag af allantoin i urinen (Sibanda & Topps, 1982). Den store fordel ved sidstnævnte metode er, at den ikke kræver nogen indoperering af fi-

stel. Samtlige metoder har dog deres svagheder og vil kun kunne give en tilnærmet bestemmelse af proteinproduktionen i vommen.

I det nærværende arbejde er bestemmelser af den mikrobielle proteinsyntese ved hjælp af DAPA-målinger i duodenalindholdet sammenlignet med bestemmelser ved hjælp af allantoin-indholdet i urinen.

DAPA (diaminopimelinsyre) er en speciel aminosyre, der kun forekommer i bakteriecellevægge. DAPA-mængden i duodenalindholdet er derfor relateret til bakteriemængden og dermed til den bakterielle proteinsyntese. Problemet ved denne metode er imidlertid, at DAPA-mængden i de forskellige bakterietyper varierer stærkt og slet ikke findes i mange gram-negative bakterier med tynd cellevæg eller i protozoer. Da sammensætningen af vommens population af mikroorganismer er stærkt afhængig af foderrationen (vommiljøet), vil DAPA-mængden i forhold til mikrobielt protein også kunne variere stærkt. I dette arbejde er anvendt en gennemsnitsværdi for 42 uafhængige bestemmelser, samlet af Storm (Ørskov, 1982).

Allantoin er et nedbrydningsprodukt fra nukleinsyrernes puriner. Da der er en sammenhæng mellem den mængde allantoin, der findes i urinen, og den mængde nukleinsyre, der forekommer i tyndtarmen, og da næsten hele den mængde nukleinsyre, der når ned i tyndtarmen, stammer fra vommens mikroorganismer, skulle det være muligt at bestemme produktionen af mikrobielt-N i vommen på grundlag af allantoin i urinen, som påvist af Sibanda & Topps (1982). Det er dog en forudsætning, at den endogene udskillelse af allantoin i urinen er nogenlunde konstant, men denne afhænger både af protein- og energioptagelsen og af dyreart. Hos får, fodret på 1,25 x vedligehold, var udskillelsen af det endogene allantoin på ca 9 mg/kg^{0,75} (metabolisk legemsvægt) pr dag. Der blev fundet følgende sammenhæng mellem allantoin-N i urinen (ANU) og nukleinsyre-N (NAN) ved pylorus:

$$\text{ANU (mg/kg}^{0,75} \text{ pr dag)} = 0,009 \text{ NAN mg/dag} + 9,38$$

4.1.5 Protein nedbrydningen og aminosyreabsorptionen i tyndtarmen

Den enzymatiske nedbrydning af næringsstoffer i tyndtarmen hos drøvtyggere og enmavede dyr minder meget om hinanden (Sissons, 1981). Hos drøvtyggerne er der dog sket en tilpasning til den mi-

krobielle omsætning i vommen. Således har de en særlig høj aktivitet af nukleaser til nedbrydning af den forholdsvis store mængde nukleinsyre fra vombakterierne, der udgør en betydelig del af drøvtyggernes næringsstofforsyning i tyndtarmen.

Nedbrydningen af det protein, der forlader vommen, er allerede startet i løben, hvor der udskilles pepsin og saltsyre. Det sure miljø i løben bevirker, at de allerfleste bakterier dræbes. Passagen gennem løben gør næringsstofferne betydeligt lettere tilgængelig for en effektiv nedbrydning i tyndtarmen. Det gælder såvel for det foderprotein, der ikke blev nedbrudt i vommen, som for det mikrobielle protein. Proteinet inde i bakteriecellerne er gennemgående let nedbrydeligt, medens det protein, der indgår i cellevæggenes opbygning (mucopeptider) er meget sværere tilgængeligt, og betydelige mængder af bakteriecellevægsrester passerer ufordøjet gennem tyndtarmen. Desuden kan den specielle bakterieaminosyre DAPA muligvis ikke absorberes i tyndtarmen (Mason & Milne, 1971). Den del af bakterieproteinet, der er fordøjeligt i tyndtarmen, anses for at være temmelig konstant på ca 85% (Ørskov, 1982; Hvelplund, 1983). Imidlertid har Wallace (1983) vist, at fordøjeligheden af mikrobielt protein vil afhænge stærkt af bakteriesammensætningen, idet gram-negative bakterier har en fordøjelighed på ca 92%, medens gram-positive bakterier, der normalt udgør den mindste del, kun har en fordøjelighed på ca 39%. Også fordøjeligheden af restfoderproteinet kan variere betydeligt (Hvelplund, 1983; Hvelplund & Madsen, 1983).

Tyndtarmen tilføres endvidere betydelige mængder endogent protein med sekreter fra bugspytkirtlen, leveren (galden) og tyndtarmens kirtler, samt fra afstødte epitelceller fra fordøjelseskanalen. En stor del af dette når dog at blive nedbrudt og reabsorberet i tyndtarmen.

Absorptionen af aminosyrer kan kun foregå i tyndtarmen. En del absorberes som di- og tripeptider, der transporteres ind i epitelcellerne under samtidig spaltning til frie aminosyrer. Absorptionsmekanismene for de enkelte aminosyrer er ikke fuldt opklarede, men der synes at være forskellige specifikke absorptionsmekanismer for de forskellige grupper af aminosyrer, således at der kan blive tale om en vis konkurrence om absorptionen mellem f.eks. basiske aminosyrer (lysin og arginin) eller forgrenede aminosyrer (valin, leu-

cin, isoleucin). Da de alle er essentielle aminosyrer, kan et stort overskud af en af dem derfor have en negativ indflydelse på proteinet's biologiske værdi. Hos drøvtyggere, hvor en skæv aminosyresammensætning i foderet i betydelig grad vil blive justeret i vommen under den mikrobielle omsætning, vil disse forhold dog normalt næppe have nogen større betydning.

4.1.6 Aminosyrernes omsætning uden for fordøjelseskanalen

Den vigtigste funktion af de aminosyrer, der absorberes i tyndtarmen, er deres indbygning i proteiner i de forskellige væv. En del anvendes dog også til energiproduktion i forbindelse med nedbrydning eller til syntese af kulhydrater, nukleinsyrer, lipider m.m.

En betydelig del af de aminosyrer, der absorberes, bliver anvendt til tyndtarmepitelets energiforsyning. Således fandt Tagari & Bergman (1978), at 52-71% af de aminosyrer, der tilsyneladende blev absorberet hos får, som blev fodret på vedligehold, ikke kunne genfindes i portåreblodet. Det er især de ikke-essentielle aminosyrer, asparaginsyre og glutaminsyre, der anvendes til epitelvævet's forsyning (Bondi, 1981), hvilket fremgår af, at de praktisk taget ikke findes i portåreblodet, selv om de normalt udgør ca 1/3 af samtlige absorberede aminosyrer.

I leveren foregår der også en betydelig omsætning af aminosyrer (Bergman & Heitmann, 1978); af de essentielle aminosyrer nedbrydes dog kun dem, der eventuelt er i overskud i forhold til organismens behov. Endvidere nedbrydes en del ikke-essentielle aminosyrer (alanin, asparaginsyre og glutaminsyre) i betydelig grad i musklerne (Lindsay, 1982).

4.1.7 Aminosyrebehov

Aminosyrebehovet til opbygning af proteiner til forskellige formål afhænger af dyrets fysiologiske status. Unge dyr i vækst har et særligt behov til opbygning af muskler og organer, drægtige dyr har et særligt behov til fosterets udvikling, og diegivende (lakteren-

de) dyr har et særligt behov til mælkeproduktionen. Udvoksede dyr, der hverken er drægtige eller lakterende, har dog fortsat et behov, nemlig til den almindelige stofomsætning, hvorunder der til stadighed sker en opbygning og nedbrydning af proteiner. Selv om især de essentielle aminosyrer i vid udstrækning kan genanvendes, vil der hele tiden være et vist tab forbundet hermed. Der vil også være et forbrug til syntese af såvel fordøjelsesenzymer som af proteiner i de epitelceller, der skal erstatte de afstødte celler i fordøjelseskanalen, men da disse proteiner i betydeligt omfang nedbrydes til aminosyrer, der reabsorberes i tyndtarmen, bliver det egentlige forbrug af aminosyrer hertil væsentligt nedsat.

Endelig vil der være et konstant forbrug af aminosyrer til genopbygning af afstødte hudceller og til hårvækst. Det sidste spiller en særlig stor rolle hos får, hvor den daglige uldproduktion hos udvoksede dyr (på 50-60 kg) andrager ca 10 g. Da ulden har et meget stort indhold af den svovlholdige aminosyre, cystein, vil dyrene have et særligt stort behov for tilførsel af denne aminosyre. Da cystein, som tidligere nævnt, kan dannes ud fra methionin, vil det afgørende for en tilstrækkelig tilførsel af cystein derfor være den samlede tilførsel af de to svovlholdige aminosyrer. Uldproduktionen er formentlig ofte begrænset af mangel på cystein. Således fandt Reis (1967), at infusion af såvel cystein som methionin gav en væsentlig forøgelse af uldproduktionen.

Hos lakterende køer antages det almindeligvis, at methionin er den begrænsende aminosyre for syntesen af mælkeprotein (Tamminga, 1980). Dette synes dog ikke at være endeligt bevist, og den betydelige nedbrydning af ikke-essentielle aminosyrer i tarmepitelet og leveren kan måske medføre, at der også kan være mangel på de ikke-essentielle aminosyrer. Dette underbygges af, at der i mælkekirtlerne tilsyneladende kan ske en syntese af ikke-essentielle aminosyrer, idet aminogruppen hentes fra essentielle aminosyrer, der således forbruges.

Forholdene omkring aminosyreforsyningen og aminosyrebehovet til drøvtyggere er således endnu ikke fuldt belyst.

Tabel 4.1 Kvælstofindhold og fordeling i foderkomponenterne. Essentielle og ikke-essentielle aminosyrer i procent af samtlige aminosyrer og aminosyre-N i procent af total-N

Table 4.1 Nitrogen content and distribution in feed components. Essential and non-essential amino acids in per cent of total amino acids and amino acid-N in per cent of total N

	Ubehandlet halm (Untreated straw)	Ludet halm (Lyed straw)	Fiskemel (Fish meal)	Byg (Barley)
Kvælstof, g/kg ts. (Nitrogen, g per kg DM)	7.4	8.6	141.7	21.6
Essentielle aminosyrer, % (Essential amino acids, %)	46.3	47.8	53.9	41.9
Ikke-essentielle aminosyrer, % (Non-essential amino acids, %)	53.7	52.3	46.0	58.2
Aminosyre-N, % af total-N (Amino acid-N, % of total-N)	33.5 36.8 ¹⁾	49.5 54.4 ¹⁾	83.3 91.0 ¹⁾	73.0 85.9 ¹⁾

¹⁾ Korrigeret for amid-N; se teksten (Corrected for amide-N; see text)

4.2 Resultater og diskussion

4.2.1 Foderets kvælstofkilder

Foderkomponenternes kvælstof- og aminosyreindhold er angivet i tabellerne 4.1 og 4.2. Det fremgår heraf, at fiskemel har et forholdsvis højt indhold af essentielle aminosyrer, hvilket hovedsageligt skyldes et højt indhold af lysin. Byg har derimod et forholdsvis højt indhold af ikke-essentielle aminosyrer, hvilket især skyldes et højt indhold af glutaminsyre og prolin.

Der var en overraskende stor forskel på behandlet og ubehandlet halm med hensyn til såvel kvælstofindholdet som den procentiske andel af aminosyre-N i forhold til total-N. Forskellen i kvælstofindholdet må henføres til en forskel i jordbundsforholdene (gødskningen), hvorfra de to halmpartier er hentet, hvilket underbygges af

Tabel 4.2 Aminosyresammensætning i foderkomponenter (pct. af samtlige aminosyrer)

Table 4.2 Amino acid composition in feed components (pct. of total amino acids)

Aminosyre (Amino acid)	Ubehandlet halm (Untreated straw)	Ludet halm (Lyed straw)	Fiskemel (Fish meal)	Byg (Barley)
<u>Essentielle</u>				
Fenylalanin	5.8	6.4	4.4	5.4
Histidin	1.7	1.5	2.2	2.1
Isoleucin	4.6	4.7	5.3	3.9
Leucin	8.0	8.2	8.4	7.2
Lysin	5.1	4.5	9.0	3.3
Methionin	2.0	2.2	3.4	1.6
Treonin	6.0	5.6	4.7	3.5
Valin	6.1	6.4	6.1	5.3
Arginin	2.9	3.6	5.7	4.3
Cystein	2.0	1.7	1.1	2.1
Tyrosin	2.1	3.0	3.6	3.2
<u>Ikke-essentielle</u>				
Alanin	7.6	7.3	3.6	4.1
Asparaginsyre ¹⁾	10.9	10.9	10.5	5.8
Glutaminsyre ¹⁾	15.3	15.3	14.7	27.7
Glycin	6.3	6.5	5.5	4.0
Prolin	7.3	6.7	4.4	12.0
Serin	6.3	5.8	4.5	4.6

1) Inklusiv amid

en tilsvarende høj koncentration af kalium i det ubehandlede halm. Det er ikke klarlagt om forskellen i aminosyreindholdet hænger sammen med forskellen i kvælstofindholdet eller delvis er en følge af ludbehandlingen.

De meget lave tal for aminosyre-N andelen af total-N i halmprøverne kan formentlig delvis forklares ved, at en betydelig del af aminosyrerne er ligninbundne, og disse kan tænkes at være mere tilgængelige i det ludbehandlede halm, såvel ved den kemiske hydrolyse i laboratoriet, som ved fordøjelsen i mave-tarmkanalen. Aminosyre-N i procent af total-N er angivet såvel ukorrigeret som korrigeret

under forudsætning af, at glutaminsyre og asparaginsyre er amideret 50% i halm og fiskemel og 70% i byg (se det teoretiske afsnit). Ved korrektion fås værdier for aminosyre-N, der ligger 9-18% højere end de ukorrigerede.

Foderblandingerne sammensætning er beskrevet detaljeret i kapitel 2. For at sikre en rigelig forsyning af N til vommen især hos de dyr, der fik ration C og D, blev der til alle rationer dagligt tilsat 12 g urea, svarende til 5,6 g N. Herved blev rationernes indhold af N på henholdsvis 3,2%, 2,7%, 2,6% og 2,3% af tørstoffet.

4.2.2 Aminosyreomsætningen

Indholdet af aminosyrer i henholdsvis foder, duodenalpassage og gødning ved de 4 undersøgte rationer fremgår af tabellerne 4.3-4.6. Desuden viser tabel 4.7 ændringen (nettotab eller nettosyntese) i vommen samt absorptionen i tyndtarmen - begge værdier som procent af aminosyreindholdet i det optagne foder.

På ration A, hvor halmen var ubehandlet og proteinkilden fortrinsvis var fiskemel, var der et tab i vommen af de fleste aminosyrer. Dog var der en nettosyntese af cystein, tyrosin og treonin. Dannelsen af cystein er sket på bekostning af methionin. NaOH-behandlingen af halmen (eller foderets overskud af base) havde en tydelig positiv effekt på aminosyresyntesen, idet der for de fleste aminosyrers vedkommende var tale om en nettosyntese på ration B, hvor halmen var ludet. Den eneste undtagelse blandt de essentielle aminosyrer var methionin, hvilket også her kan forklares ved - og delvis kompenseres af - en nettosyntese af cystein.

På ration C og D, hvor en del af kulhydraterne i det ludedede halm og en del af proteinet i fiskemelet var erstattet af valset byg, var der en noget ændret aminosyresammensætning i det optagne foder. Dette skyldes især kornets høje indhold af de ikke-essentielle aminosyrer, glutamin og prolin, og det lave indhold af de essentielle aminosyrer, lysin og isoleucin, samt den ikke-essentielle aminosyre asparagin (tabel 4.2). Det fremgår også af tabel 4.7, at den mikrobielle omsætning i vommen har en betydelig modererende effekt på bygproteinets "skæve" aminosyresammensætning, hvilket må formodes at give en væsentlig forbedring af kvaliteten af det protein, der

Tabel 4.3 Aminosyreomsætningen ved fodring med ubehandlet halm (ration A)

Table 4.3 Amino acid metabolism from feeding untreated straw (ration A)

Aminosyre (Amino acid)	Foder (Feed)		Duodenal passage (Duodenal flow)		Gødning (Faeces)	
	g/d	SD	g/d	SD	g/d	SD
<u>Essentielle</u>						
Fenylalanin	3.41	0.03	3.31	0.09	0.79	0.07
Histidin	1.60	0.01	1.53	0.05	0.28	0.02
Isoleucin	3.86	0.03	3.86	0.13	0.79	0.07
Leucin	6.15	0.05	5.75	0.20	1.14	0.10
Lysin	6.26	0.03	5.49	0.18	0.96	0.08
Methionin	2.37	0.01	1.60	0.05	0.37	0.03
Treonin	3.61	0.04	3.92	0.13	0.94	0.08
Valin	4.53	0.04	4.60	0.14	0.95	0.08
Arginin	3.91	0.02	3.66	0.15	0.58	0.05
Cystein	0.87	0.01	1.20	0.03	0.38	0.03
Tyrosin	2.55	0.01	2.93	0.11	0.61	0.03
<u>Ikke-essentielle</u>						
Alanin	4.85	0.04	4.68	0.12	1.07	0.09
Asparaginsyre ¹⁾	7.82	0.06	7.68	0.27	1.68	0.13
Glutaminsyre ¹⁾	10.94	0.09	9.16	0.32	1.86	0.16
Glycin	4.14	0.04	3.71	0.11	0.91	0.08
Prolin	3.56	0.04	2.84	0.09	0.78	0.06
Serin	3.50	0.04	3.60	0.12	0.81	0.07
Essentielle	39.12		37.85		7.79	
Ikke-essentielle	34.81		31.67		7.11	
Alle aminosyrer	73.93		69.52		14.90	

1) Inklusiv amid

Tabel 4.4 Aminosyreomsætningen ved fodring med lufbehandlet halm (ration B)

Table 4.4 Amino acid metabolism from feeding lyed straw (ration B)

Aminosyre (Amino acid)	Foder (Feed)		Duodenal passage (Duodenal flow)		Gødning (Faeces)	
	g/d	SD	g/d	SD	g/d	SD
<u>Essentielle</u>						
Fenylalanin	4.31	0.03	4.43	0.26	1.03	0.03
Histidin	1.78	0.01	1.97	0.10	0.35	0.01
Isoleucin	4.48	0.02	5.06	0.24	1.07	0.04
Leucin	7.24	0.03	7.34	0.35	1.52	0.05
Lysin	6.75	0.02	7.04	0.34	1.28	0.04
Methionin	2.66	0.01	2.21	0.11	0.50	0.01
Treonin	4.29	0.02	4.91	0.22	1.17	0.04
Valin	5.40	0.03	5.88	0.31	1.26	0.04
Arginin	4.44	0.01	4.63	0.22	0.72	0.03
Cystein	1.06	0.01	1.38	0.07	0.45	0.01
Tyrosin	3.01	0.01	3.88	0.19	0.84	0.03
<u>Ikke-essentielle</u>						
Alanin	5.76	0.03	6.03	0.29	1.46	0.05
Asparaginsyre ¹⁾	9.25	0.04	10.10	0.48	2.28	0.07
Glutaminsyre ¹⁾	12.90	0.06	12.24	0.65	2.62	0.06
Glycin	5.02	0.03	4.83	0.23	1.28	0.03
Prolin	4.37	0.03	3.64	0.18	0.97	0.05
Serin	4.21	0.02	4.48	0.19	1.05	0.03
Essentielle	45.46		48.73		10.19	
Ikke-essentielle	41.51		41.32		10.19	
Alle aminosyrer	86.97		90.05		19.86	

1) Inklusiv amid

Tabel 4.5 Aminosyreomsætningen ved fodring med ludbehandlet halm og byg (ration C)

Table 4.5 Amino acid metabolism from feeding lyed straw and barley (ration C)

Aminosyre (Amino acid)	Foder (Feed)		Duodenal passage (Duodenal flow)		Gødning (Faeces)	
	g/d	SD	g/d	SD	g/d	SD
<u>Essentielle</u>						
Fenylalanin	4.32	0.03	4.19	0.12	0.93	0.03
Histidin	1.69	0.01	1.67	0.06	0.33	0.01
Isoleucin	3.64	0.03	4.73	0.14	0.98	0.02
Leucin	6.31	0.05	6.68	0.18	1.35	0.03
Lysin	4.32	0.03	6.71	0.19	1.19	0.03
Methionin	1.85	0.01	1.75	0.05	0.44	0.02
Treonin	3.44	0.03	4.81	0.14	1.13	0.03
Valin	4.69	0.04	5.51	0.16	1.12	0.03
Arginin	3.78	0.03	4.35	0.16	0.70	0.01
Cystein	1.39	0.01	1.41	0.04	0.41	0.02
Tyrosin	2.68	0.02	4.17	0.12	0.80	0.03
<u>Ikke-essentielle</u>						
Alanin	4.33	0.03	5.77	0.19	1.46	0.05
Asparaginsyre ¹⁾	6.58	0.05	9.66	0.25	2.12	0.07
Glutaminsyre ¹⁾	17.77	0.14	12.69	0.48	2.64	0.09
Glycin	4.00	0.03	4.60	0.14	1.11	0.03
Prolin	7.21	0.06	3.76	0.09	0.86	0.02
Serin	3.90	0.03	4.44	0.12	1.02	0.01
Essentielle	38.11		45.98		9.38	
Ikke-essentielle	43.79		40.92		9.21	
Alle aminosyrer	81.90		86.90		18.59	

1) Inklusiv amid

Tabel 4.6 Aminosyreomsætningen ved fodring med ludbehandlet halmog byg (ration D)

Table 4.6 Amino acid metabolism from feeding lyed straw and barley (ration D)

Aminosyre (Amino acid)	Foder (Feed)		Duodenal passage (Duodenal flow)		Gødning (Faeces)	
	g/d	SD	g/d	SD	g/d	SD
<u>Essentielle</u>						
Fenylalanin	5.09	0.33	4.92	0.25	1.14	0.04
Histidin	1.98	0.14	2.02	0.14	0.40	0.01
Isoleucin	4.28	0.29	5.63	0.28	1.23	0.05
Leucin	7.42	0.50	8.04	0.45	1.69	0.06
Lysin	5.05	0.36	7.99	0.42	1.64	0.05
Methionin	2.17	0.15	2.14	0.11	0.56	0.02
Treonin	4.05	0.26	5.84	0.31	1.40	0.06
Valin	5.51	0.36	6.59	0.36	1.42	0.06
Arginin	4.42	0.31	5.11	0.36	0.84	0.03
Cystein	1.63	0.11	1.70	0.10	0.50	0.02
Tyrosin	3.14	0.22	4.68	0.21	0.99	0.05
<u>Ikke-essentielle</u>						
Alanin	5.11	0.33	6.96	0.34	1.76	0.07
Asparaginsyre ¹⁾	7.75	0.55	11.66	0.58	2.61	0.10
Glutaminsyre ¹⁾	20.82	1.43	15.04	0.87	3.17	0.17
Glycin	4.71	0.30	5.50	0.24	1.42	0.06
Prolin	8.45	0.57	4.48	0.29	1.07	0.04
Serin	4.59	0.30	5.40	0.26	1.22	0.05
Essentielle	44.74		54.66		11.81	
Ikke-essentielle	51.43		49.04		11.25	
Alle aminosyrer	96.17		103.70		23.06	

¹⁾ Inklusiv amid

Tabel 4.7 Aminosyreomsætning. Nettosyntese før pylorus og tilsyneladende absorption efter pylorus i pct. af optagne aminosyrer

Table 4.7 Amino acid metabolism. Net synthesis before pylorus and apparent absorption after pylorus in pct. of intake

	Nettosyntese før pylorus, % (Net synthesis before pylorus, %)				Absorption efter pylorus, % (Absorption after pylorus, %)			
	Ration				Ration			
	A	B	C	D	A	B	C	D
<u>Essentielle</u>								
Fenylalanin	-2.8	2.6	-2.9	-2.9	74.3	78.7	75.5	74.8
Histidin	-4.2	10.5	-1.4	3.1	78.6	91.0	79.0	82.3
Isoleucin	0.0	12.9	29.9	33.0	80.0	89.1	103.0	103.8
Leucin	-0.4	1.4	5.7	9.3	75.1	80.4	84.3	86.2
Lysin	-12.2	3.6	55.5	60.3	72.5	84.8	128.0	127.1
Methionin	-32.4	-16.9	-5.6	-0.2	51.9	64.3	70.7	74.0
Treonin	8.8	14.5	39.9	45.6	82.9	87.3	106.9	110.7
Valin	1.6	9.0	17.5	20.8	80.7	85.6	93.7	94.8
Arginin	-6.5	4.4	15.2	16.6	78.7	88.2	96.7	97.2
Cystein	37.9	30.0	1.2	5.0	95.0	87.8	71.8	74.3
Tyrosin	15.3	28.8	55.8	51.0	91.4	100.8	126.0	119.3
<u>Ikke-essentielle</u>								
Alanin	-3.3	4.6	33.3	37.6	74.6	79.3	99.6	102.8
Asparaginsyre ¹⁾	-1.6	9.3	46.8	50.5	76.9	84.6	114.6	117.8
Glutaminsyre ¹⁾	-16.2	-5.1	-28.6	-27.1	66.8	74.6	56.5	57.6
Glycin	-10.3	-3.9	15.1	18.1	67.9	70.3	87.2	87.7
Prolin	-20.0	-16.8	-47.8	-46.6	58.0	61.0	40.3	40.5
Serin	3.0	6.4	13.9	18.7	79.8	81.4	87.7	92.0
Essentielle	-3.2	7.2	20.7	22.2	76.8	84.8	96.0	95.8
Ikke-essentielle	-9.0	-0.4	-6.6	-4.6	70.6	76.2	72.4	73.5
Alle aminosyrer	-6.0	3.5	6.1	7.8	73.9	80.7	83.4	83.9

¹⁾ Inklusiv amid

Tabel 4.8 Mikrobielt-N i duodenal passage (MND) beregnet på grundlag af

1. Kvalstoffrie ekstraktstoffer (NFE) og træstof fordøjet før pylorus
2. Diaminopimelinsyre (DAPA) i duodenal passage
3. Allantoin-N i urin (ANU); alle værdier i g/dag

Table 4.8 Microbial-N in duodenal flow (MND) calculated from

1. NFE and crude fibre digested before pylorus
2. Diaminopimelic acid (DAPA) in duodenal flow
3. Allantoin-N in urine (ANU); all values in g per day

	Ration			
	A	B	C	D
<u>1</u>				
Fordøjet NFE (Digested NFE)	67	142	285	312
Fordøjet træstof (Digested crude fibre)	144	209	118	130
MND (1)	2.6	8.5	12.8	14.0
<u>2</u>				
DAPA	0.17	0.21	0.47	0.51
MND (2)	5.1	6.4	14.2	15.3
<u>3</u>				
ANU	0.226	0.427	0.493	0.727
MND (3)	0.73	7.4	9.6	17.4

når ned til tyndtarmen, sammenlignet med det protein, der var i foderet.

Det afgørende er imidlertid sammensætningen af de aminosyrer, der absorberes i tyndtarmen, og det fremgår af tabel 4.7, at i forhold til indholdet i foderet, var der en betydelig variation på mellem 40% og 128% i den mængde, der blev optaget i tyndtarmen. Det var dog kun i ration C og D, at den omsættelige energi var tilstrækkelig stor til, at den procentiske absorption af visse aminosyrer oversteg 100. Det var således tilfældet med de essentielle aminosyrer isoleucin, lysin, treonin og tyrosin, samt den ikke-essentielle aminosyre asparagin. Aminosyrefordøjelsen gennemgås mere detaljeret i afsnit 4.2.4.

Tabel 4.9 Organisk stof tilsyneladende forgæret (OMF) før pylorus og forholdet mellem mikrobielt-N i duodenal passage (MND) og OMF

Table 4.9 Organic matter apparently fermented (OMF) before pylorus and the proportion between microbial-N in duodenal flow (MND) and OMF

	Ration			
	A	B	C	D
OMF (kg/d)	0.221	0.352	0.392	0.429
MND (1) ¹ /OMF (g/kg)	11.9	24.1	32.6	32.6
MND (2) ¹ /OMF (g/kg)	23.1	18.2	36.2	35.7
MND (3) ¹ /OMF (g/kg)	3.3	21.0	24.5	40.5

¹) Se tabel 4.8 (See Table 4.8)

4.2.3 Mikrobiel proteinsyntese i vommen

Som angivet i 4.1.4 kan den mikrobielle proteinsyntese i vommen bl.a. beregnes på grundlag af tilsyneladende fordøjede kulhydrater i vommen, eller på grundlag af koncentrationen af DAPA i duodenalindholdet eller af allantoin i urinen. Resultaterne heraf fremgår af tabel 4.8.

Det ses, at overensstemmelsen mellem metoderne er meget dårlig på ration A, men rimelig god på ration B, og for de to første metoder vedkommende også god på ration C og D. Allantoin-metoden synes at være den mest unøjagtige, hvilket formentlig hænger sammen med en stor variation i udskillelsen af endogent allantoin. Denne er holdt konstant i beregningerne (se 4.1.4), men er formentlig - i følge resultaterne - overvurderet på ration A og undervurderet på ration D. Antoniewicz et al. (1980) angiver, at over 60% af den mængde purin, der absorberes, kan indgå i andre metaboliske processer end de, der ender med dannelse af allantoin, hvilket viser, at allantoinindannelsen kan være stærkt afhængig af dyrets ernæringsmæssige og fysiologiske status. Allantoinmetoden synes derfor ikke umiddelbart anvendelig. De forholdsvis høje værdier på ration A med DAPA-metoden kan måske hænge sammen med, at denne ration favoriserer

Tabel 4.10 Organisk stof tilsyneladende forgæret (OMF) før pylorus, mikrobielt organisk stof (MOM) i duodenal passage og sandt fordøjet organisk stof (OMTF) før pylorus; alle værdier i g/dag

Table 4.10 Organic matter apparently fermented (OMF) before pylorus, microbial organic matter (MOM) in duodenal flow and truly fermented organic matter (OMTF) before pylorus; all values in g per day

	Ration			
	A	B	C	D
OMF før pylorus (OMF before pylorus)	221	352	392	429
MOM i duodenal passage (MOM in duodenal flow)	54	68	150	162
OMTF før pylorus (OMTF before pylorus)	275	420	542	591
OMTF/OMF × 100	124	119	138	138

rer de gram-positive bakterier med forholdsvis højt DAPA-indhold, som omtalt under det teoretiske afsnit.

Indbygning af mikrobielt N i forhold til tilsyneladende fordøjet organisk stof ved alle tre beregningsmåder fremgår af tabel 4.9.

Den lave værdi på ration B med DAPA-metoden kan muligvis forklares med det høje vom-pH, der vil opstå som følge af NaOH i foderet. Et øget vom-pH vil bevirke, at ligevægten



forskydes mod højre, og da NH_3 hurtigt diffunderer over i blodet, vil udnyttelsen af NH_3 i vommens således nedsættes. Selv om urease aktiviteten øges, når NH_3 -koncentrationen falder, således at tilførsel af urea fra blodet øges, vil den aktuelle ligevægt altid være dirigeret af pH.

På grund af den relativt store usikkerhed også ved DAPA-metoden, er det dog vanskeligt at drage nogen sikre konklusioner vedrørende effektiviteten i indbygningen af mikrobielt-N. Det synes dog sikkert, at ration C og D giver højere værdier end ration A og B, hvilket var at forvente, eftersom forgæringen af cellulose er langsommere end af stivelse. Størrelsesordenen er i god overensstemmel-

Tabel 4.11 Den tilsyneladende fordøjelighed af aminosyrer i tyndtarmen i pct. af duodenal passage

Table 4.11 Apparent digestibility of amino acids in the small intestine in pct. duodenal flow

Aminosyre (Amino acids)	Ration			
	A	B	C	D
<u>Essentielle</u>				
Fenylalanin	76.1	76.7	77.8	76.8
Histidin	81.7	82.2	80.2	80.2
Isoleucin	79.5	78.9	79.3	78.2
Leucin	80.2	79.3	79.8	79.0
Lysin	82.5	81.8	82.3	79.5
Methionin	77.0	77.4	74.9	73.8
Treonin	76.0	76.2	76.5	76.0
Valin	79.3	78.6	79.9	78.5
Arginin	84.2	84.5	83.9	83.6
Cystein	68.3	67.4	71.4	70.6
Tyrosin	79.2	78.4	80.8	78.8
<u>Ikke-essentielle</u>				
Alanin	77.1	75.8	74.7	74.7
Asparaginsyre ¹	78.1	77.5	78.1	77.6
Glutaminsyre ¹	79.7	78.6	79.2	78.9
Glycin	75.5	73.2	75.9	74.2
Prolin	72.5	73.4	77.1	76.1
Serin	77.5	76.6	77.0	77.6

1) Inklusiv amid

se med de fleste publicerede resultater, der dels er baseret på forskellige rationer, dels bestemt med forskellige metoder (Ørskov, 1982)

I følge det teoretiske afsnit er værdier på over 35-40 ikke muligt, når det mikrobielt indbyggede N beregnes på grundlag af det sandt forgærede organiske stof. Et nogenlunde godt mål for det sandt forgærede stof fås ved at addere det mikrobielle organiske

Tabel 4.12 Tilsyneladende fordøjelse af essentielle aminosyrer i tyndtarmen og behovet til vedligehold + uldproduktion (g pr. dag)

Table 4.12 Apparent digestion of essential amino acids in the small intestine and the requirements for maintenance + wool production (g per day)

Aminosyre	Ration				Behov ¹⁾
(Amino acids)	A	B	C	D	(Requirement)
Fenylalanin	2.5	3.4	3.3	3.9	1.1
Histidin	1.3	1.6	1.3	1.6	0.2
Isoleucin	3.1	4.0	3.8	4.4	1.5
Leucin	4.6	5.8	5.3	6.4	1.8
Lysin	4.5	5.8	5.5	6.4	0.9
Methionin	1.2	1.7	1.3	1.6	0.4
Treonin	3.0	3.7	3.7	4.4	1.6
Valin	3.7	4.7	4.4	5.2	1.4
Arginin	3.1	3.9	3.7	4.3	-
Cystein	0.8	0.9	1.0	1.2	1.1
Tyrosin	2.3	3.0	3.4	4.3	1.6

¹⁾ Smith (1980)

stof i duodenalindholdet til det tilsyneladende forgærede organiske stof. Dette er gjort i tabel 4.10 på grundlag af DAPA-målingerne. Som det fremgår af tabellen, er den sande forgæring af organisk stof ca 20% højere på ration A og B, men ca 40% højere på ration C og D end den tilsyneladende forgæring på de respektive rationer, og værdierne i tabel 4.9 ville derfor have været tilsvarende lavere, hvis de var beregnet i forhold til den sande forgæring af organisk stof i vommen. I forsøgsdata, angivet af Hogan & Weston (1971), der ligeledes har undersøgt produktionen af mikrobielt N i vommen hos får, der blev fodret med NaOH-behandlet halm, fremgår det, at i relation til den tilsyneladende forgæring af organisk stof fås værdier på 26-43, men i relation til den beregnede sande forgæring af organisk stof fås værdier på 21-31.

Tabel 4.13 Aminosyresammensætningen i det optagne foder, duodenal passage og gødning (i pct. af samtlige aminosyrer)

Table 4.13 Amino acid composition of feed, duodenal passage and faeces in per cent of total amino acids

Aminosyre (Amino acids)	Foder (Feed)				Duodenal passage				Gødning (Faeces)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
<u>Essentielle</u>												
Fenylalanin	4.6	5.0	5.3	5.3	4.8	4.9	4.8	4.7	5.3	5.2	5.0	4.9
Histidin	2.2	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	1.9	1.9	1.9	1.8	2.3	1.7
Isoleucin	5.2	5.2	4.4	4.5	5.6	5.6	5.4	5.4	5.3	5.4	5.3	5.3
Leucin	8.3	8.3	7.7	7.7	8.3	8.2	7.7	7.8	7.7	7.7	7.2	7.3
Lysin	8.5	7.8	5.3	5.3	7.9	7.8	7.7	7.7	6.4	6.4	6.4	7.1
Methionin	3.2	3.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.0	2.1	2.5	2.5	2.4	2.4
Treonin	4.9	4.9	4.2	4.2	5.6	5.5	5.5	5.6	6.3	5.9	6.1	6.1
Valin	6.1	6.2	5.7	5.7	6.5	6.3	6.3	6.4	6.4	6.3	5.9	6.2
Arginin	5.3	5.1	4.6	4.6	5.3	5.1	5.0	4.9	3.9	3.6	3.8	3.6
Cystein	1.2	1.2	1.7	1.7	1.7	1.5	1.6	1.6	2.6	2.3	2.1	2.2
Tyrosin	3.4	3.5	3.3	3.3	4.2	4.3	4.8	4.5	4.1	4.2	4.3	4.3
<u>Ikke-essentielle</u>												
Alanin	6.6	6.6	5.3	5.3	6.7	6.7	6.6	6.7	7.2	7.4	7.8	7.6
Asparaginsyre	10.6	10.6	8.0	8.1	11.0	11.2	11.1	11.2	11.3	11.5	11.4	11.3
Glutaminsyre	14.8	14.8	21.7	21.6	13.2	13.6	14.6	14.5	12.5	13.2	14.1	13.7
Glycin	5.6	5.8	4.9	4.9	5.3	5.4	5.3	5.3	6.1	6.5	5.9	6.2
Prolin	4.8	5.0	8.8	8.8	4.1	4.0	4.3	4.3	5.2	4.9	4.6	4.6
Serin	4.7	4.8	4.8	4.8	5.2	5.0	5.1	5.2	5.4	5.3	5.5	5.3
Essentielle, i alt	52.9	52.4	46.5	46.5	54.5	54.1	53.0	52.8	52.3	51.2	50.7	51.3
Ikke-essentielle, i alt	47.1	47.6	53.5	53.5	45.5	45.9	47.0	47.2	47.7	48.8	49.3	48.7

Tabel 4.14 Aminosyresammensætningen i mikroorganismer isolerede fra vomindhold og gødning (i pct. af samtlige aminosyrer)

Table 4.14 Amino acid composition in micro-organisms isolated from rumen and faeces (in pct. of total amino acids)

Aminosyre (Amino acids)	Mikroorganismer fra (Micro-organisms from)	
	Vom (Rumen) ¹	Gødning (Faeces) ²
<u>Essentielle</u>		
Fenylalanin	5.3 ± 0.7	5.2 ± 0.3
Histidin	2.1 ± 0.5	2.0 ± 0.3
Isoleucin	5.8 ± 0.7	5.4 ± 0.1
Leucin	8.0 ± 0.8	7.6 ± 0.2
Lysin	9.2 ± 1.8	6.9 ± 0.4
Methionin	2.5 ± 0.6	2.4 ± 0.2
Treonin	5.7 ± 0.8	5.3 ± 0.2
Valin	5.8 ± 0.9	6.3 ± 0.4
Arginin	5.3 ± 1.0	4.1 ± 0.7
Cystein	1.4 ± 0.9	3.3 ± 0.4
Tyrosin	4.9 ± 0.6	5.1 ± 1.1
<u>Ikke-essentielle</u>		
Alanin	6.8 ± 1.6	7.4 ± 0.2
Asparaginsyre	11.9 ± 1.6	10,1 ± 0.3
Glutaminsyre	12.4 ± 2.3	12.9 ± 1.5
Glycin	5.4 ± 0.5	6.3 ± 1.3
Prolin	3.6 ± 1.1	4.2 ± 0.4
Serin	4.7 ± 0.6	4.5 ± 0.2

¹⁾ Ørskov (1982); ²⁾ Mason (1979)

4.2.4 Aminosyrefordøjelsen i tyndtarmen

Den tilsyneladende absorption i tyndtarmen i forhold til indtagelsen af de enkelte aminosyrer er, som tidligere nævnt, angivet i tabel 4.7. Disse værdier er stærkt afhængige af omsætningen i vommen og varierer derfor betydeligt. På ration C og D, hvor der var en betydelig nettosyntese i vommen af de fleste aminosyrer, over-

steg absorptionen af disse aminosyrer i tyndtarmen således i mange tilfælde indholdet i det indtagne foder.

Den tilsyneladende fordøjelighed (TF) i tyndtarmen kan af de fleste aminosyrer beregnes på grundlag af forskellen i passagen gennem duodenum og indholdet i gødningen. Det fremgår af tabel 4.11, at TF af de enkelte aminosyrer typisk ligger på 76-80% uafhængig af rationen. Dog ligger TF af arginin lidt højere (ca 84%), mens TF af cystein ligger noget lavere (67-71% afhængig af ration). De lavere værdier for cystein kan måske delvis forklares ved tab af uld ned i den opsamlede gødning, men kan også delvis skyldes en nettosyntese af cystein i blind- og tyktarmen af de derværende bakterier, sådan som tabel 4.14 antyder. For de fleste af de øvrige aminosyrers vedkommende vil den bakterielle omsætning i blind- og tyktarmen dog formentlig kun have en forholdsvis ringe indflydelse på fordøjelseskvotienterne, således at indholdet af aminosyrer i gødningen er et rimeligt godt mål for indholdet i det tarmindehold, der forlader tyndtarmen. Resultater, samlet af Tamminga (1980) over tilsyneladende fordøjelseskvotienter af essentielle aminosyrer, beregnet på grundlag af passagen gennem duodenum og henholdsvis passagen gennem ileum og indholdet i gødningen, underbygger denne antagelse, idet værdierne generelt er meget overensstemmende uanset målemetode. De fordøjelseskvotienter, som Tamminga (1980) angiver, ligger dog generelt lidt lavere (72-75%) end værdierne i tabel 4.11. Tilsvarende fandt Lu et al. (1983), at ca 72% af de aminosyrer, der kom ud i duodenum hos får, forsvandt i tyndtarmen. Til gengæld angiver Ørskov (1982), at den tilsyneladende fordøjelighed i tyndtarmen af mikrobielt protein er på ca 83%, medens Hvelplund & Madsen (1983) angiver, at uforøret fiskemel fordøjes samme sted med ca 87%.

Det er interessant, at fordøjelseskvotienten for næsten alle aminosyrer er uafhængig af foderrationen. De eneste undtagelser er kvotienterne for methionin, der falder, samt cystein og prolin, der stiger ved øget stivelsesindhold (ration C og D).

Den højere fordøjelseskvotient for cystein, samtidig med en lavere kvotient for methionin, på ration C og D tyder i følge det ovenstående på en nedsat bakteriel omsætning i blind- og tyktarmen, hvilket er i overensstemmelse med, at der er mindre tilgængelig energi i disse rationer for blind- og tyktarmens bakterier.

Tabel 4.15 Aminosyre-N omsætningen. Indhold i foder, duodenal passage og gødning (g/dag), samt ændring før og efter pylorus

Table 4.15 Amino acid-N metabolism. Content in feed, duodenal flow and faeces (g per day), and change before and after pylorus

	Ration			
	A	B	C	D
Foder (Feed)	11.1	13.0	12.0	14.1
Duodenal passage (Duodenal flow)	10.4	13.4	13.0	15.5
Gødning (Faeces)	2.2	2.9	2.8	3.4
Ændring før pylorus, g/d (Change before pylorus, g per day)	-0.7	0.4	1.0	1.4
Ændring før pylorus, % (Change before pylorus, %)	-6.3	3.1	8.3	9.9
Ændring efter pylorus, g/d (Change after pylorus, g per day)	-8.2	-10.5	-10.2	-12.1
Ændring efter pylorus, % (Change after pylorus, %)	-78.8	-78.4	-78.5	-78.1

De tilsyneladende absorberede mængder af de essentielle aminosyrer er angivet i tabel 4.12 sammen med behovet for de enkelte aminosyrer til vedligehold og uldproduktion.

Det fremgår heraf, at der var et stort overskud af alle aminosyrer bortset fra cystein, der var i underskud. Da cystein, som tidligere nævnt, kan dannes ud fra methionin, har der dog formentlig heller ikke været mangel på denne i forsøget, men tabel 4.12 viser tydeligt, at den begrænsende aminosyre for får næsten altid vil være cystein (eller methionin).

Aminosyresammensætningen i det indtagne foder, duodenalpassage og gødning ses i tabel 4.13. Det fremgår heraf, at der var meget lille forskel på sammensætningen i proteinet i duodenalpassage og gødning - også uanset ration, hvilket kan tages som udtryk for, at en væsentlig del af proteinet var bakterielt protein. Der var dog visse karakteristiske forskelle. Således var mængden af de basiske aminosyrer, lysin og arginin, forholdsvis små i gødningen, hvilket enten kan forklares ved forholdsvis høje absorptionskvotienter for disse, eller ved et forholdsvis lavt indhold af lysin og arginin i bakterier i blind- og tyktarmen (tabel 4.14). Derimod var mængderne

Tabel 4.16 Kvalstofomsætningen. N i foder, duodenal passage, gødning, urin og aflejring (g/dag), samt nettoabsorption før og efter pylorus

Table 4.16 Nitrogen metabolism. N in feed, duodenal flow, faeces, urine and retention (g per day), and net absorption before and after pylorus

	Ration			
	A	B	C	D
Foder (Feed)	19.2	21.6	20.2	22.0
Urea-N i foder (Urea-N in feed)	5.6	5.6	5.6	5.6
Foder - urea-N (Feed minus urea-N)	13.6	16.0	14.6	16.4
Duodenal passage (Duodenal flow)	13.9	18.0	17.5	21.2
NH ₃ -N i duodenal passage (NH ₃ -N in duodenal flow)	0.2	0.2	0.2	0.4
Duodenal passage - NH ₃ -N (Duodenal flow minus NH ₃ -N)	13.7	17.8	17.3	20.8
Gødning (Faeces)	3.9	5.7	5.3	6.4
Urin (Urine)	13.2	12.2	12.2	13.1
Aflejring (Retention)	2.1	3.7	2.7	2.5
Nettoabsorption før pylorus, g/d (Net absorption before pylorus, g per day)	5.3	3.6	2.7	0.8
Nettoabsorption før pylorus, % (Net absorption before pylorus, %)	27.6	16.7	13.4	3.6
Nettoabsorption efter pylorus, g/d (Net absorption after pylorus, g per day)	10.0	12.3	12.2	14.8
Nettoabsorption efter pylorus, % (Net absorption after pylorus, %)	71.9	68.3	69.7	69.8

af cystein, glycin og prolin forholdsvis høje i gødningen, hvilket kan forklares ved en bakteriel nettosyntese af cystein og et stort indhold af glycin og prolin i mucin, der udskilles langs hele fordøjelseskanalens længde, og som har en forholdsvis lav fordøjelighed.

Aminosyre-N-omsætningen er vist i tabel 4.15. Værdierne herfor er korrigeret for amid-N, som angivet i det teoretiske afsnit. Det fremgår af tabellen, at der i duodenalpassagen var et tab af aminosyre-N på 6,3% af foderets indhold på ration A, medens der var en gevinst på ca 3%, 8% og 10% på henholdsvis ration B, C og D. Den tilsyneladende absorption af det aminosyre-N, der passerede pylorus, lå konstant på 78-79%, uafhængig af rationen.

Tabel 4.17 Ændring før pylorus af aminosyrer, aminosyre-N og
kompleks-N¹⁾ (% af optaget)

Table 4.17 Change before pylorus of amino acids, amino acid-N
and complex-N¹⁾ (% of intake)

	Ration			
	A	B	C	D
Essentielle aminosyrer (Essential amino acids)	-3.2	7.2	20.7	22.2
Ikke-essentielle aminosyrer (Non-essential amino acids)	-9.0	-0.4	-6.6	-4.6
Alle aminosyrer (Total amino acids)	-6.0	3.5	6.1	7.8
Aminosyre-N (Amino acid-N)	-6.4	2.8	8.2	9.8
Kompleks-N ¹⁾ (Complex-N) ¹⁾	0.7	11.3	18.5	29.3

1) N - (urea-N + NH₃-N)

De vigtigste parametre i kvælstofomsætningen er vist i tabel 4.16. Kvælstofindholdet i urinen er 2-3 gange så højt, som i gødningen (på ration A endda 3-4 gange så højt). Da kvælstofmængden på grund af recirkuleringen normalt er lavere i urinen end i gødningen hos drøvtyggere (Ørskov, 1982), afspejler de fundne forhold den rigelige kvælstofforsyning, der var tale om i dette forsøg. På den anden side øger NaOH i foderet urinudskillelsen og dermed ureatabet med urinen (Thornton, 1970).

Selv om dyrene næsten ikke tog på i vægt under forsøget, havde de en positiv kvælstofbalance på ca 2-4 g/dag på de forskellige rationer. Disse værdier er imidlertid i god overensstemmelse med, at der aflejres ca 10 g aminosyrer pr dag - svarende til knap 2 g N pr dag i ulden (Ørskov, 1982).

Nettoabsorptionen af kvælstof før pylorus er et udtryk for overskud af N i forhold til fordøjelig energi i vommen og var størst ved ration A, hvor indholdet af fordøjelig energi var lavest og mindst ved ration D, hvor energiindholdet var højest.

Nettoabsorptionen af det N, der passerede pylorus, lå på 68-72%, altså noget lavere end de tilsvarende værdier for aminosyre-N.

Ved at fratrække værdierne for henholdsvis foderets urea-N og

duodenalpassagens $\text{NH}_3\text{-N}$ fra de respektive værdier for total-N fås et udtryk for de mere komplekse N-forbindelser. Indholdet af disse ved pylorus var uforandret ved fodring med ration A, men forøget med henholdsvis ca 11%, 19% og 29% på rationerne B, C og D. Forskellen på total-N og de ovenfor angivne ændringer i aminosyre-N kan stort set henføres til den mikrobielle nukleinsyreproduktion i vommen, men også den mikrobielle produktion af vitaminer og aminosukre (N-acetylglucosamin) bidrager til forskellen.

De vigtigste ændringer, der er sket med de kvælstofholdige forbindelser i vommen, er summeret i tabel 4.17.

4.3 Konklusion

Af forsøgets resultater kan følgende hovedkonklusioner drages:

Fårene havde fået en rigelig kvælstofforsyning, selv om de tildelte mængder svarede til almindelige normer.

Kvaliteten af det protein, der nåede ned til tyndtarmen, var næsten uafhængig af proteinkilden, medens mængden var afhængig af kulhydratkilden (blev øget af stivelse).

Bestemmelse af effektiviteten af den mikrobielle proteinsyntese, udtrykt som g mikrobielt-N indbygget pr kg forgæret organisk stof i formaverne, syntes at være rimelig god med DAPA-metoden men mindre god med allantoin-metoden.

Effektiviteten af den mikrobielle proteinsyntese var efter DAPA-metoden nedsat efter fodring med NaOH-behandlet halm, men øget betydeligt efter supplerings med valset byg.

Forskelle i visse aminosyrers tilsyneladende fordøjelighed i tyndtarmen syntes i væsentlig grad at skyldes forskelle i aminosyresammensætningen hos bakterierne i vommen og i blind- og tyktarmen.

Selv om der var en rigelig absorption af alle øvrige aminosyrer, var absorptionen af de svovlholdige aminosyrer (cystein og methio-

nin) på alle rationer kun i et lille overskud i forhold til behovet. Disse aminosyrer må derfor formodes ofte at være de begrænsende aminosyrer hos får.

4.4 Litteratur

- ARC, Agricultural Research Council. (1980). The nutrient requirement of ruminant livestock. Farnham Royal. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Akin, D.E. & Barton, F.E. (1983). Rumen microbial attachment and degradation of plant cell walls. *Fed. Proc.*, 42, 114-121.
- Antoniewicz, A.M., Heinemann, W.W. & Hanks, E.M. (1980). The effect of changes in the intestinal flow of nucleic acids on allantoin excretion in the urine of sheep. *Proc. 3rd EAAP-Symposium on Protein Metabolism and Nutrition*, Braunschweig.
- Bergman, E.N. & Heitmann, R.N. (1978). Metabolism of amino acids by the gut, liver, kidney and peripheral tissue. *Fed. Proc.*, 37, 1228-1232.
- Bech-Andersen, S., Mason, V.C. & Rudemo, M. (1981). Bestemmelse af aminosyrer i foderstoffer. 360. Medd. fra Statens Husdyrbrugsforsøg, København.
- Bondi, A. (1981). Metabolism of protein in ruminant animals. A review. *Nutrition Rep. Int.*, 23, 993-1004.
- Buttery, P.I. (1977). Biochemical basis of rumen fermentation. In: *Recent advances in animal nutrition*. Eds.: W. Haresign & D. Lewis. 8-24. Butterworth, London - Boston.
- Ewart, J.A.D. (1981). Determination of carboxyl groups in wheat and barley flour proteins. *J. Sci. Food Agric.*, 32, 572-578.
- Hogan, J.P. & Weston, R.H. (1971). The utilization of alkali-treated straw by sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, 22, 951-962.
- Hvelplund, T. (1983). Digestibility of rumen microbial protein and undegraded dietary protein in the small intestine of sheep. *Proc. IVth EAAP Int. Symp. Protein Metabolism and Nutrition*, Clermont-Ferrand, France. Ed.: INRA Publ. 283-286.
- Hvelplund, T. & Madsen, J. (1983). Fiskemels proteinværdi til kvæg. 502. Meddelelse fra Statens Husdyrbrugsforsøg, København.
- Leng, R.A. (1982). Dynamics of protozoa in the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.*, 48, 399-415.
- Kennedy, P.M. & Milligan, L.P. (1978). Transfer of urea from the blood to the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.*, 40, 149-154.
- Lindsay, D.B. (1982). Relationship between amino acid catabolism and protein anabolism in the ruminant. *Fed. Proc.*, 41, 2550-2554.
- Lu, C.D., Jørgensen, N.A. & Barrington, G.P. (1983). Quantitative studies of amino acid flow in the digestive tract of sheep fed alfalfa protein concentrates. *J. Nutr.*, 113, 2390-2402.
- Madsen, J. (1983). The influence of feeding level and different protein sources on amino acid supply to the small intestine in cows. *Proc. IVth EAAP Int. Symp. Protein Metabolism and Nutrition*, Clermont-Ferrand, France. Ed.: INRA Publ., 307-312.
- Mason, V.C. & Milne, G. (1971). The digestion of bacterial mucopeptide constituents in the sheep. 2. The digestion of muramic acid. *J. Agric. Sci. Camb.*, 77, 99-101.
- McAllan, A.B. & Smith, R.H. (1983). Effect of dietary nitrogen sup-

- plementation on fibre digestion in the rumen. *Proc. Nutr. Soc.*, 42, 50A.
- Møller, P.D. & Hvelplund, T. (1982). Omsætningen af protein i mave-tarmkanalen hos kvæg ved fodring med natriumhydroxyd-behandlet halm. 431. Meddelelse fra Statens Husdyrbrugsforsøg, København.
- Nolan, I.V., Norton, B.W. & Leng, R.A. (1976). Further studies of the dynamics of nitrogen metabolism in sheep. *Brit. J. Nutr.*, 35, 127-147.
- Reis, P.J. (1967). The growth and composition of wool. *Aust. J. Biol. Sci.*, 20, 809-825.
- Sibanda, S. & Topps, J.H. (1982). The excretion of allantoin by ruminants in relation to protein entering the abomasum. *Proc. Nutr. Soc.*, 41, 75A.
- Siddons, R.C., Beever, D.E. & Nolan, J.V. (1982). A comparison of methods for the estimation of microbial nitrogen in duodenal digesta of sheep. *Br. J. Nutr.*, 48, 377-389.
- Sissons, J.W. (1981). Digestive enzymes of cattle. *J. Sci. Food Agric.*, 32, 105-114.
- Smith, R.H. (1980). Comparative amino acid requirements. *Proc. Nutr. Soc.*, 39, 71-78.
- Somers, M. (1961). Factors influencing the secretion of nitrogen in sheep saliva. *Aust. J. exp. Biol. med. Sci.*, 39, 145-151.
- Tagari, H. & Bergman, E.N. (1978). Intestinal disappearance and portal blood appearance of amino acids in sheep. *J. Nutr.*, 108, 790-803.
- Tamminga, S. (1980). Amino acid supply and utilisation in ruminants. *Proc. IIIrd EAAP-Symposium on Protein Metabolism and Nutrition*, Braunschweig.
- Thomsen, K.V. & Nørgaard, P. (1983). Fodermidlernes karakteristika. 551. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg, København. 3.1-3.45.
- Thornton, R.F. (1970). Factors affecting urinary excretion of urea nitrogen in cattle. 1. Sodium hydroxide and water loads. *Aust. J. Agr. Res.*, 21, 131-134.
- Wallace, R.J. (1983). Digestion of rumen bacteria in vitro. *Br. J. Nutr.*, 49, 101-108.
- Ørskov, E.R. (1982). Protein nutrition in ruminants. 160 pp. Academic Press, London.

5. MINERALSTOFOMSÆTNING OG SYRE-BASEBALANCE

5.1 Teoretisk baggrund

I den optimale fodersammensætning til husdyr er et korrekt indhold af mineralstoffer af lige så stor betydning som energi- og proteinindholdet. Mineralstofferne er nødvendige for opbygningen og funktionen af kroppens organsystemer. Således udgør de 60-70% af skeletsystemet og er desuden af essentiel betydning for funktionen af en lang række enzymer, for nerveimpulser og muskelaktivitet, samt for kroppens osmoregulering og syre-baseligevægt.

Selv om der er stor afstand mellem den nødvendige minimumsforsyning af mineralstoffer og den øverste grænseværdi, hvor yderligere tilførsel kan være skadelig eller endog direkte giftig, er det vigtigt - af hensyn til optimal produktion og sundhedstilstand - at den daglige mineralstoftilførsel holdes på et relativt konstant niveau omkring fodertabellernes anbefalede norm. Det er derfor også vigtigt at undersøge virkningen på mineralstofomsætningen og syre-basebalancen hos dyr, som er udsat for en kraftig NaOH-belastning i forbindelse med foderoptagelsen, idet de intermediære stofskifteprocesser kun forløber optimalt, når væskerummenes pH og elektrolytkoncentration holdes inden for relativt snævre grænser.

Organismens mineralstofskifte foregår i et nøje samspil med dens væske-, elektrolyt- og syre-baseomsætning. Forstyrrelser i mineralstofskiftet kan derfor have alvorlige konsekvenser for dyrenes velbefindende og produktionsevne.

Mineralstofferne tilføres normalt i overskud med foder og drikkevand, og efter absorption fra fordøjelseskanalen udskilles overskuddet i urin og fæces. Det almindelige i husdyrbruget er en positiv mineralstofbalance hos både unge og ældre dyr til dækning af henholdsvis daglig tilvækst og en eller anden form for produktion (mælk, æg, uld m.m.).

Den funktionelle sammenhæng mellem dyrenes mineral-, elektrolyt- og vandstofskifte skyldes, at samtlige cellederiverede membraner i organismen er frit permeable for vand, hvorved det ekstra- og intracellulære væskerum holdes i osmotisk ligevægt under fysiologiske betingelser. Opretholdelsen af denne ligevægt sker ved en stadig udskiftning af vand mellem de to væskerum, og transporten foregår som følge af cellernes optagelse eller afgivelse af mineralstoffer og elektrolytter.

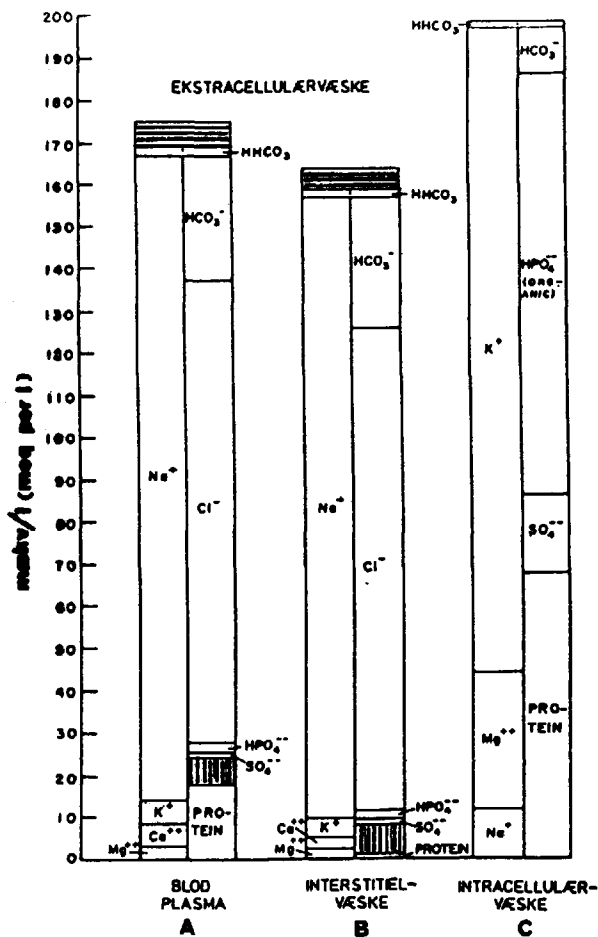
Forstyrrelse af ligevægten medfører enten hyper- eller hyponatriæmi. Hypernatriæmi er udtryk for en tilstand, hvor der sker en koncentration af blodets elektrolytter enten ved vandmangel eller ved akut overførsel af væske fra det ekstracellulære til det intracellulære væskerum som følge af faldende ekstracellulær osmolariet. Hyponatriæmi er udtryk for det modsatte hændelsesforløb.

De ioner og molekyler, som indgår i det intermediære stofskifte, er alle vandopløselige, og vandomsætningens centrale betydning understreges af, at de biokemiske og fysiologiske processer, som ligger til grund for homeostasen, kun kan forløbe i vandigt miljø. For at lette forståelsen af de skitserede sammenhænge, følger en kort omtale af væskerummene, organismens væskeregulering, vandbalance og syre-basestatus, som alle er afhængige variable af kroppens mineralstof- og elektrolytom sætning.

5.1.1 Væskerummene

Vand er organismens vigtigste stof og udgør indtil 70% af legemsvægten eller 98%-99% af samtlige molekyler i kroppen. Det forekommer både intra- og ekstracellulært, og de to væskerum andrager henholdsvis 40-50% og 20% af legemsvægten. Ekstracellulærrummet omfatter både interstitielvæske og plasmaet, der repræsenterer henholdsvis 15% og 5% af legemsvægten. Vandindholdet varierer dog en del med dyrenes alder og fedningsgrad.

Det intra- og ekstracellulære væskerum har en helt forskellig elektrolytsammensætning, hvilket fremgår af figur 5.1. Søjlerne højde repræsenterer koncentrationen af positivt og negativt ladede elektrolytter, der som følge af elektroneutralitetsprincippet forekommer i ækvivalente mængder. Som det fremgår af figuren, har de



Figur 5.1 Sammensætning af legemsvæskerne i milliækvivalenter pr. liter. Blodplasmaets og interstitielvæskens indhold af non-elektrolytter og organiske syrer er angivet ved henholdsvis vandret og lodret skravering

Figure 5.1 Composition of blood plasma (A), interstitial (B) and intracellular (C) fluids in milliequivalents per liter. The content of non-electrolytes in plasma and interstitial fluid are indicated by horizontal and perpendicular hatching, respectively

ekstracellulære væsker næsten ens elektrolytsammensætning med natrium som den dominerende kation (ca 85%), og klorid og bikarbonat som de væsentligste anioner (tilsammen ca 80%). Intracellulært udgør kalium og magnesium ca 95% af alle kationer, medens natrium udgør ca 5%. De intracellulære kationer balanceres af organisk fosfat, negativt ladede proteinmolekyler, sulfat og bikarbonat.

Forskellen i elektrolytsammensætningen i det ekstra- og intracellulære væskerum må ses på baggrund af de nævnte ioners betydning. Magnesium er nødvendig for en række enzymatiske processers forløb, og organisk fosfat er af afgørende betydning ved cellernes energiomsætning.

Som tidligere nævnt foregår en stadig udveksling af vand mellem plasmarummet og det interstitielle rum samt mellem dette og det intracellulære rum. Væskebalancen, som indstiller sig, bestemmes af væskerummenes elektrolytkoncentration, idet vandmolekylernes diffusion over cellemembranerne sker imod elektrolytternes koncentrationsgradient, indtil de osmotiske trykforskelle er udlignet. Vandet søger altid mod et højere indhold af elektrolytter, indtil elektrolyt- og dermed vandkoncentrationen er ens på begge sider af membranen, og de osmotiske trykforskelle er udlignet.

Under normalfysiologiske forhold foregår udvekslingen af vand mellem væskerummene enten som et resultat af stigende eller faldende vandoptagelse eller som resultat af stigende eller faldende saltoptagelse. Da det ekstracellulære væskerums osmotiske tryk domineres af natriumionen, vil variationer i denne ions koncentration afspejle variationen i vandfordelingen mellem de to rum. Cellemembranerne er permeable for ioner som natrium, kalium, magnesium og dihydrogenfosfat, og elektrolytterne diffunderer hver især mod væskerum med lavere koncentration af den enkelte elektrolyt. Når der alligevel opretholdes stor forskel i koncentrationen af Na^+ og K^+ ekstra- og intracellulært, skyldes det tilstedeværelsen af natriumpumpen, der er en energikrævende mekanisme knyttet til cellemembranen, og som er nødvendig ved transport af en række organiske molekyler.

5.1.2 Væskereguleringen

Et konstant vandindhold i organismen forudsætter, at vandoptagelse og vandafgivelse er i ligevægt. Gennem evnen til at variere vand- og saltudskillelsen får nyrerne en afgørende betydning for organismens væskeregulering. Den renale udskillelse af vand styres af hypofysebaglappen via det antidiuretiske hormon, hvorved det osmotiske tryk i væskerummene holdes nogenlunde konstant. Hertil kommer væskevolumen-reguleringen, som udøves ved et samspil mellem det antidiuretiske hormon og binyrebarkhormonet aldosteron, der regulerer Na^+ -reabsorptionen i nyretubuli. Disse to systemer, hvis funktion yderligere er korreleret med den tørstudløsende mekanisme, spiller en afgørende rolle for den homeostatiske regulering af væskerummets størrelse og osmotiske tryk. Tørstcentret i hypothalamus indeholder forskellige celletyper, der aktiveres ved henholdsvis et øget osmotisk tryk i blodet og ved hypovolæmi, hvilket medfører, at der udløses tørstfornemmelse og drikketrang såvel ved stigende elektrolytkoncentration som ved faldende blodvolumen.

Transporthastigheden mellem de forskellige væskerum er forskellig. Når elektrolytter og metabolitter optages fra mave-tarmkanalen følger vandet med. Transporten foregår relativt langsomt over tarmepitelets børstesøm (mikrovillier), men fra interstitielrummet sker overførslen hurtigt til plasma. Vandet og de vandopløselige næringsstoffer cirkulerer kun kort tid i karsystemet, idet 60-70% igen overføres til interstitielrummet inden for det første minut. Til trods for denne dynamik varer det indtil en time at opnå endelig ligevægt med intracellulærvæsken. Fuldstændig ligevægt for natrium og kaliums vedkommende indstiller sig dog først lidt senere end for vandet på grund af Na/K -pumpens virksomhed.

5.1.3 Vandbalancen

Kroppens totale vandindhold er nogenlunde konstant fra dag til dag. Tilførslen sker dels gennem peroral optagelse og dels gennem intracellulær produktion af stofskiftevand ved oxydation af brint fra næringsstofferne, medens afgivelsen sker dels med urinen og gødningen, dels gennem huden og med udåndingsluften. På grund af

vandets essentielle betydning får alle forhold, som forstyrrer den normale vandomsætning og vandbalance, afgørende indflydelse på dyrenes sundhedstilstand. Vandoptagelsen og urinudskillelsen er de eneste af ovennævnte faktorer, som med hensyn til regulering af kroppens vandindhold er under fysiologisk kontrol.

Omsætningen af vand er mere omfattende, end af de fleste andre stoffer i organismen. Ved isotopfortyndningsteknik er det fundet, at drøvtyggernes væskevolumen udskiftes med en hastighed, der svarer til $T_{1/2} = 2,3-3,5$ dage (Longhurst et al., 1970). Det betyder, at der for hver 24 timer udskiftes ca 20% af kroppens totale vandindhold. Udskiftningen omfatter praktisk taget hele væskevolumenet, idet kun en yderst ringe del af vandet er bundet til kroppen (f.eks. i brusk, knogle- og bindevæv).

Nyrernes betydning for vandbalancen understreges af, at urinproduktionens størrelse er organismens eneste mulighed for at regulere vandudskillelsen i relation til kroppens væskevolumen. Vandudskillelsen med urinen udgør normalt 25% af den samlede væskeudskillelse.

Generelt er vandbehovet afhængig af organismens fysiologiske tilstand, bl.a. fordi vandomsætning og metabolisk aktivitet er forbundne størrelser. Ved ændringer i stofskifteintensiteten ændres også vandomsætningen. F.eks. reduceres vandomsætningen parallelt med den normalfysiologiske reduktion i stofskiftet, som indtræder med stigende alder (Macfarlane & Howard, 1972). I overensstemmelse hermed er det også fundet, at dyr, som selekteres for høj tilvækstevne, har højere vandomsætning end ikke-selekterede dyr (Macfarlane & Howard, 1970). Vandbehovet vil også stige ved øget proteintilførsel samt ved tilskud af letopløselige og resorberbare mineralstoffer, idet et overskud af salte og stofskifteprodukter fra proteinomsætningen i det væsentligste udskilles med urinen, hvilket medfører en relativ høj diurese.

De enkelte faktorer, som hver for sig eller i forening er af betydning for vandbalancen, påvirker i sidste instans det tørstudløsende center i hypothalamus qua deres effekt på ekstracellulærvæskens osmokoncentration og volumen. I forbindelse med fremadskridende vandmangel vil elektrolytkoncentrationen i kroppen således ikke fortsætte med at stige, idet der udskilles Na^+ og Cl^- i urinen i en mængde, som svarer til det manglende væskevolumen. Efterhånden

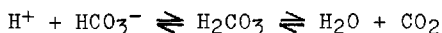
vil der også udskilles K^+ parallelt med, at der overføres væske fra det intra- til det ekstracellulære rum.

5.1.4 Syre-basebalancen

Organismens syre-basebalance og elektrolytbalance er gensidigt forbundne størrelser, ligesom væske- og elektrolytbalancen er det. For at stofskifteprocesserne kan forløbe normalt, er det en betingelse, at der opretholdes et konstant pH i blodet og vævene. Ved fodring med ludet halm tilføres det ekstracellulære væskerum et betydeligt baseoverskud. Når organismen alligevel er i stand til at afværge større ændringer i det ekstracellulære væskerums brintionkoncentration, skyldes det såvel den passive som den aktive neutralitetsregulering.

Den passive neutralitetsregulering udføres først og fremmest af blodets stødpudesystemer, hvorefter de vigtigste er hæmoglobin, serumproteinerne og kulsyre-bikarbonatsystemet, som tilsammen er i stand til med øjeblikkelig virkning at binde betydelige mængder syre eller base, uden at det medfører nogen nævneværdig ændring i blodets pH.

Den aktive neutralitetsregulering er knyttet til lungerne og nyrerne, hvorigennem organismen kan skille sig af med et overskud af syre eller base. Medens lungerne kompenserer for forstyrrelser i organismens syre-basebalance gennem en regulering af CO_2 -trykket i ekstracellulærvæsken, udøver nyrerne deres effekt på blodets brintionkoncentration ved at variere udskillelsen af bikarbonat samt i mindre grad af NH_4^+ . Lungernes regulering af P_{CO_2} i blodet sker på grundlag af reaktionen:



og sætter ind i løbet af sekunder. Herved sikres, at HCO_3^-/H_2CO_3 forholdet i blodet holdes på 20:1, som er det normalfysiologiske niveau. Den endelige oprettelse af syre-basebalancen sker dog først lidt forsinket gennem nyrerne enten ved udskillelse af H^+ eller HCO_3^- .

For plantesæderne i almindelighed, men i særdeleshed ved fodring

med ludbehandlet foder, bliver problemet at komme af med overskud af base, hvilket opnås gennem en høj udskillelse af natrium-bikarbonat i urinen. Ofte vil en sådan fodring medføre forskellige grader af metabolisk alkalose, som dyrene dog i reglen vil være i stand til at kompensere. Fysiologisk compensation ved metabolisk alkalose finder sted i form af nedsat alveolær ventilation, d.v.s. at respirationsfrekvensen falder. Den reducerede respirationsfrekvens medfører et øget partialtryk af CO_2 i blodet og ovenstående reaktion vil presses mod venstre. Hermed opnås i første omgang, at $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ forholdet på 20:1 kan opretholdes, men den endelige genopretning af normalfysiologiske tilstande sker først gennem en øget udskillelse af HCO_3^- i urinen.

5.2 Resultater og diskussion

5.2.1 Mineralstofomsætningen

I tabel 5.1 er balancerne for natrium, kalium, kalcium, magnesium, klorid og fosfor vist efter fodring med forskellige halmrationer. Som det fremgår af tabel 2.1, består halmen i ration A af ubehandlet bygalm (kontrolration), medens den i rationerne B, C og D er ludet med 4% NaOH. Bortset fra ludbehandlingen er der ingen forskel mellem A og B, medens C og D er tilsat henholdsvis 353 og 400 g byg-tørstof og således sammen med B repræsenterer de ludedede halmrationer på tre forskellige energiniveauer.

Mineralstofindholdet er forskelligt i de 4 rationer som følge af deres sammensætning. Forskellene i kalium- og til dels kloridkoncentrationen er dog større end forventet mellem ration A og de øvrige rationer, hvilket skyldes et forskelligt indhold i udgangsmaterialet for det ubehandlede og ludbehandlede halmparti. Det høje kaliumindhold i det ludedede halm hidrører ikke fra den tilsatte ludopløsning, men er antagelig forårsaget af en kraftigere gødsning, da dette parti også har haft et højere kvælstofindhold end det ubehandlede halm.

Tabel 5.1 Mineralstofomsætning i g/dag
 Table 5.1 Mineral metabolism in g per day

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
<u>Na:</u>				
Optaget* (Intake)	1.21 ^d	13.56 ^a	7.92 ^c	9.49 ^b
I gødning (In faeces)	0.56	1.34	1.32	1.64
Fordøjet (Digested)	0.65 ^a	12.22 ^c	6.60 ^b	7.84 ^b
Fordøjet, % (Digested, pct.)	54 ± 17	90 ± 4 ^a	83 ± 2 ^a	83 ± 1 ^a
I urin (In urine)	0.15 ^d	14.43 ^a	8.37 ^c	10.34 ^b
Retention** (Retention)	0.50 ± 0.24 ^a	-2.21 ± 0.36 ^b	-1.77 ± 0.48 ^b	-2.49 ± 0.08 ^b
<u>K:</u>				
Optaget* (Intake)	2.37 ^c	10.64 ^a	8.76 ^b	10.44 ^a
I gødning (In faeces)	0.55	0.40	0.52	1.33
Fordøjet (Digested)	1.82 ^a	10.24 ^b	8.24 ^b	9.11 ^b
Fordøjet, % (Digested, pct.)	77 ± 1 ^a	96 ± 1 ^b	94 ± 1 ^b	87 ± 5 ^{ab}
I urin (In urine)	2.66 ^c	8.63 ^a	7.09 ^b	7.81 ^{ab}
Retention** (Retention)	-0.84 ± 0.42 ^b	1.61 ± 0.21 ^a	1.15 ± 0.40 ^a	1.30 ± 0.92 ^a
<u>Ca:</u>				
Optaget* (Intake)	5.90 ^a	6.27 ^a	4.47 ^b	4.70 ^b
I gødning (In faeces)	6.60	7.20	4.87	5.37
Fordøjet (Digested)	-0.70 ^a	-0.93 ^a	-0.40 ^a	-0.67 ^a
Fordøjet, % (Digested, pct.)	-12 ± 6 ^a	-15 ± 2 ^a	-9 ± 2 ^a	-15 ± 6 ^a
I urin (In urine)	0.06	0.02	0.02	0.02
Retention** (Retention)	-0.76 ± 0.34 ^a	-0.95 ± 0.13 ^a	-0.42 ± 0.10 ^a	-0.69 ± 0.30 ^a

Tabel 5.1 fortsat (Table 5.1 continued)

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
<u>Mg:</u>				
Optaget* (Intake)	0.43 ^c	0.61 ^b	0.75 ^{ab}	0.81 ^a
I gødning (In faeces)	0.45	0.58	0.64	0.72
Fordøjet (Digested)	-0.02 ^a	0.03 ^a	0.11 ^a	0.09 ^a
Fordøjet, %(Digested, pct.)	-4 ± 4 ^a	5 ± 4 ^a	15 ± 1 ^a	10 ± 7 ^a
I urin (In urine)	0.13	0.11	0.15	0.18
Retention** (Retention)	-0.14 ± 0.03 ^a	-0.08 ± 0.03 ^a	-0.04 ± 0.03 ^a	-0.09 ± 0.01 ^a
<u>Cl:</u>				
Optaget* (Intake)	1.72 ^c	3.70 ^a	2.97 ^b	3.24 ^{ab}
I gødning (In faeces)	0.11	0.13	0.08	0.10
Fordøjet (Digested)	1.61 ^a	3.57 ^c	2.89 ^b	3.14 ^{bc}
Fordøjet, %(Digested, pct.)	94 ± 2 ^a	97 ± 9 ^a	97 ± 1 ^a	97 ± 2 ^a
I urin (In urine)	0.64	4.04	3.51	3.81
Retention** (Retention)	0.97 ± 0.14 ^a	-0.47 ± 0.10 ^b	-0.62 ± 0.04 ^b	-0.67 ± 0.26 ^b
<u>P:</u>				
Optaget* (Intake)	2.60 ^c	3.27 ^{bc}	3.90 ^{ab}	4.23 ^a
I gødning (In faeces)	2.13	2.57	2.83	3.30
Fordøjet (Digested)	0.47 ^a	0.70 ^a	1.07 ^a	0.93 ^a
Fordøjet, %(Digested, pct.)	17 ± 25 ^a	21 ± 21 ^a	27 ± 13 ^a	23 ± 10 ^a
I urin (In urine)	1.32	0.79	0.83	0.84
Retention** (Retention)	-0.85 ± 0.33 ^a	-0.09 ± 0.07 ^{ab}	0.24 ± 0.07 ^b	0.09 ± 0.23 ^b

*) Optaget = indhold i foder og drikkevand (Intake = Minerals in feed and water)

**)Middel ± middelfejl (Mean ± standard error) Middelværdier på samme linie med samme bogstav er ikke signifikant forskellige (P<0.05) (Means on the same line with the same letter are not significantly different (P<0.05))

I det væsentligste har mineralstofomsætningen været upåvirket af foderets energikoncentration og således udvist et ensartet mønster i rationerne B, C og D. Diskussionen af de opnåede resultater vil derfor primært omfatte forskellene mellem ration A (kontrollfoder) og ration B (højeste indhold af ludet halm).

5.2.1.1 Natrium, kalium og klorid

Ved anvendelse af ludet halm i foderet (ration B) steg natriumindtagelsen til 13,6 g/dag, hvilket var ca 11 gange så meget som i rationen med ubehandlet halm. Tilsvarende var indtagelsen af kalium ca 4 gange og indtagelsen af klorid ca 2 gange større ved fodring med ludet halm. Men til trods for den betydelige merindtagelse skete der ingen reduktion i fordøjelsen, som var 90% for natrium, 96% for kalium og 95% for klorid. Det gælder for alle 3 ioner, at de hovedsageligt udskilles i urinen, når de er til stede i overskud i organismen. Som tallene også viser, har absorptionen fra mave-tarmkanalen været praktisk taget kvantitativ, selv om indtagelsen var særdeles høj, eksempelvis for natrium ca 15 gange større end behovet. Udskillelsen af natrium i urinen androg således 14,1 g pr dag ved fodring med ration B, hvilket var 100 gange mere end for kontrolrationen.

En permanent optagelse af store mængder NaOH kan influere på dyrenes syre-basebalance, selv om nyrernes kapacitet for udskillelse af både natrium- og basesækvivalenter er særdeles høj og reguleringen sætter ind meget hurtigt. Ændringer i organismens syre-base status sker ved de foreliggende omstændigheder hovedsageligt over bikarbonationerne, idet de optagne hydroxylioner ikke kan eksistere frit ved legemsvæskernes pH omkring neutralpunktet, men øjeblikkelig konverteres til den svagere base, HCO_3^- . Nyrernes tærskelværdi for HCO_3^- ligger på 24-25 mmol pr l, og hvis koncentrationen i plasmaet passerer denne grænse, udskilles overskuddet i urinen.

Når HCO_3^- -udskillelsen i urinen stiger, vil der i overensstemmelse med elektroneutralitetsprincippet forekomme en tilsvarende forøget udskillelse af kationer, i dette tilfælde af Na^+ . Normalt sker der en fuldstændig tilbageresorption af Na^+ fra præurinen, men ved fodring med ludet halm, hvor optagelsen er langt større end be-

hovedet, udskilles den overskydende del i urinen. Hovedparten af den NaOH, som tilføres med ludet halm, udskilles således i form af NaHCO_3 i urinen.

Som det fremgår af tabel 5.1 var natrium-, kalium- og kloridbalancerne signifikant ændret af det ludedede halm. Mod forventning var natriumbalancen negativ for rationerne med ludet halm, men i det kortvarige forsøg, der her er tale om, indtrådte muligvis en overkompensering af nyrernes reguleringsmekanisme, som har skullet indstille sig til at fjerne det ekstremt høje indhold af Na^+ og HCO_3^- . Sandsynligvis har der i den ikke undersøgte forperiode været en positiv natriumbalance.

Den negative kloridbalance hænger naturligt sammen med den negative natriumbalance, fordi Cl^- i plasmaet primært reguleres i forhold til Na^+ . Cl^- reguleres også i forhold til HCO_3^- , som livligt udveksles med Cl^- , hvorved der sker en sekundær regulering. Kloridionernes koncentration i plasmaet er i høj grad bestemt af deres funktion som opfyldningselektrolytter. Når HCO_3^- -koncentrationen i blodet og ekstracellulærvæsken stiger som følge af baseoptagelsen med foderet, bliver der fortrængt en tilsvarende mængde Cl^- , som udskilles i urinen.

Den negative kloridbalance skyldes således dels den høje udskillelse af Na^+ i urinen, og dels den høje HCO_3^- -koncentration i plasma og ekstracellulærvæske, hvorfra en ækvivalent mængde Cl^- fortrænges. Fodring med ludet halm og den hermed følgende tilførsel af NaOH vil derfor tendere til at sænke plasmakoncentrationen af Cl^- .

Resultaterne er i overensstemmelse med Scott & Buchan (1981), som i forsøg med intravenøs infusion af base i form af HCO_3^- til får, fandt en signifikant større udskillelse af både Na^+ og Cl^- i urinen.

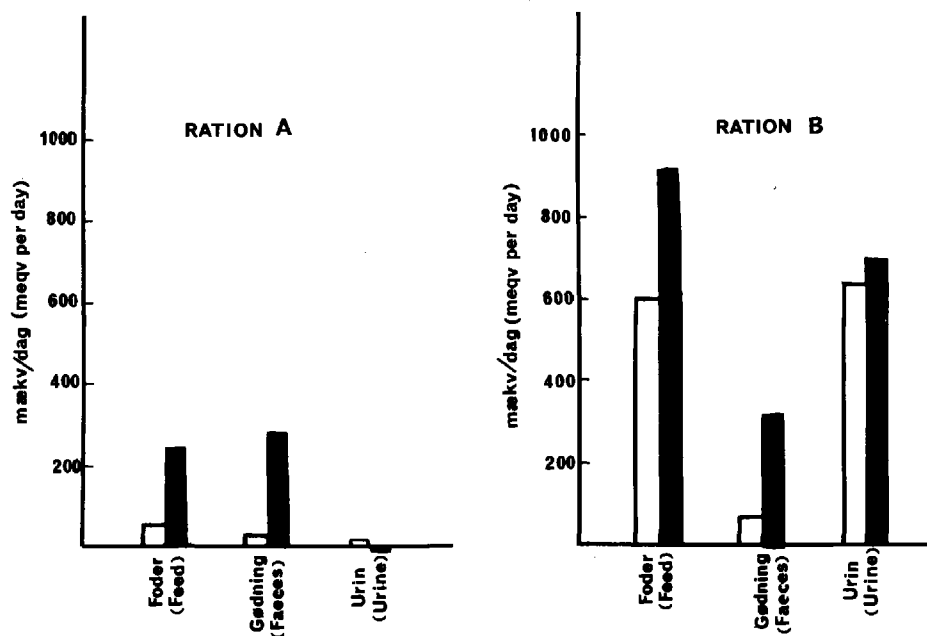
Kaliumbalancen var negativ på kontrolrationen, men det skyldes formentlig, at dyrene under forsøget havde et lille vægttab. For de øvrige rationer, som alle indeholdt ludet halm, var kaliumbalancerne positive, medens de som nævnt var negative for natrium og klorid. Når balancerne for kalium og natrium har modsatte fortegn, er forklaringen formentlig den, at nyrernes sekretion af K^+ foregår ved ionbytning med Na^+ . Således vil et højt natriumindhold i urinen automatisk reducere udskillelsen af kalium, fordi sekretionen af K^+ hæmmes, når den skal foregå mod en høj koncentrationsgradient af

Tabel 5.3 Udskillelse af mineralstoffer (mmol/dag) og nettobase (mækv/dag) samt fordelingen i gødning og urin (% af total)

Table 5.3 Excretion of minerals (mmol/day), net base (meqv/day), and the distribution between faeces and urine (pct. of total)

	Ration			
	A	B	C	D
<u>Na:</u>				
Udskillelse (Excretion)	31	686	421	521
I gødning, % (In faeces, pct.)	79	8	14	14
I urin, % (In urine, pct.)	21	92	86	86
<u>K:</u>				
Udskillelse (Excretion)	82	231	195	234
I gødning, % (In faeces, pct.)	17	4	7	15
I urin, % (In urine, pct.)	83	96	93	85
<u>Ca:</u>				
Udskillelse (Excretion)	166	180	122	134
I gødning, % (In faeces, pct.)	99	99	99	99
I urin, % (In urine, pct.)	1	1	1	1
<u>Mg:</u>				
Udskillelse (Excretion)	24	18	32	37
I gødning, % (In faeces, pct.)	78	84	81	80
I urin, % (In urine, pct.)	22	16	19	20
<u>Cl:</u>				
Udskillelse (Excretion)	21	118	101	110
I gødning, % (In faeces, pct.)	15	4	2	3
I urin, % (In urine, pct.)	85	96	98	97
<u>P:</u>				
Udskillelse (Excretion)	111	108	118	134
I gødning, % (In faeces, pct.)	61	76	77	80
I urin, % (In urine, pct.)	39	24	23	20
<u>Nettobase (Net base):</u>				
Udskillelse (Excretion)	257	1004	598	730
I gødning, % (In faeces, pct.)	108	32	33	33
I urin, % (In urine, pct.)	(-8)*	68	67	67

*) Forklaring i teksten (Explanation, see text)



Figur 5.2 Omsætning af natrium (□) og nettobase (■) (mækv/dag) ved fodring med henholdsvis ubehandlet (ration A) og ludet halm (ration B)

Figure 5.2 Sodium (□) and net base (■) metabolism (meqv per day) by feeding untreated (ration A) and lyed straw (ration B), respectively

Na^+ . Indtagelse af base i form af NaOH tenderer derfor til at øge koncentrationen af K^+ i ekstracellulærvæsken.

Udskillelsesmønsteret for Na^+ , K^+ og Cl^- fremgår af tabel 5.3 og figur 5.2. For ration B, hvor der udskiltes store mængder af alle 3 elektrolytter, foregik mellem 92% og 96% af udskillelsen over nyrerne. Ved sammenligning mellem rationerne ses, at der forekommer en relativ forskydning i udskillelsesmønsteret af natrium, når indtagelsen stiger (fig. 5.1). Det er således nyrerne, som skal klare ekstrabelastningen. Fodring med ludet halm medførte, at udskillelsen af natrium med urinen steg 96 gange, medens udskillelsen med gødningen kun steg til det dobbelte.

5.2.1.2 Kalcium, magnesium og fosfor

For kalcium, magnesium og fosfor var fordøjelsen og balancerne samt udskillelsesmønsteret upåvirket af foderets indhold af base (tabel 5.1). Resultaterne er i god overensstemmelse med eksperimentelle undersøgelser af Scott & Buchan (1981), som viste, at ekskretion af kalcium og fosfor i urinen forblev uændret efter fremkaldelsen af metabolisk alkalose ved intravenøs infusion af NaHCO_3 . De svagt negative balancer i nærværende forsøg skal ses i sammenhæng med, at fårene i forsøgsperioden havde et mindre vægttab.

Kalcium udskiltes praktisk taget kvantitativt med gødningen, nemlig 99% (tabel 5.3), medens ca 80% af den samlede magnesium- og ca 70% af den samlede fosforudskillelse foregik med gødningen.

5.2.2 Nettobase

Nettobase (NB) i foder, blod, legemsvæsker og urin er defineret ved differencen mellem indholdet af de uorganiske kationer og anioner, der ikke er syrer eller baser. Alle ioniserede mineralstoffer bidrager til NB-regnskabet, men da mikromineralstofferne udgør en forsvindende lille del af det samlede resultat, udelades de under praktiske forhold af beregningen. Er de positivt ladede mineralstoffer (Na^+ , K^+ , Ca^{++} og Mg^{++}) i overskud, er NB positiv, men er koncentrationen af negativt ladede ioner (Cl^- , HPO_4^{--} og SO_4^{--}) størst, er NB derimod negativ. Når den fordøjede NB i ration A (tabel 5.2) er negativ, betyder det, at absorptionen af anioner har været større end absorptionen af kationer, og forholdet betegnes som absorption af nettosyre. Hos voksende dyr findes en positiv NB-balance, især på grund af kalciumindlejringen i knoglesystemet. Normalt er Ca^{++} da også den elektrolyt, der viser størst sammenhæng med organismens NB. I dette forsøg fandtes imidlertid størst sammenhæng med Na^+ , som på grund af den høje koncentration i foderet har vejet tungest i NB-regnskabet.

NB-omsætningen fremgår af tabel 5.2 og 5.3 samt figur 5.2. Ved sammenligning af ration A og B ses, at NB-indtagelsen steg med en faktor 4 ved fodring med ludet halm, men udskillelsen i gødning påvirkedes ikke heraf. Udskillelsen foregik hovedsageligt over nyrer-

Tabel 5.2 Nettobaseomsætning i mækv/dag
Table 5.2 Net base metabolism in meqv per day

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
Optaget* (Intake)	244 ^d	931 ^a	542 ^c	643 ^b
I gødning (In faeces)	278 ^{ab}	323 ^a	199 ^c	238 ^{bc}
Fordøjet (Digested)	-34 ^c	608 ^a	343 ^b	405 ^b
Fordøjet, *** (Digested, pct.)	-13 ± 10 ^b	65 ± 2 ^a	63 ± 3 ^a	63 ± 5 ^a
I urin (In urine)	7 ^c	698 ^a	412 ^b	509 ^b
I urin inklusiv SO ₄ (In urine, inclusive SO ₄)	-21	681	399	492
Retention** (Retention)	-27 ± 23	-90 ± 29	-68 ± 29	-104 ± 24
Retention korrigeret for SO ₄ (Retention corrected for SO ₄)	-55 ± 37	-73 ± 24	-56 ± 24	-87 ± 20

*) Se fodnote, tabel 5.1 (See legend, Table 5.1)

**) Se fodnote, tabel 5.1 (See legend, Table 5.1)

ne (tabel 5.3, figur 5.2), hvilket også var forventet, når NB's sammensætning for en væsentlig del var bestemt af et højt indhold af natrium. Den høje udskillelse af NB i urinen betyder, at der i nyrerne udskilles et stort overskud af kationer i forhold til de anioner, som indgår i beregningen af NB. Urinens elektroneutralitet opnås ved en høj koncentration af HCO₃⁻, som i overensstemmelse med definitionen ikke indgår i beregningen af NB.

I det foreliggende forsøg har det ikke været muligt at bestemme sulfatproduktionen, idet urinopsamlingen er foretaget i svovlsyre. Da sulfatproduktionen imidlertid har sit udgangspunkt i foderets indhold af svovlholdige aminosyrer er det muligt, at beregne størrelsen ud fra de fordøjede mængder af cystein og methionin. Hos udvoksede får svarer aflejringen af svovlholdige aminosyrer stort set til forbruget til uldproduktionen. Denne aflejring andrager ca 11-12 g protein/dag og indeholder 0.7% methionin og 10.7% cystein (Ørskov, 1982). Differencen mellem det beregnede cystein- og methioninforbrug til uldproduktion og de fordøjede svovlholdige aminosyrer udskilles som sulfat i urinen. Af tabel 5.2 fremgår, at produktionen af SO₄²⁻ i det foreliggende forsøg har været ca 15 mækv pr dag.

Når drøvtyggere optager store basemængder, sker der en fortynding heraf i den relativt store vommasse. En basebelastning vil således ikke have samme akutte effekt hos drøvtyggere som hos enmavede dyr, hvor maksimal belastning ligger på omkring 10 mækv/kg/dag. Som det fremgår af tabel 5.2, optog fårene på ration B 931 mækv NB pr dag, hvilket svarer til 15.5 mækv/kg/dag. Heraf fordøjedes 10.1 mækv/kg/dag, men hos drøvtyggere sker der, foruden den allerede omtalte fortynding i vommen, en neutralisering med CO_2 , hvorved hydroxydet i første omgang uskadeliggøres. For den endelige syre-base status er det dog en midlertidig foranstaltning, idet neutraliseringen blot medfører en ækvivalent stigning i koncentrationen af HCO_3^- , der absorberes og overføres til blodet. Anvendelse af ludet halm i foderet giver derfor ubetinget en øget belastning af nyrefunktionen, da den tilførte base under alle omstændigheder overføres som bikarbonat til blodet, hvorfra den gennem nyrerne udskilles i urinen.

I tabel 5.4 gives en oversigt over værdierne fra variansanalyserne på mineralstofretentionen og nettobasestofskiftet. Som det allerede er fremgået, var natrium- og kloridbalancerne signifikant ændrede af fodringen. Tallene for nettobasestofskiftet viser derimod, at NB-retentionen var upåvirket ved optagelse af ludbehandlet halm. Den betydelige stigning, som fodringen har bevirket i NB-fordøjelsen, ledsages af en tilsvarende signifikant stigning i NB-udskillelsen i urinen. Som F-værdierne viser, har der været individuelle forskelle i udskillelsesmønsteret for NB. Såvel urinens som gødningens indhold af NB har været stærkt påvirket af individuelle faktorer, ligesom der også har været forskel på fordøjeligheden af NB mellem dyrene.

5.2.3 Resorption før og efter pylorus

Omsætningen af mineralstoffer i mave-tarmkanalen før og efter pylorus er vist i tabel 5.5. Duodenalpassagen for det enkelte mineralstof bestemtes på tørstofbasis pr 24 timer. Differencen mellem den mængde, der henholdsvis indtages med foderet og passerer duodenum, er tilført med spyttet eller secerneret/absorberet i formaverne og løben, ligesom differencen mellem den mængde, der passerer duodenum og udskilles med gødningen, er secerneret/absorberet i tarmafsnittene.

Tabel 5.4 Oversigt over F-værdier fra variantsanalyser på mineralstofretentionen og nettobasestofskiftet

Table 5.4 F-values from analysis of variance on mineral retention and net base metabolism

	Rationer (Rations)	Dyr (Animals)	Balancer, procent af optaget (Balances, per cent of intake)	
			Rationer (Rations)	Dyr (Animals)
Natrium (Sodium)	16.37**	0.75	7.75*	0.36
Kalium (Potassium)	8.60*	5.50	8.69*	3.47
Calcium	0.69	0.34	0.26	0.20
Magnesium	1.85	0.02	4.91*	0.05
Klor (Chloride)	25.96***	1.17	36.42***	1.19
Fosfor (Phosphorus)	7.27*	2.23	8.74*	2.19
Nettobase, optaget (Net base, intake)	395.77***	0.53		
Nettobase, gødning (Net base, faeces)	17.88**	15.89**		
Nettobase, urin (Net base, urine)	221.68***	12.27**		
Nettobase, blod (Net base, blood)	3.62*	0.12		
Nettobase, fordøjet (Net base, digested)	230.48***	5.89*		
Nettobase, fordøjet, % ¹⁾ (Net base, digested, pct. ¹⁾)	89.23***	6.00*		
Nettobase, retention (Net base, retention)	1.66	1.20		
Nettobase, retention, % (Net base, retention, pct.)	0.20	0.98		

¹⁾ Procent af optaget (Per cent of intake)

*) P < 0.05 **) P < 0.01 ***) P < 0.001

Table 5.5 Mineralstofomsætningen før og efter pylorus i g/dag

Table 5.5 Mineral metabolism before and after pylorus in g per day

	Ration			
	A	B	C	D
<u>Na:</u>				
Optaget ¹ (Intake)	1.22 ^d	13.87 ^a	7.87 ^c	9.52 ^b
Duodenalpassage (Duodenal flow)	12.06 ^b	13.24 ^b	18.91 ^a	20.00 ^a
Nettoabsorption før pylorus (Net absorption before pylorus)	-10.84 ^b	0.63 ^a	-11.04 ^b	-10.48 ^b
Nettoabsorption før pylorus, % ² (Net absorption before pylorus, pct.)	-895±43 ^c	5±6 ^a	-141±19 ^b	-112±16 ^b
I gødning (In faeces)	0.61 ^b	1.42 ^{ab}	1.29 ^{ab}	1.64 ^a
Nettoabsorption efter pylorus (Net absorption after pylorus)	11.45 ^b	11.82 ^b	17.62 ^a	18.36 ^a
Nettoabsorption efter pylorus, % ² (Net absorption after pylorus, pct.)	946±49 ^a	85±6 ^c	224±19 ^b	194±17 ^b
<u>K:</u>				
Optaget ¹ (Intake)	2.41 ^c	11.07 ^a	8.71 ^b	10.50 ^a
Duodenalpassage (Duodenal flow)	4.42 ^c	6.86 ^b	8.37 ^{ab}	9.64 ^a
Nettoabsorption før pylorus (Net absorption before pylorus)	-2.01 ^c	4.21 ^a	0.34 ^b	0.86 ^b
Nettoabsorption før pylorus, % ² (Net absorption before pylorus, pct.)	-88±18 ^b	38±4 ^a	4±5 ^a	7±6 ^a
I gødning (In faeces)	0.59 ^{ab}	0.42 ^b	1.00 ^{ab}	1.32 ^a
Nettoabsorption efter pylorus (Net absorption after pylorus)	3.83 ^c	6.44 ^b	7.34 ^{ab}	8.32 ^a
Nettoabsorption efter pylorus, % ² (Net absorption after pylorus, pct.)	164±18 ^a	58±4 ^b	85±7 ^b	80±4 ^b
<u>Ca:</u>				
Optaget ¹ (Intake)	5.95 ^a	6.38 ^a	4.43 ^b	4.72 ^b
Duodenalpassage (Duodenal flow)	6.35 ^a	6.15 ^a	4.42 ^b	5.08 ^{ab}
Nettoabsorption før pylorus (Net absorption before pylorus)	-0.40 ^a	0.23 ^a	0.01 ^a	-0.36 ^a
Nettoabsorption før pylorus, % ² (Net absorption before pylorus, pct.)	-7±7 ^a	4±9 ^a	0±11 ^a	-9±5 ^a
I gødning (In faeces)	7.00 ^a	7.60 ^a	4.80 ^b	5.37 ^{ab}
Nettoabsorption efter pylorus (Net absorption after pylorus)	-0.65 ^a	-1.45 ^a	-0.38 ^a	-0.29 ^a
Nettoabsorption efter pylorus, % ² (Net absorption after pylorus, pct.)	-10±11 ^a	-23±7 ^a	-9±12 ^a	-6±5 ^a

Tabel 5.5 fortsat (Table 5.5 continued)

<u>Mg:</u>				
Optaget ¹ (Intake)	0.43 ^c	0.62 ^b	0.74 ^a	0.82 ^a
Duodenalpassage (Duodenal flow)	0.38 ^b	0.46 ^b	0.59 ^a	0.61 ^a
Nettoabsorption før pylorus (Net absorption before pylorus)	0.05 ^b	0.16 ^{ab}	0.15 ^{ab}	0.21 ^a
Nettoabsorption før pylorus, % ² (Net absorption before pylorus, pct.)	11±6 ^a	25±7 ^a	21±4 ^a	25±5 ^a
I gødning (In faeces)	0.47 ^a	0.61 ^a	0.63 ^a	0.71 ^a
Nettoabsorption efter pylorus (Net absorption after pylorus)	-0.09 ^a	-0.15 ^a	-0.04 ^a	-0.10 ^a
Nettoabsorption efter pylorus, % ² (Net absorption after pylorus, pct.)	-20±12 ^a	-23±4 ^a	-6±5 ^a	-13±2 ^a
<u>Cl:</u>				
Optaget ¹ (Intake)	1.73 ^c	3.78 ^a	2.95 ^b	3.27 ^b
Duodenalpassage (Duodenal flow)	24.94 ^b	25.75 ^{ab}	33.08 ^{ab}	37.38 ^a
Nettoabsorption før pylorus (Net absorption before pylorus)	-23.21 ^a	-21.97 ^a	-30.13 ^a	-34.11 ^a
Nettoabsorption før pylorus, % ² (Net absorption before pylorus, pct.)	-1358±107 ^b	-580±44 ^a	-1029±191 ^{ab}	-1067±117 ^{ab}
I gødning (In faeces)	0.12 ^a	0.13 ^a	0.07 ^a	0.10 ^a
Nettoabsorption efter pylorus (Net absorption after pylorus)	24.82 ^b	25.62 ^{ab}	33.01 ^{ab}	37.28 ^a
Nettoabsorption efter pylorus, % ² (Net absorption after pylorus, pct.)	1452±108 ^a	676±44 ^b	1126±191 ^{ab}	1164±116 ^{ab}
<u>P:</u>				
Optaget ¹ (Intake)	2.62 ^c	3.33 ^b	3.88 ^{ab}	4.28 ^a
Duodenalpassage (Duodenal flow)	7.50 ^b	7.82 ^b	9.85 ^a	10.68 ^a
Nettoabsorption før pylorus (Net absorption before pylorus)	-4.88 ^{ab}	-4.79 ^a	-5.97 ^{ab}	-6.40 ^b
Nettoabsorption før pylorus, % ² (Net absorption before pylorus, pct.)	-187±11 ^a	-135±18 ^a	-154±14 ^a	-156±21 ^a
I gødning (In faeces)	2.25 ^b	2.77 ^b	2.82 ^{ab}	3.32 ^a
Nettoabsorption efter pylorus (Net absorption after pylorus)	5.25 ^{bc}	5.05 ^c	7.03 ^{ab}	7.36 ^a
Nettoabsorption efter pylorus, % ² (Net absorption after pylorus, pct.)	201±17 ^a	151±15 ^a	181±12 ^a	179±23 ^a

1) Optaget = indhold i foder og drikkevand (Intake = minerals in feed and water)

2) Middel ± middelfejl (Mean ± standard error)

Middelværdier på samme linie med samme bogstav er ikke signifikant forskellige (P<0.05) (Means on the same line with the same letter are not significant different (P<0.05))

Generelt forekom der kun små forskydninger i de absolutte mængder, som passerede duodenum. Ved sammenligning af de rene halmrationer (A og B) har natriumindtagelsen pr dag været henholdsvis 1.2 g og 13.9 g, men på trods heraf var den mængde, der passerede duodenum, af praktisk taget samme størrelse, nemlig henholdsvis 12.1 og 13.2 g/dag. Den udligning af koncentrationen, som foregår selv ved store forskelle i indtagelsen, reguleres formentlig både over den endogene tilførsel og over absorption gennem epitelet i formaverne. På ration A var der en negativ nettoabsorption på 10,8 g/dag, der stammer fra det endogene tilskud via spyt og mavesekretorer. I modsætning hertil fandtes ved den høje natriumtilførsel med ration B en positiv nettoabsorption på 0,6 g/dag. Nettoabsorptionen i formaverne og løben varierer således i omvendt forhold til indtagelsen med det resultat, at natriumkoncentrationen i duodenum praktisk taget er ens uanset koncentrationen i foderet.

Resorptionen af Na^+ efter pylorus var derimod af samme størrelsesorden i begge tilfælde, men for den samlede mave-tarmkanal har fordøjelsen været 10 g større pr dag hos dyrene på ration B.

Generelt var de undersøgte mineralstoffers duodenalpassage kun lidt påvirket af ludoptagelsen, hvorimod den stigende energikoncentration i foderet (ration C og D) øvede nogen indflydelse på passagen i retning af et højere mineralstofflow, dog med undtagelse af kalcium.

Den endogene turnover betyder, at absorptionen af mineralstoffer er langt højere end den daglige tilførsel. Det gælder især for natrium og fosfor, som tilføres i relativt store mængder med spyttet, samt klorid, der tilføres løben i forbindelse med sekretion af saltsyre. Mineralstofferne absorberedes hovedsageligt i tarmafsnittene med undtagelse af magnesium, der blev absorberet før pylorus. Dette er i overensstemmelse med, at mineralstofabsorptionen i formaverne i følge litteraturen er af ringe omfang, bortset fra magnesium, som fortrinsvis absorberes i bladmaven (Grace et al., 1974; Ben-Ghedalia et al., 1975).

Især af magnesium, men også af kalcium, har der i alle tilfælde været en nettosekretion til fordøjelseskanalen efter duodenum og for begge mineraler gælder, at udskillelsen har været dobbelt så stor på højeste indtag af ludet halm, som ved fodring med kontrolrationen. For kaliums vedkommende var der en vis optagelse gennem

Tabel 5.6 Nettobaseomsætning før og efter pylorus i mækv/dag
 Table 5.6 Net base metabolism before and after pylorus in meqv per day

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
Optaget* (Intake)	246 ^d	955 ^a	539 ^c	644 ^b
Duodenalpassage (Duodenal flow)	-154	-84	-200	-255
Nettoabsorption før pylorus (Net absorption before pylorus)	400 ^c	1039 ^a	739 ^b	899 ^{ab}
Nettoabsorption før pylorus, % (Net absorption before pylorus, pct.)	163 ± 21	109 ± 2	138 ± 23	139 ± 8
I gødning (In faeces)	295	337	208	236
Nettoabsorption efter pylorus (Net absorption after pylorus)	-449	-421	-408	-491
Nettoabsorption efter pylorus, %** (Net absorption after pylorus, pct.)	-182 ± 20 ^b	-44 ± 3 ^a	-76 ± 23 ^a	-76 ± 8 ^a

*) Se fodnote, tabel 5.1 (See legend, Table 5.1)

**) Se fodnote, tabel 5.1 (See legend, Table 5.1)

formavepiteliernes efter fodring med ludet halm, men som tabel 5.5 viser, fandt hovedparten af nettoabsorptionen sted efter pylorus.

Omsætningen af nettobase før og efter pylorus fremgår af tabel 5.6. Selv om de ludedede halmrationer har haft en høj koncentration af NB, har indholdet i duodenum i alle tilfælde været negativt. NB-absorptionen var signifikant højere, når dyrene fik ludet halm, og af tabellen ses, at absorptionen fandt sted før pylorus. Nettoabsorptionen af NB afhænger hovedsageligt af saltsyreproduktionen i løben, men for NB-regnskabet er resultatet imidlertid uafhængigt af, om der sker en absorption af base eller sekretion af syre, idet den øvrige organisme i begge tilfælde bliver mere basisk i forhold til fordøjelseskanalen. Efter duodenum var der ingen forskel på nettoabsorptionen af NB, som havde en høj negativ værdi på grund af resorptionen af Cl^- og sekretionen af HCO_3^- .

pH og ionstyrken i duodenalindholdet fremgår af tabel 5.7. Den højeste ionstyrke findes ved den største optagelse af ludet halm, men forskellen er ikke statistisk sikker. Ligeledes er der ingen statistisk sikker ændring i pH på grund af foderets indhold af lu-

Tabel 5.7 pH, ionstyrke, flygtige fedtsyrer og $\text{NH}_3\text{-N}$ i passeret tarmindehold i duodenum

Table 5.7 pH, ionic strength, volatile fatty acids and $\text{NH}_3\text{-N}$ in duodenal flow

Ration	A	B	C	D
pH	3.35 ^a	3.18 ^a	3.09 ^a	2.69 ^b
Ionstyrke, mmol/l (Ionic strength, mmol/l)	121.2	127.3	121.4	122.7
Flygtige fede syrer, mmol/d (Volatile fatty acids, mmol/d)	26.7 ^c	37.5 ^{bc}	67.6 ^{ab}	72.3 ^a
Eddikesyre, mmol/d og (%) af total (Acetic acid, mmol/d and (%) of total)	20.9 ^b (78.4)	29.7 ^{ab} (79.2)	49.5 ^a (73.1)	52.1 ^a (72.1)
Propionsyre, mmol/d og (%) af total (Propionic acid, mmol/d and (%) of total)	4.3 ^b (16.0)	4.2 ^b (11.1)	9.8 ^a (14.5)	11.3 ^a (15.6)
Smørsyre, mmol/d og (%) af total (Butyric acid, mmol/d and (%) of total)	1.3 ^b (4.7)	2.7 ^{ab} (7.3)	6.3 ^a (9.3)	6.5 ^a (9.0)
$\text{NH}_3\text{-N}$, g/d	0.147 ^c	0.184 ^{bc}	0.241 ^b	0.365 ^a

Forskelligt indeks i samme linie betyder signifikant forskel mellem rationerne ($P < 0.05$)

Different superscripts in same line indicate significant differences between rations ($P < 0.05$)

det halm, selv om der er en tendens til et fald. Derimod har stigende energikoncentration i foderet medført et signifikant fald i pH. På ration D, hvor bygrationen er givet i størst mængde, er brintionkoncentrationen således steget med en faktor 5. Årsagen er, at den lettilgængelige kulhydratkilde, som bygstivelsen udgør, forgæres af vombakterierne til flygtige fede syrer. Som det fremgår af tabel 5.7, indtræder der ikke nogen nævneværdig forskydning i den procentiske fordeling mellem eddikesyre, propionsyre og smørsyre, men ændringen består først og fremmest i en forøget produktion. I sammenligning med kontrolrationen fandtes en signifikant stigning i koncentrationen af flygtige fede syrer på ca 40% ved fodring med ludet halm. Stigningen hænger sammen med en større tilgængelighed af kulhydrat i form af især hemicellulose, som vist i kapitel 3, men som allerede vist bliver stigningen endnu mere udtalt, når der

Tabel 5.8 Oversigt over F-værdier fra variansanalyser på mineralstofskiftet og fordøjede mineralstoffer og netto-
base før og efter pylorus

Table 5.8 F-values from analysis of variance on mineral metabolism and mineral and net base digestibility before
and after pylorus

	Tilsyneladende fordøjet (Apparently digested)					
	I alt (All over)		Før (Before) pylorus		Efter (After) pylorus	
	Ration(Ration)	Dyr(Animal)	Ration(Ration)	Dyr(Animal)	Ration(Ration)	Dyr(Animal)
Natrium (Sodium)	130.88***	0.54	25.06***	0.20	11.40***	0.48
Natrium, % (Na, pct.)	3.04	0.62	246.60***	0.19	190.55***	0.33
Kalium (Potassium)	54.26***	0.31	31.40***	1.24	16.91***	0.11
Kalium, % (K, pct.)	10.02**	0.36	33.77***	2.10	21.96***	1.29
Calcium	0.67	0.36	0.72	5.87*	1.34	2.53
Calcium, % (Ca, pct.)	0.27	0.21	0.66	4.59*	0.75	2.13
Magnesium	3.17	0.97	3.76*	2.71	1.87	6.10**
Magnesium, % (Mg, pct.)	3.29	1.24	1.66	4.24*	1.83	6.13**
Klor (Chlorine)	33.98***	0.12	3.26*	0.39	3.59*	0.41
Klor, % (Cl, pct.)	7.35*	21.09**	6.15**	0.40	6.11**	0.43
Fosfor (Phosphorus)	0.59	8.33*	4.30*	2.58	6.71**	0.88
Fosfor, % (P, pct.)	0.16	8.37*	1.73	0.69	1.49	1.34
Nettobase optaget (Net base, intake)	833.48***	0.14				
Nettobasepassage (Net base, flow)	0.97	0.41				
Nettobase (Net base)			14.10***	0.40	0.24	0.06
Nettobase, % (Net base, pct.)			1.83	0.55	13.05***	0.01

1) Pct. optaget (Per cent of intake)

* P < 0.05 ** P < 0.01 *** P < 0.001

Tabel 5.9 Oversigt over F-værdier fra variansanalyse på duodenal passage af flygtige fede syrer, ammoniak-N, pH, brintionkoncentration og ionstyrke

Table 5.9 F-values from analysis of variance on volatile fatty acids, ammonia-N, pH, hydrogen ion concentration and ion strength in duodenal flow

	Ration (Ration)	Dyr (Animal)
pH	11.16***	2.29
Ionstyrke (Ion strength)	2.91	3.71*
Flygtige fede syrer (Volatile fatty acids)	7.88**	0.23
Eddikesyre (Acetic acid)	7.19**	0.69
Propionsyre (Propionic acid)	7.46**	0.62
Smørsyre (Butyric acid)	6.35**	0.58
Ammoniak-N (Ammonia-N)	18.13***	0.49

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ *** $P < 0.001$

desuden tildeles stivelse. Parallelt med vombakteriernes højere produktion af flygtige fedtsyrer og dermed lavere pH i formaverne, stiger mængden af ammoniumioner, som passerer duodenum i overensstemmelse med diskussionen i kapitel 4.

Tabel 5.8 viser de fundne F-værdier fra variansanalyserne på mineralstofomsætningen samt fordøjede mineralstoffer og NB før og efter pylorus. Tilsvarende viser tabel 5.9 de fundne F-værdier fra variansanalyserne på duodenal passage af brintioner, flygtige fede syrer samt ammoniak-N. Resultaterne, som ligger til grund for beregningerne, er allerede diskuteret og vist i de foregående tabeller.

5.2.4 Mineralstoffer i blodet

Tabel 5.10 viser koncentrationen af elektrolytter og NB i blodet. Da omkring 45% af organismens natriumindhold findes i ekstracellulærvæsken, hvor det udgør 95% af samtlige kationer, har det stor interesse at undersøge, hvorledes fodring med ludet halm eventuelt influerer på natriumkoncentrationen i blodet. Når koncentrationen i plasma og ekstracellulærvæsken varierer, medfører det æn-

Tabel 5.10 Mineralstofkoncentrationer (mmol/l) og nettobase (mækv/l) i blodplasma

Table 5.10 Mineral concentrations (mmol per l) and net base (meqv per l) in blood plasma

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
Natrium (Sodium)	141	143	140	141
Kalium (Potassium)	4.5 ^b	5.1 ^a	4.8 ^a	4.8 ^a
Calcium	2.5	2.6	2.5	2.5
Magnesium	0.9	0.8	0.8	0.9
Klorid (Chloride)	110 ^a	108 ^b	109 ^{ab}	109 ^{ab}
Fosfat (Phosphate)	2.7	2.9	2.8	2.7
Nettobase (Net base)	37.4	41.7	37.4	38.7

dringer i det osmotiske tryk og dermed i organismens væskebalance. Natriumkoncentrationen er derfor hormonelt reguleret, hovedsageligt ved hjælp af aldosteron. Som det ses i tabellen var der kun en ubetydelig stigning i koncentrationen fra 141 til 143 mækv/l, selv om indtagelsen og fordøjelsen blev mere end tidoblet (jvnf. tabel 5.1). Indholdet af NB viste også en stigende tendens ved fodring med ludet halm, men ligesom for natrium var denne ikke signifikant.

Kloridkoncentrationen viste derimod et fald i plasmaet hos dyr, der optog base med foderet. Faldet skete i samme takt som natriumoptagelsen steg, hvilket stemmer overens med det allerede omtalte forhold, at en del af de baseækvivalenter, som ledsager Na^+ i foderet, ender som HCO_3^- i blodet, hvorfra der samtidig fjernes en ækvivalent mængde Cl^- . Kaliumkoncentrationen steg ligeledes signifikant ved fodring med ludet halm. Som tidligere diskuteret foregår nyrernes udskillelse af kalium efter ionbytningsprincippet, som imidlertid bliver hæmmet, når der udskilles store mængder natrium, og dette er sandsynligvis forklaringen på blodets stigende indhold af kalium.

Tabel 5.11

Syre-baseparametre i blodet

Table 5.11

Acid-base parameters in the blood

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
pH	7.37 ^b	7.42 ^a	7.42 ^a	7.43 ^a
P _{CO₂} , mmHg	39.0	40.0	39.0	39.3
Aktuel bikarbonat, mmol/l (Actual bicarbonate, mmol per l)	22.3 ^b	25.3 ^a	24.8 ^a	25.6 ^a
Standard bikarbonat, mmol/l (Standard bicarbonate, mmol per l)	21.8 ^b	24.8 ^a	24.5 ^a	25.2 ^a
Baseoverskud, mmol/l (Base excess, mmol per l)	-2.58 ^b	1.03 ^a	0.55 ^a	1.36 ^a

5.2.5 Syre-baseparametre i blodet

Tabel 5.11 viser blodets syre-baseparametre, som ved fodring med ludet halm viste signifikante stigninger i pH, standard bikarbonat samt baseoverskud. pH-stigningen på 0,05-0,06 enheder viser, at dyrene tenderer mod en svag metabolisk alkalose, som organismen imidlertid har kompenseret ved nedsættelse af den alveolære ventilation, hvilket medfører stigning i P_{CO₂}. I overensstemmelse med det forhøjede P_{CO₂} i blodet var standard bikarbonatkoncentrationen på 24-25 mækv/l, der svarer til nyrernes tærskelværdi. Det øgede indhold af HCO₃⁻ medfører et forhøjet pH, og på grund af fortrængningseffekten tillige en faldende koncentration af Cl⁻. Indtagelse af ludet halm forøger således pH, P_{CO₂} samt baseoverskuddet i blodet, hvilket viser, at dyrene befinder sig i en tilstand af nonrespiratorisk alkalose, som de imidlertid er i stand til at kompensere. Scott & Buchan (1981) har eksperimentelt fremkaldt tilsvarende ændringer i blodets syre-baseparametre hos får ved intravenøs infusion af bikarbonat (1 mmol/min i 5 timer).

Normalt er der en positiv korrelation mellem pH og kaliumkoncentrationen i plasma (Siggaard Andersen, 1962). En sammenhæng, som afspejler sig i udvekslingen af H⁺ og K⁺ over alle cellemembranerne. Når H⁺ i blodet stiger, sker der en vis udveksling med K⁺ fra

Tabel 5.12 Urinparametre. Udskillelse (l/dag), pH, koncentration af natrium (mmol/l), nettobase (mækv/l) samt osmolalitet (mOsmol/l)

Table 5.12 Urine parameters. Excretion (l per day), pH, concentration of sodium (mmol per l), net base (meqv per l) and osmolality (mOsmol per l)

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
Urinudskillelse (Urine excretion)	1.70 ^a	2.52 ^a	2.66 ^a	2.07 ^a
Relativt til A (Relatively to A)	1.00	1.49	1.57	1.22
pH	5.9 ^b	8.8 ^a	8.8 ^a	8.8 ^a
Natrium (Sodium)	3.8 ^d	249 ^a	137 ^c	217 ^b
Nettobase (Net base)	-12.4 ^c	270 ^a	150 ^b	237 ^a
Osmolalitet (Osmolality)	425 ^c	850 ^a	658 ^b	976 ^a

intracellulærvæsken, mens der ved faldende koncentration af H^+ i plasma også er en tendens til et lavt indhold af K^+ . I dette forsøg er K^+ imidlertid steget trods et højere pH, men forklaringen er sandsynligvis det relativt store kaliumindhold i de ludedede halmrationer. Merindtagelsen i forhold til kontrolrationen har således mere end opvejet den fysiologiske mekanisme, der som nævnt har en modsat rettet effekt.

5.2.6 Mineralstoffer og elektrolytter i urin og gødning

Tabel 5.12 og 5.13 viser de vigtigste urinparametre. Optagelsen af det ludbehandlede foder påvirker i vid udstrækning urinens sammensætning og diuresens størrelse. Især var natriumindholdet stærkt forøget, og som følge af et ledsagende højt indhold af HCO_3^- steg pH med ca 3 enheder fra 5.9 til 8.8. Sammenlignes tallene for rationerne A og B fremgår det, at udskillelsen af natrium var 96 gange større ved fodring med ludet halm, men på grund af forhøjet diurese steg koncentrationen kun med en faktor 65 fra 3,8 mækv/l til 249 mækv/l. Nyrerne var således i stand til at koncentrere HCO_3^- indholdet i urinen til et niveau, der svarede til et pH på 8,8.

Tabel 5.13 Mineralstofsammensætning i urin (mmol/l)

Table 5.13 Mineral composition in urine (mmol per l)

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
Natrium (Sodium)	4 ^d	249 ^a	137 ^c	217 ^b
Kalium (Potassium)	40 ^c	88 ^a	68 ^b	96 ^a
Calcium	0.9 ^a	0.2 ^b	0.2 ^b	0.3 ^b
Magnesium	3.2 ^a	1.8 ^b	2.3 ^b	3.6 ^a
Klorid (Chloride)	11 ^c	45 ^{ab}	37 ^b	52 ^a
Fosfor (Phosphorus)	25 ^a	10 ^b	10 ^b	13 ^b

Denne værdi afspejler tilsyneladende en øverste grænse for koncentration af bikarbonationer, og for at komme af med baseoverskuddet må organismen derfor udskille en større mængde urin. Primært har det ludede halm givet et højere pH i urinen og sekundært en øget urinudskillelse. Dette er imidlertid ikke i overensstemmelse med Friis Kristensen et al. (1978), som fandt, at baseudskillelsen hos køer næsten udelukkende reguleredes ved variation i urinnmængden.

Normalt udskiller drøvtyggerne alkalisk urin med et højt indhold af kalium. På kontrolrationen var udskillelsen således 10 gange højere af kalium end af natrium, men ved fodring med ludet halm udskiltes ca 2,5 gange mere natrium end kalium. Dette viser nyrernes evne til en selektiv udskillelse af natrium og kalium.

Medens pH nåede et loft, hvorefter diuresen begyndte at stige, har der tilsyneladende ikke været tale om et tilsvarende loft for alkalimetallerne, eller uorganiske ioner i det hele taget, da den højeste elektrolytkoncentration ikke fandtes i forbindelse med den største diurese, hvilket også fremgår af de målte osmolaliteter. Ved fodring med ubehandlet halm var osmolaliteten 425 mOsmol/l, medens den ved fodring med ludet halm gennemgående steg til det dobbelte.

Med hensyn til NB skete der ingen udskillelse i urinen ved fodring med ubehandlet halm, men tværtimod udskiltes 12,4 mækv netto-syre pr l. Ved optagelse af ludet halm ændredes imidlertid udskillelsesmønsteret, idet NB-ekskretionen steg til 270 mækv/l, som for

Tabel 5.14 Optaget drikkevand (l/dag) i forhold til optaget fodertørstof (l/kg), natrium (l/g) og nettobase (l/ækv)

Table 5.14 Water intake (l per day) in relation to intake of dry matter (l per kg), sodium (l per g) and net base (l per eqv)

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
Vandoptagelse (Water intake)	2.7 ± 0.6	3.7 ± 0.6	3.8 ± 0.6	3.2 ± 0.4
Relativt til A (Relatively to A)	1.00	1.38	1.41	1.19
Pr kg tørstof (Per kg dry matter)	4.5	4.8	4.8	4.0
Pr g natrium (Per g sodium)	2.22	0.27	0.48	0.34
Pr ækv nettobase (Per eqv net base)	11.1	4.0	7.0	4.9

hovedpartens vedkommende afspejles i den øgede udskillelse af natrium.

På ration A udskiltes NB udelukkende med gødningen (tabel 5.2), men ved fodring med ludet halm forekom 60-70 % af den totale udskillelse i urinen. Kloridudskillelsen steg 4-5 gange ved fodring med ludet halm, dels på grund af øget indhold i foderet, dels til supplering af hydrogenkarbonationernes anionbidrag, idet disse 2 ioner stort set er alene om at modsvare det øgede kationbidrag i urinen. Koncentrationen af kalcium, magnesium og fosfor var generelt reduceret ved fodring med ludet halm.

Vandoptagelsen steg indtil 41% ved fodring med ludet halm (tabel 5.14). Denne stigning skete imidlertid ikke som følge af foderets indhold af base, men udelukkende som følge af dyrenes højere tørstofoptagelse, idet dyrene har drukket ca 5 l vand pr kg optaget fodertørstof, uanset om halmen har været ludbehandlet eller ej.

Tilsyneladende har de tørstudløsende og tørstregulerende mekanismer ikke været påvirket af ludoptagelsen ved de benyttede koncentrationer. Resultaterne er ikke i fuld overensstemmelse med tidligere undersøgelser. Friis Kristensen et al. (1978) fandt, at der hos køer var sammenhæng mellem indtagelse af ludet halmfoder og drikkevandsmængden og konstaterede, at det hovedsagelig var koncentrationen af natriumioner, som påvirkede vandoptagelsen, idet neutralisering var uden indflydelse på den optagne mængde, som var på

Tabel 5.15 F-værdier for variansanalyser på natrium, kalium, pH og osmolalitet i urinen, urinudskillelsen og vandoptagelsen

Table 5.15 F-values from analysis of variance of sodium, potassium, pH, and osmolality in urine, the amount of urine excreted, and water consumed

	Rationer (Rations)	Dyr (Animals)
Natrium (Sodium)	474.74***	0.04
Kalium (Potassium)	87.67***	4.56
pH	159.73***	3.10
Urin (Urine)	1.54	4.64
Osmolalitet (Osmolality)	119.90***	0.70
Osmolalitet/l (Osmolality per l)	4.77*	4.42
Vand (Water)	1.05	1.99

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ *** $P < 0.001$

ca 6 l pr kg ludet halmtørstof. Ali et al. (1977a,b) fandt hos får en signifikant sammenhæng mellem indtagelse af natrium og drikkevand, men på et 3 gange højere niveau end i nærværende forsøg, idet den daglige indtagelse af natrium og drikkevand var henholdsvis 46,3 g og 10,5 l. Udelades værdierne for den ekstremt høje natriumindtagelse, d.v.s. $> 1,55 \text{ g/kg}^{0,75}$, viser korrelationsberegninger på de opgivne tal imidlertid, at sammenhængen mellem drikkevandsmængden og indtagelsen af tørstof er langt større, end den er mellem drikkevandsmængden og indtagelsen af natrium. Ved en daglig indtagelse af 0,83 g natrium pr $\text{kg}^{0,75}$, hvilket er 15 gange større end behovet og svarende til niveauet i den foreliggende undersøgelse, er korrelationerne beregnet til henholdsvis $r^2 = 0,99$ mellem vand- og tørstofoptagelse og $r^2 = 0,04$ mellem vand- og natriumoptagelse.

Tabel 5.15 viser F-værdierne for variansanalyser på de forskellige urinparametre samt optagelse af drikkevand. Som det fremgår, har fodringen med ludet halm medført en højsignifikant forøgelse i udskillelsen af alkalimetaller, samt i urin-pH og osmolalitet, medens diuresen og indtagelse af drikkevand ikke har været påvirket.

Tabel 5.16 viser mineralstofsammensætningen i gødningen. Selv om udskillelsen af natrium var 2,5 gange større ved fodring med ludet

Tabel 5.16 Mineralstofsammensætningen i gødning (mmol/kg tørstof)

Table 5.16 Mineral composition in faeces (mmol per kg dry matter)

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
Natrium (Sodium)	87	207	204	255
Kalium (Potassium)	51	37	48	121
Calcium	588	641	434	479
Magnesium	65	85	94	106
Klorid (Chloride)	11	13	8	10
Fosfor (Phosphorus)	246	295	326	381
Nettobase, mækv/kg tørstof (Net base, meqv per kg dry matter)	993	1137	833	801
Tørstof, g/dag (Dry matter, g per day)	280	284	239	297

halm, var den tilsyneladende fordøjelighed alligevel størst hos disse dyr, nemlig ca 90% (se tabel 5.1 og 5.2). For de øvrige mineralstoffer var forskellene i relation til fodringen uvæsentlige, hvilket viser, at optagelse af base ikke generelt influerer på fordøjelsen af mineralstoffer. Den forøgede udskillelse af magnesium i gødningen afspejler således ikke en lavere fordøjelighed, men skyldes en større indtagelse af magnesium med de ludedede halmrationer.

Koncentrationen af NB i gødningen var upåvirket af fodringen. Den forøgede indtagelse af NB, som ledsagede optagelsen af ludet halm, absorberedes kvantitativt fra fordøjelseskanalen og udskiltes gennem nyrerne i urinen. Således indeholdt døgnurinen hos disse dyr gennemsnitlig 524 mækv NB, hvilket var ca dobbelt så meget som i gødningen, hvor den gennemsnitlige udskillelse var 278 mækv pr dag.

5.2.7 Mineralstofoptagelsen i relation til den endogene omsætning

Transporten af mineralstoffer og elektrolytter over formavepitellerne er meget større, end hvad der kan forventes ud fra resultaterne vedrørende mineralstofomsætningen før og efter pylorus (tabel 5.5 og 5.6). Tabellerne viser mængden af mineralstoffer og NB, der henholdsvis dagligt optages med foderet og passerer duodenum.

Den endogene tilførsel og tilbageresorption i de respektive afsnit før og efter duodenum har i de her gennemførte forsøg ikke kunnet fastlægges, men de målte koncentrationer viser umiddelbart, at den daglige passage af mineralstoffer er betydeligt større end de mængder, som er tilført med foderet. De endogene kilder før duodenum er spyt og mavesaft, medens bugspyt, galde og tarmsaft er de væsentligste bidragydere i de øvrige afsnit af fordøjelseskanalen.

Tabel 5.17 viser sammensætningen af fårespyt, som angivet i litteraturen. De relativt store forskelle med hensyn til sekretionens størrelse skyldes især foderets beskaffenhed, men forskellige forhold i forbindelse med målingerne har også haft indflydelse. Som udgangspunkt for de følgende teoretiske betragtninger er valgt en daglig spytsekretion på 10 l. Størrelsen er formodentlig i underkanten af den aktuelle, idet de anvendte rationer er rige på stråfoder, der normalt giver en høj sekretion. Som det fremgår af tabellen er natrium den altdominerende kation, der tegner sig for 85-90% af den totale udskillelse af positive ioner.

I sammenligning med plasmaet og ekstracellulærvæsken er natriumkoncentrationen i spyttet ca 30% højere. De mest betydende anioner er fosfat og bikarbonat, der sammenlagt udgør mere end 90% af den samlede koncentration af negative ioner. Spyttets sammensætning svarer således til en bikarbonat-fosfatstødpude. Tabellens sidste kolonne viser den beregnede udskillelse af forskellige ioner ved en spytsekretion på 10 l pr dag. Det fremgår således, at der med spyttet dagligt tilføres vommen 41 g natrium, hvilket er henholdsvis 3 og 30 gange mere end der tilføres med de ludede og ubehandlede halmrationer. Under almindelige fodringsforhold er det derfor kun få procent af vommens natriumindhold, som hidrører fra foderet. Den kontinuerlige og relativt store tilførsel af mineralstoffer med spyttet udgør en naturlig stødpude, som afbøder effekten af eventuelle udsving i foderets mineralstofindhold.

Den høje endogene turnover, som er en kontinuerlig proces, er kun mulig, fordi en række uorganiske ioner bevæger sig reversibelt gennem vomepitelierne, ligesom der foregår en konstant transport af vand ud og ind af vommen. Væskestrømmen, der er forbundet med den aktuelle ion- og elektrolyttransport, andrager hos får ca 2 l/time (Engelhardt, 1970). Transportretningen afhænger for kalium især af koncentrationen i blodet og vomvæsken, medens transporten af natri-

Tabel 5.17 Elektrolytter i spyt. Koncentration (mækv/l) samt beregnet daglig udskillelse (g/dag) og nettobase (mækv/dag) i spyt hos får

Table 5.17 Electrolytes in saliva. Concentration (meqv per l) and calculated daily excretion (g per day) and net base (meqv per day) in saliva from sheep

	Macfarlane	Phillipson	Church	Daglig udskillelse ¹⁾ (Daily excretion)	
				mækv (meqv)	g
Na, mækv/l (meqv per l)	147-190	177	182-189	1770	41
K, " "	6-31	8	5	110	4.3
Ca, " "	10-20	0.4	0.4-0.8	60	1.2
Mg, " "	-	0.6	0.2-0.4	5	0.1
Cl, " "	-	17	9.16	150	5.3
P, " "	90	52	71-79	720	12
HCO ₃ ⁻ , " "	80-90		91-99	900	55
Nettobase, total ²⁾ mækv/l (Net base, total) (meqv per l)	-	117	100-108	1075	-
pH	8.6	8.1	7.7-8.2	-	-
Volumen, l/dag (Volume, l per day)	6-15	1-24	6-14	-	-

¹⁾ Beregnet på grundlag af en spytsekretion på 10 l/dag (Calculation based on 10 l saliva secretion per day)

²⁾ Beregnet ud fra de angivne elektrolytkoncentrationer (Calculation based on electrolyte concentrations given)

Tabel 5.18 Mineralstofftilførsel til vommen med foder og spyt, angivet dels ved total daglig tilførsel (g/dag) og dels ved foderets og spyttets relative andele heraf (%)

Table 5.18 Mineral supply to the rumen by feed and saliva (g per day) and their relative contribution (per cent)

Ration	Total, g/dag (Total, g per day)		Foderandel, % (Proportion from feed, pct.)		Spytandel, % (Proportion from saliva, pct.)	
	A	B	A	B	A	B
Na	42.2	54.6	3	25	97	75
K	6.7	14.9	36	71	64	29
Ca	7.1	7.5	83	84	17	16
Mg	0.5	0.7	80	86	20	14
Cl	7.0	9.0	24	41	76	59
P	14.6	15.3	18	22	82	78
Nettobase ¹⁾ (Net base)	1319	2006	18	46	82	54

¹⁾ mækv/dag (meqv per day)

Tabel 5.19 Koncentration og daglig udskillelse af natrium i fordøjelsessekreter hos får

Table 5.19 Concentration and daily secretion of sodium in digestion secretions of sheep

Sekret	Volumen, l/dag	Konc., mækv/l	Udskillelse, g/dag	% af total
(Secretion)	(Volume, l per day)	(Conc., meqv per l)	(Excretion, g per day)	(Pct. of total)
Spyt (Saliva)	10	177	41	68
Mavesaft (Gastric juice)	6	95	13	21
Bugspyt (Pancreatic juice)	0.4	150	1.4	2
Galde (Bile)	0.8	195	3.6	6
Tarmsaft (Intestinal juice)	0.6	135	1.9	3
I alt (Total)	17.8		60.9	100

For referencer, se Phillipson 1982 (For references, see Phillipson 1982)

Tabel 5.20 Natriumoptagelsen i relation til den totale omsætning

Table 5.20 Sodium intake in relation to the total turnover

	Ration (Ration)			
	A	B	C	D
Foder, g/dag (Feed, g per day)	1.2	13.6	7.9	9.5
Foder + endogent, g/dag (Feed + endogenous, g per day)	62.1	74.5	68.8	70.4
Foderandel, % (Derived from feed, pct.)	2	18	11	13
Sekretandel, % (Derived from secretions, pct.)	98	82	89	87

um og klorid hovedsageligt styres af en aktiv og energikrævende pumpemekanisme (Keynes & Harrison, 1970). Indholdet af natrium i vommen er normalt betydeligt lavere end i blodet og i ekstracellulærvæsken, hvilket bevirker, at der eksisterer en koncentrationsgradient på 4:1 fra interstitiellvæsken mod vommen. Det er omvendt for kalium, hvor der eksisterer en gradient på mindst 20:1 fra vommen mod interstitiellvæsken (Macfarlane, 1975).

Tabel 5.18 viser mineralstofftilførslen til vommen fra henholdsvis spytt og foder. Natrium er uanset fodringen den altdominerende ion i vommen og er til stede i større mængde end alle de øvrige kat- og anioner tilsammen. Desuden er det den ion, som i mindst omfang stammer fra foderet, idet indtil 97% af tilførslen kommer fra spyttet. Fosfatet, der kvantitativt er den næstvigtigste ion i vommen, stammer ligeledes hovedsageligt fra spyttet, som bidrager med indtil 82% af den samlede tilførsel. Generelt er spytandelen større end foderandelen, men det gælder dog ikke for kalcium og magnesium, hvor 15-20% tilføres med spyttet og 80-85% med foderet.

Den daglige sekretion af natrium med mavesaft, bugspytt, galde og tarmsekreter fremgår af tabel 5.19, hvorefter det ses, at betydelige mængder også tilføres fordøjelseskanalen med disse sekreter. Spyttandelen er dog den vigtigste med 41 g/dag, hvilket er mere end dobbelt så meget som de øvrige kilder tilsammen med 19,9 g/dag.

Tabel 5.21 Natrium i plasma og ekstracellulærvæske samt daglig udskillelse i fordøjelsessekreter og ultrafiltrat

Table 5.21 Sodium in plasma, extracellular fluid, daily excretion in endogenous secretions and glomerular filtrate

	Volumen, l (Volume, l)	Natrium (Sodium)	
		mmol/l (mmol per l)	g
Plasma	3	145	10
Ekstracellulærvæske (Extracellular fluid)	12	145	40
Fordøjelsessekreter (Endogenous secretions)	18	148	61
Ultrafiltrat (Glomerular filtrate)	554	145	1847

I alt tilføres 60,9 g natrium pr dag med de forskellige sekreter, der andrager et samlet volumen på 17,8 l. Koncentrationen i de enkelte sekreter varierer meget, idet den f.eks. er 195 mækv/l i galden, hvilket er dobbelt så højt som i mavesaften, hvor den er 95 mækv/l. På grund af de store forskelle i sekretionsvolumenet er det dog især spyt og mavesaft, som har betydning for den samlede tilførsel af natrium.

Tabel 5.20 viser optagelsen af natrium i relation til den totale omsætning. Under normale fodringsforhold udgjorde foderandelen 2% af omsætningen, men ved fodring med ludet halm i rationerne, steg den med 16 procentenheder. På grund af den høje endogene tilførsel medfører selv en 10-dobling i foderet således kun en relativ beskedne stigning af den samlede omsætning.

Tabel 5.21 angiver størrelsen af plasma- og ekstracellulærrummet hos et 50 kg får samt de beregnede volumina, der henholdsvis udskilles med spyt og fordøjelsessekreter og ultrafiltreres i nyrerne. Ca 20% af minutvoluminet passerer gennem nyrerne, hvilket svarer til, at dyrenes totale blodvolumen filtreres i nyrerne hvert 5.-6. minut, eller med andre ord, ca 250 gange i døgnet. Ultrafiltratet andrager således over 500 l i døgnet med et natriumindhold

Tabel 5.22 Daglig indtagelse af natrium i relation til indholdet i plasma, ekstracellulærvæske samt daglig udskillelse i fordøjelsessekreter og ultrafiltrat

Table 5.22 Daily intake of sodium in relation to the content of plasma, extracellular fluid, and the daily amount in the endogenous secretions and the glomerular filtrate

	Ration			
	A	B	C	D
<u>[Na] Foder (Feed)</u>	0.12	1.36	0.79	0.95
[Na] Plasma				
<u>[Na] Foder (Feed)</u>	0.03	0.34	0.20	0.24
[Na] Ekstracel.væske (Extracel.fluid)				
<u>[Na] Foder (Feed)</u>	0.02	0.22	0.13	0.16
[Na] Endogen udskil. (Endogen.excret.)				
<u>[Na] Foder (Feed)</u>	0.0006	0.007	0.004	0.005
[Na] Ultrafiltrat (Glomerular filtrate)				

svarende til ca 1800 g. Størrelsen af den endogene omsætning illustreres ligeledes godt af det forhold, at den endogene sekretion til fordøjelseskanalen udtømmer plasmaets natriumpulje mere end 6 gange i døgnet.

Tabel 5.22 viser den relative betydning af den daglige natriumindtagelse på de samme parametre. Under normalfysiologiske forhold udgør den daglige indtagelse med kontrolrationen således kun 2% af den endogene udskillelse og mindre end 1 promille af indholdet i ultrafiltratet. På de lusede halmrationer udgør den daglige indtagelse mellem 13% og 22% af den endogene sekretion og 0,4-0,7% af den ultrafiltrerede mængde. Ekstrabelastningen af nyrerne ved fodring med luset halm er i alle tilfælde mindre end 1% af den normale filtrerings størrelse.

Tabel 5.23 Mineralstofforsyningen sammenlignet med behovet (g/dag)

Table 5.23 Mineral intake compared to requirement (g per day)

	Daglig indtagelse (Daily intake)				Dagligt behov (Daily requirement) ¹⁾	
	A	B	C	D	% af tørstof (Pct. of dry matter)	g
Na	1.2	13.6	7.9	9.5	0.04-0.10	0.8
K	2.4	10.6	8.8	10.4	0.50	5.5
Ca	5.9	6.3	4.5	4.7	0.21-0.52	4.0
Mg	0.4	0.6	0.8	0.8	0.04-0.08	0.6
Cl	1.7	3.7	3.0	3.2	-	-
P	2.6	3.3	3.9	4.2	0.16-0.37	3.0

1) Til vedligehold ved 60 kg legemsvægt NRC (For maintenance at 60 kg live weight NRC)

Tabel 5.23 angiver for fuldstændighedens skyld behovet for de forskellige mineralstoffer. Natriumbehovet dækkes således af et indhold på 0,04-0,10 % af fodertørstoffet. Natriumoptagelsen med ubehandlet halm er 1,5 gange højere og med ludbehandlet halm 10-15 gange højere end behovet. Det lave behov skyldes dels en høj udnyttelsesgrad, dels en effektiv regulering af den endogene omsætning, hvorved der sker et betydeligt genbrug. Men som vist i dette arbejde, har såvel udnyttelsesgraden som den endogene omsætning været uændret ved fodring med ludet halm, hvor den daglige natriumoptagelse har været på 0,72 g/kg^{0,75} (metabolisk legemsvægt), hvilket er 15 gange højere end behovet.

5.3 Konklusion

Af forsøgets resultater kan følgende hovedkonklusioner drages:

Fodring med ludet halm medførte, at indtagelsen af natrium steg til et niveau, der var ca 15 gange større end behovet.

Overskuddet blev udskilt næsten kvantitativt i urinen, hvor koncentrationen steg med en faktor 100. pH i urinen steg samtidigt fra 5,9 til 8,8 på grund af en høj udskillelse af bikarbonat.

Fodringen påvirkede ikke koncentrationen af mineralstoffer i duodenum. Den meroptagelse af natrium og nettobase, som skete med ludet halm, absorberedes allerede i vommen.

Blodets syre-baseparametre viste signifikante stigninger i pH, standard bikarbonat samt baseoverskud som udtryk for, at fårene havde en svag metabolisk alkalose.

Fodring med ludet halm gav ikke anledning til forøget vandoptagelse, der konstant lå på ca 5 l pr kg optaget tørstof.

Til trods for den relativ høje natriumoptagelse var belastningen beskeden i relation til den totale omsætning. Belastningen udgjorde maksimalt 22% af den endogene udskillelse til mave-tarmkanalen og mindre end 1% af ultrafiltreringsmængden i nyrerne.

5.3 Litteratur

- Ali, C.S., Mason, V.C. & Waagepetersen, J. (1977a). The voluntary intake of pelleted diets containing sodium hydroxide-treated wheat straw by sheep. 1. The effect of the alkali concentrations in the straw. *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde.*, 39, 173-182.
- Ali, C.S., Mason, V.C. & Waagepetersen, J. (1977b). The voluntary intake of pelleted diets containing sodium hydroxide-treated wheat straw by sheep. 2. The effect of the proportion of beet pulp-molasses in the diet. *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde.*, 39, 183-191.
- Ben-Ghedalia, D., Tagari, H., Zamwel, S. & Bondi, A. (1975). Solubility and net exchange of calcium, magnesium and phosphorus in digesta flowing along the gut of the sheep. *Br. J. Nutr.*, 33, 87-94.
- Church, D.C. (1979). Salivary production and function. In: *Digestive physiology and nutrition of ruminants*. (Sec. ed.). Ed.: D.C. Church. O & B Books, Oregon, USA. Vol. 1., 61-68.
- Engelhardt, W.von (1970). Movement of water across the rumen epithelium. In: *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant*. 132-146. Ed.: A.T. Phillipson. Oriel Press, Newcastle upon Tyne, England.

- Grace, N.D., Ulyatt, M.J. & MacRae, J.C. (1974). Quantitative digestion of fresh herbage by sheep III. The movement of Mg, Ca, P, K and Na in the digestive tract. *J. Agric. Sci., Camb.* 82, 321-330.
- Keynes, R.D. & Harrison, F.A. (1970). Transport of inorganic ions across rumen epithelium. In: *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant*. Ed.: A.T. Phillipson. Oriel Press, Newcastle upon Tyne, England. 113-118.
- Kristensen, V. Friis, Andersen, P.E., Stigsen, P., Thomsen, K. Vestergaard, Andersen, H. Refsgaard, Sørensen, M., Ali, C.S., Mason, V.C., Rexen, F., Israelsen, M. & Wolstrup, J. (1978). Natriumhydroxyd-behandlet halm som foder til kvæg og får. 464. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg, København. 218 pp.
- Longhurst, W.M., Baker, N.F., Connolly, G.E. & Fisker, R.A. (1970). Total body water and water turnover in sheep and deer. *Am. J. Vet. Res.*, 31, 673-677.
- Macfarlane, W.V. & Howard, B. (1970). The ecophysiology of water. In: *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant*. Ed.: A.T. Phillipson. Oriel Press, Newcastle upon Tyne, England. 362-374.
- Macfarlane, W.V. & Howard, B. (1972). Comparative water and energy economy of wild and domestic mammals. *Symp. Zool. Soc., London.* 31, 261-296.
- Macfarlane, W.V. (1975). Distribution and dynamics of body fluids in sheep. In: *The blood of sheep, composition and function*. Ed.: M.H. Blunt. 2-27.
- Phillipson, A.T. (1982). Ruminant digestion. In: *Duke's Physiology of Domestic Animals*. 9th edition. Ed.: M.J. Swenson. Comstock publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca, USA. 250-286.
- Scott, D. & Buchan, W. (1981). Changes in blood composition and urinary mineral excretion in the sheep in response to acute acid-base disturbance. *Res. Vet. Sci.*, 31, 43-47.
- Siggaard-Andersen, O. (1962). Acute experimental acid-base disturbances in dogs. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 14, 598-604.
- Ørskov, E.R. (1982). Protein nutrition in ruminants. 160 pp. Academic Press, London.

APPENDIKS

DEFINITIONER OG ANVENDTE FORKORTELSER

ADF (Acid Detergent Fibre). Kemisk adskilt cellevægsfraktion, der er uopløselig i en detergent (fedtopløsende) opløsning ved surt pH (van Soest). Sammensætningen afhænger af plantemateriale og forudgående behandling, f.eks. ludning.

Alkalose. Abnorm fysiologisk tilstand med forhøjet pH, P_{CO_2} og bikarbonatkonzentration i blodet. Metabolisk alkalose kan enten skyldes for stor indtagelse af basiske stoffer eller tab af syre.

BE (base excess = baseoverskud). Den mængde stærk syre (eller base), som skal tilføres oxideret blod under standardbetingelser (CO_2 -partialtryk på 40 mmHg, $37^\circ C$) for at give det et pH på 7.40. Udtrykkes i mmol/l og kan både være positiv, 0 eller negativ.

Cellulose. Polysakkarid, der er opbygget af beta-glykoseenheder. Indgår i opbygningen af plantecellevægge.

Duodenal passage. Mængden af det stof, der pr tidsenhed (her 24 timer) passerer ind i duodenum (tolvfingerarmen) ved det punkt, hvor prøver af tarmindeholdet er udtaget (her 10 - 15 cm efter pylorus).

Essentielle aminosyrer. Aminosyrer, der indgår i proteiner, men som ikke kan dannes af organismen selv. Hertil hører histidin, isoleucin, leucin, lysin, methionin, fenylalanin, treonin, tryptofan og valin. Desuden regnes i denne beretning følgende aminosyrer med til de essentielle: cystein, der kun kan dannes ud fra methionin; tyrosin, der kun kan dannes ud fra fenylalanin, og arginin, der kun kan dannes i urinstofcyklus en, hvor den atter forbruges.

Fedt (Stoldt). Organiske stoffer (triglycerider, fedtsyrer, kolesterol m.m.), der kan ekstraheres med æter efter en forudgående hydrolyse ved kogning med 3 N saltsyre.

Hemicellulose. Polysakkarid, der er opbygget af pentose- og/eller hexoseenheder. Indgår i opbygningen af plantecellevægge. De indgående sukkerenheder og kombinationer i molekylerne er karakteristisk for det plantemateriale, hvori det forekommer (i bygghalm udgør xylose og arabinose omkring 95% af hemicellulosen). Klassisk definition: Cellevægspolysakkarid, der er opløselig i en basisk opløsning efter fjernelse af vandopløselige kulhydrater. Hemicellulosen er vanskelig at bestemme ved simple kemiske metoder, men bestemmes undertiden (unøjagtigt) som NDF + ADF eller NFE + LHK. En korrekt bestemmelse kan dog kun foretages ved en fuldstændig kulhydratanalyse efter nedbrydning til de enkelte monosakkarider (xylose, arabinose, galaktose og mannose) og glucuronsyre og påfølgende adskillelse og identificering.

Hexose. Monosakkarid, der indeholder 6 kulstofatomer. Danner normalt 6-leddede ringforbindelser, f.eks. glykose, galaktose og mannose, men kan også danne 5-leddede ringforbindelser, f.eks. fruktose.

Ikke-essentielle aminosyrer. Aminosyrer, der dannes ud fra almindeligt forekommende mellemprodukter i kulhydratstofskiftet, idet aminogruppen i de fleste tilfælde kommer fra NH_4^+ via glutaminsyre. Hertil hører alanin, asparagin, asparaginsyre, glutamin, glutaminsyre, glycin, prolin og serin. Se også essentielle aminosyrer

Lignin. Højmolekylær fenylforbindelse, der er opbygget af fenylpropanenheder, der er dannet ud fra cinnamylalkoholerne coniferyl-, sinapyl- og para-cumarylalkohol. Danner et tredimensionalt netværk i plantecellevægge med kemiske bindinger til cellulose og hemicellulose. Er vanskelig at isolere ved simple kemiske metoder, men bestemmes undertiden (unøjagtigt) som ADF + cellulose. Klasonlignin: bundfaldet efter en flerleddet procedure, bestående af 1. ekstraktion med 80% alkohol, 2. ekstraktion med hexan og

3. rystning med 12 M svovlsyre efterfulgt af kogning med fortyndet svovlsyre under tryk ved 125°C (Theander & Åman, 1979).

NB (Nettobase). Forskellen mellem basiske enheder og sure enheder beregnet som differencen mellem summen af henholdsvis positive og negative ioner, der ikke har syre-basekarakter. Udtrykkes i mækv (miliækvivalenter).

NDF (Neutral Detergent Fibre). Kemisk adskilt cellevægsfraktion, der er uopløselig i en detergent (fedtopløsende) opløsning ved neutralt pH (van Soest). Sammensætningen afhænger af plantemateriale og forudgående behandling, f.eks. ludning.

NFE (Kvælstoffrie ekstraktstoffer). Kulhydratfraktion, der er beregnet ud fra organisk stof + (fedt(Stoldt) + træstof(Weende) + råprotein ($N \times 6.25$)). Indeholder S+S (LHK) og en del hemicellulose og lignin.

Nyrernes tærskelværdi. Den største koncentration i hvilken et eller andet stof kan forekomme i blodet, før det begynder at udskilles i urinen.

Osmolalitet. Koncentrationsbetegnelse for mængden af opløste partikler pr kg vand. Udtrykkes i mOsmol/kg.

Pentose. Monosakkarid, der indeholder 5 kulstofatomer og danner 5-leddede ringforbindelser, f.eks. ribose, xylose, arabinose og rhamnose.

Pektin. Polysakkarid, der er opbygget af pentose- og/eller hexose-enheder. Almindeligt forekommende er galakturonsyre, der er et syrederivat af galaktose. Indgår i plantecellevægge.

pH. Almen betegnelse for brintionens (H^+) koncentration (surhedsgraden), der er af afgørende betydning for alle enzymatiske processer. pH-værdier under 7 er sure, omkring 7 neutrale og over 7 basiske. I blodet er pH meget konstant på ca 7,4, men i maven hos enmavede dyr og i løben hos drøvtyggere varierer pH mellem værdier på 1-4, medens den i tarmkanalen er på 6-8.

Plantefibre. Højmolekylære kulhydrater (polysakkarider) eller ligniner, der indgår i opbygningen af plantecellevægge, og som ikke fordøjes af tarmkanalens egne enzymer, men kan i varierende grad nedbrydes af bakterier i vommen og i tarmkanalen.

Polysakkarid. Højmolekylært kulhydrat, der er opbygget af monosakkarider. Opbygningen kan være kædeformet, forgrenet eller et tredimensionalt netværk.

Protein. Almindeligvis beregnet som $N \times 6,25$, hvorved alle kvælstofholdige forbindelser medregnes som protein (råprotein). Betegnelsen renprotein anvendes undertiden for den del af de N-holdige stoffer, der kan bundfældes med trikloredikesyre, hvorved der ses bort fra frie aminosyrer og ikke fældbare peptider. Den del af kvælstoffet, der ikke indgår i renproteinfraktionen, kaldes da NPN (non-protein-N). Da det er foderets indhold af aminosyrer (uanset om de er frie eller indgår i peptider), der danner grundlag for dyrenes proteinsynteser, vil de ovennævnte beregninger ofte være misvisende ved vurdering af de potentielle muligheder herfor - specielt dog i enmavede dyr. I denne beretning betragtes protein som det totale aminosyreindhold, medens NPN udgør de N-forbindelser, der ikke er aminosyrer, dvs. først og fremmest nukleinsyrer, urinstof og ammoniak og i mindre omfang aminosukre, alkaloider, vitaminer m.m.

RCH (rest-kulhydrat). Beregnet som organisk stof minus summen af protein, fedt og S+S. Indeholder alle polysakkarider i planternes cellevægsstoffer, der kræver mikrobiel nedbrydning, samt de ufordøjelige dele.

Rørsukker. Disakkarid, der består af glykose og fruktose. Findes især i sukkerrør og sukkerroer (kaldes derfor også roesukker).

S+S (LHK) Sukker og stivelse. Betegnes også som LHK = lethydrolyserbare kulhydrater (inkl. letopløselige kulhydrater) og betragtes som fordøjeligt kulhydrat for fjerkræ og svin. Fordøjelige polysakkarider (stivelse og/eller inulin) nedbrydes ved autoklavering og hydrolyse med enzymet amyloglucosidase til monosakka-

rider. Derefter bestemmes det totale sukkerindhold spektrofotometrisk på grundlag af de farvede forbindelser, der dannes efter reaktion mellem anthrone og monosakkaridernes furfuralderivat (der i forvejen er dannet ved tilsætning af konc. svovlsyre).

Standard bikarbonat. Koncentrationen af hydrogenkarbonat i plasma fra fuldblod, som ved 37°C er i ligevægt med en gas, der indeholder CO₂ og O₂ med henholdsvis P_{CO₂} = 40 mmHg og P_{O₂} > 100 mmHg.

Stivelse. Polysakkarid, der er opbygget af alfa-glykoseenheder. Opbygningen kan være kædeformet (amylose) eller forgrenet (amylopektin). Findes som oplagsnæring i plante-og bakterieceller.

Træstof. Udtryk for plantefibre, der er bestemt efter Weende metoden: Hydrolysering og fjernelse af proteiner og kulhydrater med kogende 0,26 N svovlsyre efterfulgt af hydrolysering og fjernelse af fedt ved kogning med 0,23 N kaliumhydroxyd.