

Statens forsøgsstation ved Ødum (K. G. Mølle)

## Undersøgelser over iltningsskader i ensilage

*Investigations on oxidation damage in silage*

E. J. Nørgaard Pedersen

### I. Indledning

Ved forsøg, hvor ensilering i stakke er sammenlignet med ensilering i gode siloer, er vist, at ensileringstabet sædvanligvis er langt størst ved stakensilering (*Land Jensen, Nørgaard Pedersen, Møller og Skovborg, 1969*). De meget store ekstra tab i stakke kan formentlig kun forklares ved, at der ved stakensilering nedbrydes store stofmængder ved iltningprocesser under nedlægningen og i løbet af ensileringsperioden.

I praktisk ensilering spiller iltning en stor – alt for stor – rolle. Undersøgelser udført af landboforeningernes ensilageudvalg i samarbejde med statens forsøgsstation ved Ødum viste således, at af 500 ensilageprøver udtaget i praksis i årene 1966-68 var hovedparten mere eller mindre skadet ved iltning (*Olesen, Hedegaard og Hostrup, 1969*), og der er grund til at formode, at mislykket ensilering oftest direkte eller indirekte skyldes, at iltningprocesser har fået et for stort omfang.

De ovennævnte forsøg viste endvidere, at de sædvanligt anvendte mål for ensilagekvalitet, At, pct. eddikesyre og pct. smørsyre delvis svigter ved vurdering af iltskadet ensilage, idet den ubeskadigede ensilage ofte har et højere At og et højere indhold af flygtige syrer end den tydeligt skadede ensilage. Et bedre mål for beskadigelsen fås ved at betragte mælkesyreindholdet, der i alle tilfælde er højest i den bedste ensilage. Da pH i ensilage i meget høj grad er betinget af mælkesyrekoncentrationen, bliver også pH et ret sikkert mål for iltbeskadigelsen.

Ved sammenligning af laboratorieforsøg med forsøg i praktisk skala, men under gode forhold, fandt *Zimmer (1969)*, at tabet af tørstof

gennemsnitligt var ca. 5 pct. højere i den sidstnævnte gruppe, hvilket han formodede skyldtes tab ved iltningprocesser.

Til trods for den store betydning iltningprocessernes omfang har for ensileringsresultatet, er der kun udført få direkte undersøgelser over iltningens indvirkning på ensileringsprocesserne. *Wieringa, Schukking, Kapelle og de Haan (1961)* viste, at ved ensilering under praktiske forhold var råproteinets fordøjelighed bestemt med pepsin-saltsyre faldende med stigende ensileringstemperatur, medens dette ikke var tilfældet ved laboratorieforsøg. Årsagen til denne forskel antoges at være, at høj temperatur i praksis oftest er en følge af iltningprocesser, medens de høje temperaturer i laboratoriet var opnået i termostat. Ved efterfølgende laboratorieforsøg, hvor ensilagen blev iltet i en eller to dage, viste der sig da også en tydelig nedgang i proteinets fordøjelighed. I de samme forsøg vistes, at iltningen også havde en tydelig indflydelse på gæringsprocessernes forløb.

Ved laboratorieforsøg fandt *Zimmer (1964)*, at gennemledning af luft i de første dage af ensileringsperioden i mængder svarende til ialt ca. 4 g ilt pr. 100 g tørstof gav en tydelig forringelse af ensilagekvaliteten og en forøgelse af kuldioxidudviklingen og dermed en forhøjelse af ensileringstab.

I de seneste år er iltningproblemet taget mere systematisk op i Völkenrode efter indretningen af »Die Völkenroder Bilanzanlage«, et meget veludstyret ensileringsanlæg bestående af 6 lufttætte siloer, hvor luftindgang og -udgang i hver enkelt silo kan kontrolleres og luftens sammen-

sætning bestemmes. Der er søgt tilnærmet praktiske forhold, hvorfor siloerne er temmelig store. Anlægget er indgående beskrevet af *Honig* (1968). I dette anlæg er i 1967 og 1968 udført forsøg med lucerne og rajgræs (*Honig* 1969). I disse forsøg tilførtes dagligt luftmængder svarende til 0, 19 og 52 l ilt pr. 100 kg tørstof i hele ensileringsperioden, 95 dage. Hovedresultatet af disse forsøg var, at kuldioxidudviklingen steg lineært med lufttilførslen. Iltningen forårsagede en ret betydelig temperaturstigning, en forøgelse af tørstoftabet og en nedgang i fordøjeligheden af organisk stof. Tabet af foderenheder (stivelsesværdi) var 1.45 til 1.65 gange så stort som tørstoftabet. Råproteinets fordøjelighed var ikke påvirket af iltningen. Iltningen medførte en nedgang i ensilagens indhold af mælkesyre og alkohol og en stigning i eddikesyreindholdet, medens smørsyreindholdet var upåvirket. Bemærkelsesværdigt er det, at den iltskadede ensilage efter udtagning af siloen var langt mindre holdbar end den ubeskadigede ensilage, hvilket forfatteren antager skyldes et meget højt indhold af gærsvampe.

## II. Forsøgsplan, teknik og analyser

Der er udført ialt 3 forsøg: (1) med bederoetop, (2) med italiensk rajgræs og (3) med kløvergræs. Forsøgsplaner for de 3 forsøg er vist i følgende skema.

Som siloer benyttedes i forsøg (1) og (2) 4 l glasflasker og i forsøg (3) 20 l plastikdunke. Ilten udmålte i glasflasker eller glasballoner og blev tilført så hurtigt, den kunne forbruges. Den ved gæring og/eller iltning dannede kuldioxid absorberedes i kaliumhydroxidopløsning. Forsøgsopstillingen fremgår af fig. 1. I forsøg (1) og (2) var siloerne uden isolation, hvorfor den ved iltningen dannede varme meget hurtigt bortledes, således at det må antages, at ensilagen har haft lufttemperatur. I forsøg (3) var siloerne derimod isoleret på alle sider med ca. 30 cm glasuld, og der målte i dette forsøg en meget betydelig temperaturstigning.

Afgrøden blev findelt med kødhakkemaskine, i forsøg (1) med 20 mm hulskive i de to

Forsøgsled	g ilt tilsat pr. 100 g tørstof		
	Forsøg (1)	Forsøg (2)	Forsøg (3)
Treatment	g oxygen added per 100 g dry matter		
	Experiment	Experiment	Experiment
	(1)	(2)	(3)
1	0.20 <sup>1)</sup>	0.12 <sup>2)</sup>	0.12 <sup>2)</sup>
2	1.58	1.28	2.35
3	2.96	2.43	4.53
4	5.76	4.72	7.42
5	11.24	7.01	14.66
6	22.28	13.89	21.89
7	32.54 <sup>3)</sup>	27.64	30.58
8	32.10 <sup>3)</sup>	41.40	42.88
9			56.63
10			ca. 60.00 <sup>3)</sup>

1. Ilt i atmosfærisk luft.
2. Det var planlagt at tilføre 44.4 og 66.5 g ilt pr. 100 g tørstof til henholdsvis led 7 og 8, men der nåedes kun at forbruge de anførte mængder i forsøgsperioden.
3. Det var planlagt at tilføre 72.5 g ilt pr. 100 g tørstof, men forbruget blev kun ca. 60 g.
  1. Oxygen in atmospheric air.
  2. It was planned to add 44.4 and 66.5 g oxygen per 100 g dry matter to treatment 7 and 8 respectively, but the consumption reached only the stated values.
  3. It was planned to add 72.5 g oxygen per 100 g dry matter, but the consumption reached only about 60 g.

øvrige forsøg med 8 mm hulskive. Den ensilerede afgrødemængde var i forsøg (1), (2) og (3) henholdsvis 3.0, 2.0 og 10.0 kg.

I afgrøde og ensilage bestemtes tørstof, aske, sand, råprotein, renprotein og vandopløseligt kulhydrat (i forsøg (1) dog ikke vandopløseligt kulhydrat). I ensilagen desuden mælkesyre, eddikesyre, smørsyre, alkohol, ammoniak-N og pH. Flygtige syrer bestemtes såvel i frisk som tørret ensilage, og tørstofprocenten i ensilage er korrigeret for fordampning af disse syrer. Endvidere er korrigeret for fordampning af alkohol, der regnes at fordampe 100 pct. Det var planlagt at bestemme den udviklede mængde kuldioxid ved titrering af kaliumhydroxidopløsningen, men dette mislykkedes i nogle tilfælde, i forsøg (3) totalt, på grund af spild af kaliumhydroxid gennem defekte gummislanger. (Ved forsøgene er det erfaret, at kun slanger af P.V.C. eller silicongummi er tilstrækkelig holdbare til formålet).

Forsøg (1) blev anlagt 7. nov. 1966 og afsluttet 10. maj 1967. Ensileringen skete ved ca.

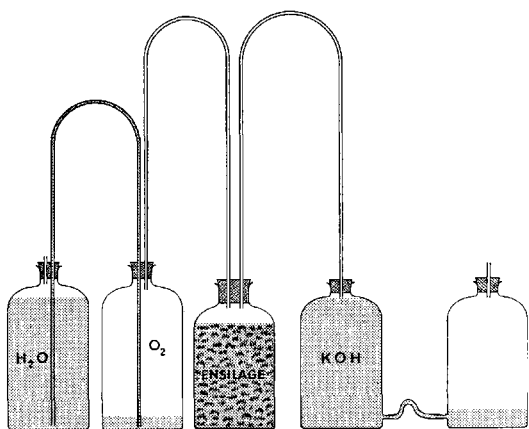


Fig. 1. Forsøgsopstilling. Flaskerne er forbundet med PVC-slanger. Ved skiftevis at hæve og sænke de to yderste flasker presses ilt eller iltblandet luft over i ensilagen og CO<sub>2</sub>-blandet luft over i KOH-flasken, hvor CO<sub>2</sub> absorberes kvantitativt.

Da der kun udvikles meget små mængder af andre luftarter end CO<sub>2</sub>, kunne den forbrugte mængde ilt til enhver tid bestemmes som differens mellem det tilsatte rumfang og lufrumfanget i ilt- og KOH-flaskerne med en sikkerhed på ca. 2 liter, hvilket er en relativt god sikkerhed.

Fig. 1. Experimental set up. The bottles are connected with PVC-tubes. When the two outermost bottles alternately are raised and lowered oxygen or air mixed with oxygen is pressed into the silage bottle and the evolved CO<sub>2</sub> into the KOH-bottle where it is quantitatively absorbed. As the amount of gases evolved other than CO<sub>2</sub> was very small, the volumen of oxygen added could at any time be estimated as the volumen added minus air-volumen in the O<sub>2</sub>- and KOH-bottles with an accuracy of about 2 litre.

10° C. Lufttemperaturen faldt derefter langsomt og ved indtrædende frost den 22. dec. blev siloerne flyttet over i et rum med konstant temperatur, ca. 15° C. Forsøg (2) blev anlagt 15. juni 1967 og afsluttet 28. aug. 1967. Forsøg (3) blev anlagt 4. okt. 1967 og afsluttet 7. maj 1968, idet dog silo 10 først blev tømt 10. sept. 1968. Ved forsøgets anlæg var lufttemperaturen ca. 13° C. I løbet af ca. 10 uger faldt temperaturen langsomt mod frysepunktet. Derefter blev opbevaringsrummet opvarmet så meget at frost netop blev undgået.

### III. Forsøgsresultater

#### A. Iltningshastigheden

Foruden kuldioxid dannedes der i de fleste forsøgsled luftarter, som ikke absorberedes i kaliumhydroxidopløsningen, men i så ubetydelige mængder, at iltforbruget til enhver tid kunne bedømmes med meget god sikkerhed. I fig. 2 er vist iltforbruget i de første 100 dage. I forsøg (1) går iltningen i begyndelsen meget langsomt, hvilket må tilskrives den lave temperatur. Efter flytningen af siloerne til et rum opvarmet til 15° C stiger iltningshastigheden stærkt og når i en periode af ca. 30 dage op på 0.5 g ilt pr. 100 g tørstof pr. døgn. Herefter falder iltningshastigheden stærkt, og er ved slutningen af forsøgsperioden (ialt ca. 180 døgn) mindre end 0.1 g ilt pr. 100 g tørstof pr. døgn. I forsøg (2) går iltningen de første 6-7 dage meget langsomt, men tager derefter voldsomt fart og i de næste ca. 10 dage ligger iltforbruget mellem 2.5 og 3.0 g pr. 100 g tørstof pr. døgn. Derefter aftager iltningshastigheden stærkt, og i de sidste 30 dage af forsøgsperioden er forbruget kun ca. 0.3 g pr. 100 g tørstof pr. døgn. I forsøg (3) går iltningen de første 4-5 dage forholdsvis langsomt. Herefter stiger iltningshastigheden ligesom i forsøg (2) meget stærkt, og i de næste 10-15 døgn er iltforbruget ca. 3 g pr. 100 g tørstof pr. døgn. Herefter falder iltningshastigheden brat, og er i den sidste del af ensileringsperioden (ialt ca. 330 døgn) mindre end 0.02 g ilt pr. 100 g tørstof pr. døgn.

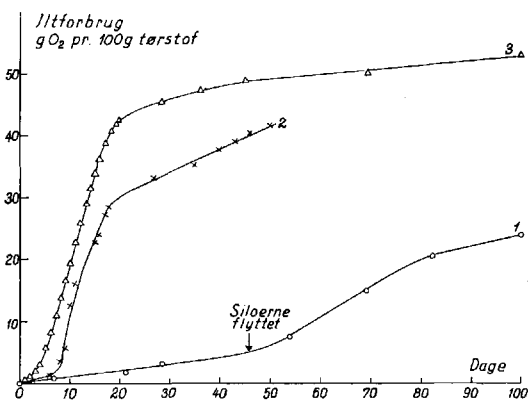


Fig. 2. Iltforbruget i de første 100 dage.

Fig. 2. The oxygen consumption in the first 100 days.

Det ses, at både i forsøg (2) og (3) kommer iltningen ret langsomt i gang. Derefter kommer en periode på 10-15 dage med stor iltningshastighed, ca. 3 g ilt pr. 100 g tørstof pr. døgn. At iltningshastigheden i de to forsøg er omtrent ens selv om temperaturen i forsøg (2) var under 20° C og i forsøg (3) over 60° C tyder på, at et forbrug på 3 g ilt pr. 100 g tørstof pr. døgn er meget nær den maximale iltningshastighed, der kan nås. Efter denne periode med stærk iltning falder iltningshastigheden meget brat og meget stærkt, hvilket viser for det første, at alt letomsætteligt stof bortiltes i løbet af ca. 14 dage, og for det andet, at der er et skarpt skel mellem let omsætteligt og tungt omsætteligt stof.

Forsøg (1) viser et tilsvarende billede, men på grund af den lavere temperatur er nedbrydningshastigheden langsommere. Men vigtigt er det formentlig også, at medens græsafgrøderne i forsøg (2) og (3) dannede porøse masser, som ilten let trænger ind i, dannedes der hurtigt ovenpå roetoppen i forsøg (1) et slimet fugtigt lag, som er vanskeligt gennemtrængeligt for ilt.

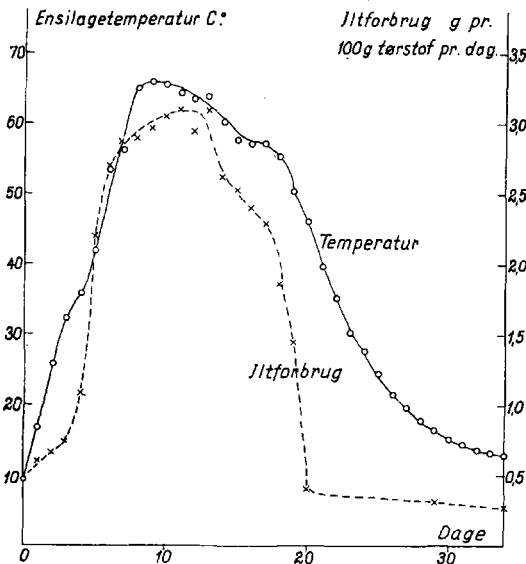


Fig. 3. Iltforbruget pr. dag og ensilagetemperatur.  
Fig. 3. Oxygen consumption per day and silage temperature.

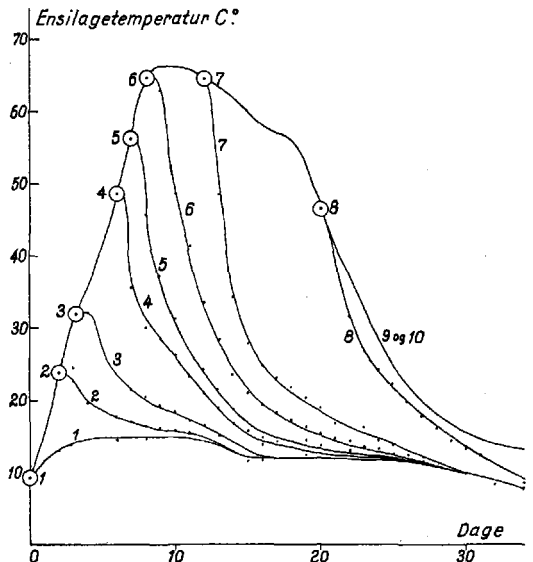


Fig. 4. Ensilagetemperaturen i de første 34 dage.  
Fig. 4. The silage temperature in the first 34 days.

#### B. Temperaturen

I forsøg (3) var siloerne som tidligere nævnt isolerede med 30 cm glasuld, og i dette forsøg ledsagedes iltningen af en meget stærk temperaturstigning. I fig. 3 er ensilagetemperaturen i de første 34 dage af ensileringsperioden vist (gennemsnit af silo 9 og 10). Endvidere er vist det daglige iltforbrug i samme tidsrum. Det ses umiddelbart, at der er en meget nær forbindelse mellem iltforbrug og temperatur. Den nære forbindelse mellem iltning og temperatur ses endnu tydeligere af fig 4, hvor temperaturen i de første 34 dage er vist for alle forsøgsled. Med cirkler er for hvert forsøgsled markeret det tidspunkt, hvor den tilsatte iltmængde skønnes at være næsten opbrugt. Det ses, at så snart ilten er forbrugt falder temperaturen brat. Det bemærkes, at også i siloen uden ilttilførsel er der en svag temperaturstigning, men kun ca. 4° C, hvilket er af helt underordnet betydning sammenlignet med den temperaturstigning, som iltningen kan forårsage.

#### C. Sammenhængen mellem iltningegrad og ensilagens kemiske sammensætning og kvalitet

##### 1. Ensilagens tørstofprocent

Ved iltningen omdannes organiske stoffer til

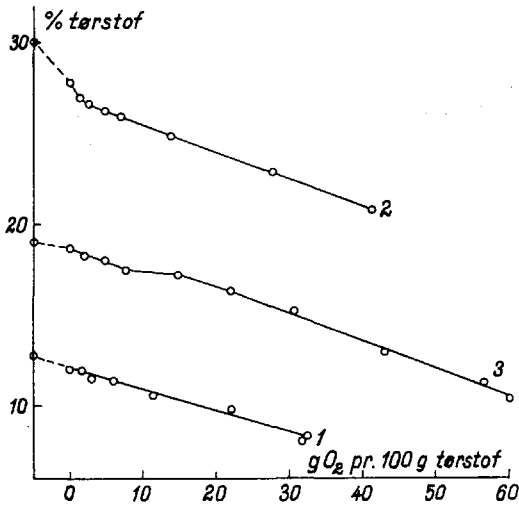


Fig. 5. Relationen mellem tilført ilt og ensilagens tørstofprocent.

Fig. 5. The relationship between supplied oxygen and per cent D.M.

kuldioxid, vand og forskellige andre nedbrydningsprodukter, hvorfor tørstofprocenten vil falde med tiltagende iltning. I fig. 5 er sammenhængen mellem iltningegrad og ensilagens tørstofprocent vist. På ordinaten er afgrødens tørstofindhold markeret. Det ses, at uden iltning sker der et vist fald i tørstofprocenten, og at tørstofprocenten derefter falder ret jævnt med tiltagende iltningegrad.

## 2. Foderanalysen

Som tidligere omtalt, er det de lettest omsættelige stoffer, der først nedbrydes ved iltningen, og det må derfor forventes, at iltning vil forårsage betydelige ændringer i relationen mellem stofgrupperne. I fig. 6 er for de tre forsøg vist resultatet af foderanalysen. På ordinataksen er afgrødens indhold markeret. Det ses, at ved ensilering uden ilttilgang er der et ret betydeligt fald i indholdet af kvælstoffri ekstraktstoffer og en stigning i indholdet af aske, råprotein og træstof. Ved ilttilførsel falder indholdet af kvælstoffri ekstraktstoffer yderligere og indholdet af de andre stoffer stiger. For askeindholdets vedkommende gælder, at hele stigningen formentlig kan tilskrives nedbrydningen af organisk

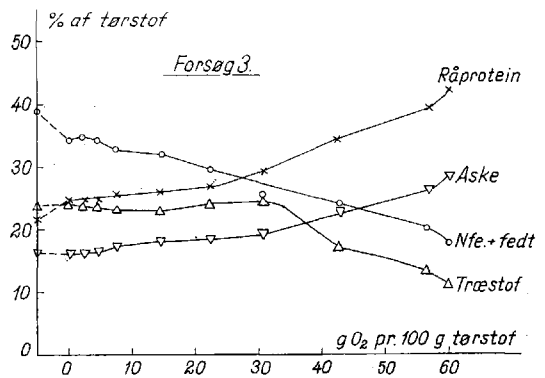
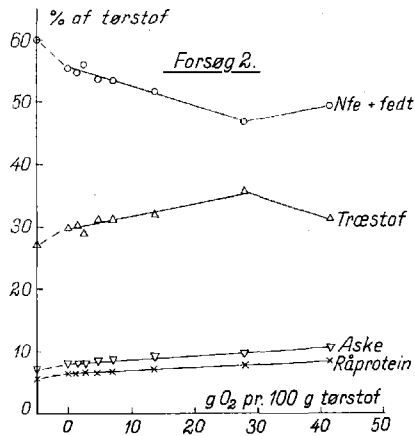
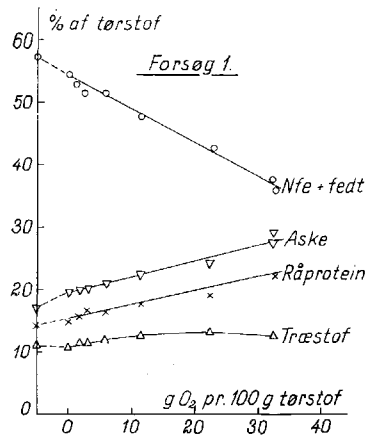


Fig. 6. Ensilagens kemiske sammensætning.

Fig. 6. The chemical composition of silage.

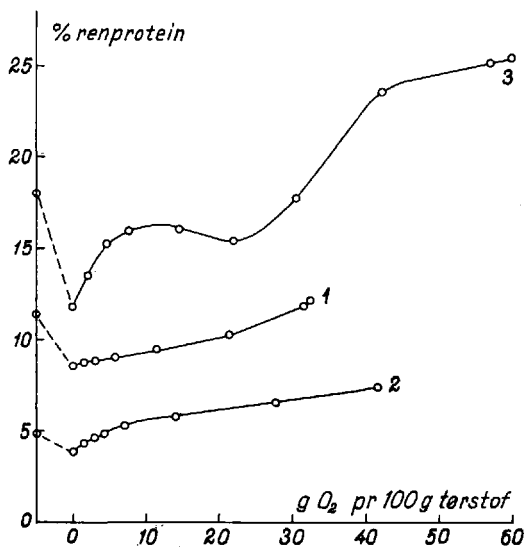


Fig. 7. Renprotein i ensilage.

Fig. 7. True protein in silage.

stof, idet mængden af mineralstof må antages upåvirket af iltningen, hvorfor den relative mængde vil stige, når mængden af organisk stof formindskes. Det samme gælder råprotein, idet denne fraktion er defineret som total-N  $\times$  6.25 og kvælstoftabet i luftformige forbindelser ved ensilering sædvanligvis er ringe<sup>1</sup>.

For indholdet af træstof og kvælstoffri ekstraktstoffer kompliceres årsagssammenhængen betydeligt. For det første vil helt eller delvis omsat træstof ved foderanalysen kunne indgå i gruppen kvælstoffri ekstraktstoffer, hvilket vil formindske det tilsyneladende tab i denne gruppe. For det andet vil der ske en opformering af mikroorganismer. En del af mikroorganismernes cellebestanddele vil ved foderanalysen indgå i træstof. Da opbygningen af mikroorganismer må antages i det væsentligste at ske på basis af kvælstoffri ekstraktstoffer og råprotein, bevirker den mikrobielle opbygning, at det tilsyneladende tab af kvælstoffri ekstraktstoffer forøges og det tilsyneladende tab af træstof formindskes. (Råproteinindholdet vil være upåvirket af omsætningen, da denne fraktion, som nævnt, er defineret ved kvælstofmængden).

1) Det bemærkes, at der ved forsøgene ikke var saftafløb.

Af fig. 7 fremgår at for renproteinets vedkommende gør der sig helt særlige forhold gældende. Ved ensilering uden ilttilgang falder indholdet temmelig stærkt, men faldet *formindskes* ved stigende ilttilførsel. Den stærke nedbrydning af renprotein, som iltningen utvivlsomt forårsager, kompenseres altså helt eller delvis af en opbygning af renprotein i mikroorganismer.

### 3. Ensilagens kvalitet

#### a. Skønsømmæssig bedømmelse

I forsøg (1) var de svagest iltede ensilager af fin kvalitet. Det var tydeligt, at iltningen især angreb det øverste lag af ensilagen, idet der øverst dannedes en mørk zone, som med tiltagende iltning blev dybere og mørkere. Ensilagen i de fire første forsøgsled kunne næppe skelnes fra hinanden, dog havde ensilagen i led 3 og 4 en lidt stærkere lugt og var lidt mørkere i det øverste lag end ensilagen i led 1 og 2. I led 5 var ensilagen svagt slimet og havde en rådden lugt og må betegnes som meget dårlig. I led 6, 7 og 8 var det øverste lag helt sort og al ensilagen slimet og rådden med møddingslugt og måtte betegnes som ubetinget kassabel.

I de to øvrige forsøg syntes hele ensilage-mængden at være ens påvirket af iltningen, og der var således ingen lagdeling af ensilagen. I forsøg (2) var de svagt iltede ensilager af meget fin kvalitet. Ved syn og lugt kunne de otte ensilager næppe skelnes fra hinanden, men konsistensen bleve mere og mere blød fra led 1 til 8. Ensilagen i led 6 var meget blød og slimet, næsten kassabel. I led 7 og 8 var ensilagen endnu mere blød og slimet og var absolut kassabel. I forsøg (3) var ingen af ensilagerne af god kvalitet. På de svagest iltede ensilager var der kun ringe forskel. I led 5 var iltningsskaden meget tydelig og ensilagen af ringe kvalitet. De stærkere iltede ensilager var alle kassable, i led 9 og 10 endog helt sorte og næsten flydende.

I alle tre forsøg er der således stort set opnået samme resultat. Tilførsel af indtil ca. 5 g ilt pr. 100 g tørstof har tilsyneladende ikke påvirket kvaliteten væsentligt. Ved tilførsel af større mængder forringes kvaliteten og ved tilførsel af ca. 15 g ilt pr. 100 g tørstof blev ensi-

lagen meget ringe, næsten kassabel. I alle tre forsøg var ensilagerne i de led, der blev tilført over 20 g ilt pr. 100 g tørstof, kassable.

**b. Bedømt ud fra kvalitetstallene**

Af særlig interesse er det, hvilken relation der er mellem tilført iltmængde og de sædvanligt anvendte mål for ensilagekvalitet. I fig. 8 er vist indholdet af mælkesyre, eddikesyre, smørsyre, alkohol og vandopløseligt kulhydrat (vandopl. kulhydrat kun i forsøg (2)) og i fig. 9 er vist At og pH.

I forsøg (1) (fig. 8 og 9), hvor afgrøden var roetop, har en svag iltningen bevirket et stærkt fald i mælkesyreindhold og en stigning i eddikesyre-, smørsyre- og alkoholindhold. Samtidig stiger pH en del, medens At er upåvirket. Ved yderligere tilførsel af ilt sker ingen større ændringer, før ilttilførslen når ca. 5 g pr. 100 g tørstof, hvorefter der sker et yderligere fald i mælkesyreindhold, en stærk stigning af smørsyreindhold og et fald i alkoholindhold, medens eddikesyreindholdet er nærmest upåvirket. Samtidig stiger At og pH. Der blev ikke bestemt vandopløseligt kulhydrat i ensilagen.

I forsøg (2) (fig. 8 og 9), hvor afgrøden var italiensk rajgræs med et meget højt indhold af vandopløseligt kulhydrat (26.2 pct. af tørstof), er indholdet af mælkesyre næsten uafhængig af ilttilførslen indtil ca. 15 g ilt pr. 100 g tørstof, hvorefter der indtræder et ret stærkt fald. Indholdet af eddikesyre er næsten helt uafhængig af ilttilførslen, og ingen af ensilagerne indeholdt smørsyre af betydning. Efter en svag stigning ved tilførsel af mindste mængder ilt er der et tydeligt fald i indholdet af alkohol og vandopløseligt kulhydrat. Alle ensilager havde et ekstremt lavt At, og pH er ligesom mælkesyreindholdet næsten konstant indtil ilttilførslen når over ca. 15 g pr. 100 g tørstof.

I forsøg (3) (fig. 8 og 9), hvor afgrøden var kløvergræs med et lavt indhold af vandopløseligt kulhydrat (4.1 pct.) er indholdet af mælkesyre, eddikesyre og smørsyre næsten uafhængig af ilttilførslen, idet dog mælkesyreindholdet falder lidt fra 0 til ca. 5 g ilt pr. 100 g tørstof, medens eddikesyre- og smørsyreindholdet stiger

lidt. I samme interval falder alkoholindholdet til praktisk taget nul. Indtil en tilførsel af 5-10 g ilt pr. 100 g tørstof er pH og At nogenlunde konstante, hvorefter der er en stærk stigning. I ingen af ensilagerne fandtes vandopløseligt kulhydrat.

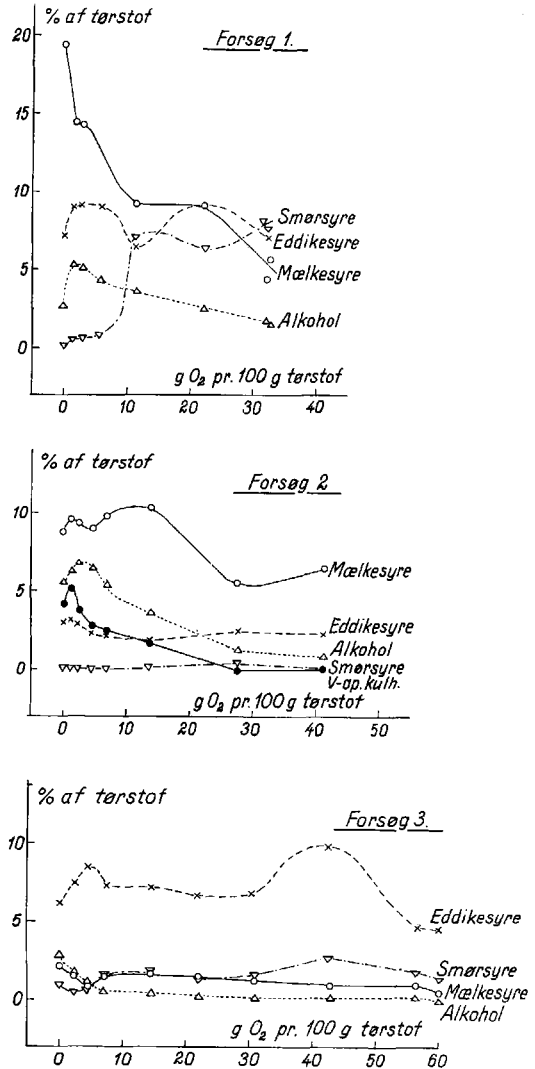


Fig. 8. Organiske syrer, alkohol og vandopløseligt kulhydrat i ensilage.

Fig. 8. Organic acids, alcohol and water soluble carbohydrates in silage.

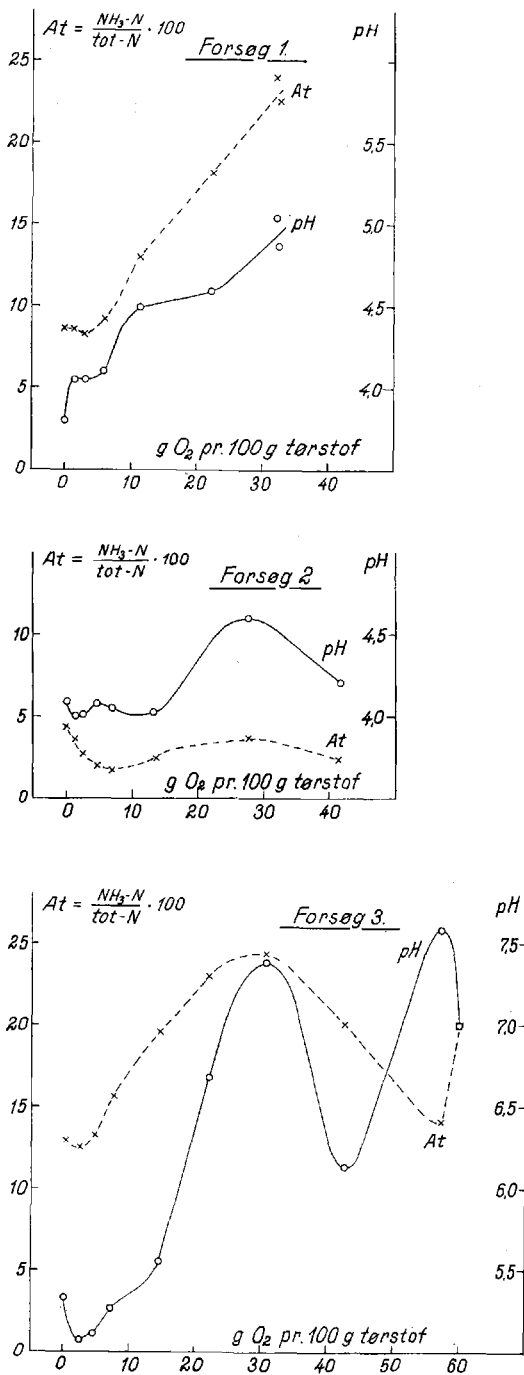


Fig. 9. pH og At i ensilage.  
pH and At (NH<sub>3</sub>-N in per cent of total-N) in silage.

Skal man ud fra de tre forsøg bedømme kvalitetsmålenes egnethed til at karakterisere den skade, iltningen har forvoldt, må konstateres, at ingen af dem er særligt egnede. Ses bort fra de ensilager, hvor der er tilført mere end 15-20 g ilt pr. 100 g tørstof, og som derfor er så stærkt beskadigede, at de nærmest må betegnes som kompost, fås følgende billede:

Mælkesyreindholdet falder i forsøg (1) stærkt med iltningen, men er i de to andre forsøg næsten uafhængigt heraf.

Eddikesyreindholdet varierer i alle forsøg kun lidt og viser ingen tydelig sammenhæng med ilttilførslen.

Smørsyreindholdet er i forsøg (2) og (3) lavt uanset ilttilførslen. I forsøg (1) nås en høj værdi, men først ved tilførsel af over 5-10 g ilt pr. 100 g tørstof.

Alkoholindholdet er i alle forsøg faldende med stigende ilttilførsel. Det samme gælder indholdet af vandopløseligt kulhydrat (forsøg (2)).

At har i forsøg (2) helt svigtet som kvalitetsmål, og i de to andre forsøg er der først en stigning i At, når der tilføres over 5 g ilt pr. 100 g tørstof.

pH har ligeledes totalt svigtet som kvalitetsmål i forsøg (2). I forsøg (1) synes der at være en ret god sammenhæng mellem iltningsskade og pH, og det samme gælder i forsøg (3), men først ved tilførsel af over 5 g ilt pr. 100 g tørstof.

Selv ved sammenligning af ensilager af samme udgangsmateriale er det således meget usikkert, hvad kvalitetstallene kan fortælle om iltningsskader. Og usikkerheden bliver naturligvis endnu større, hvis ensilager af forskelligt udgangsmateriale skal sammenlignes.

#### D. Ensileringsstabene

##### 1. Vægttabet

I disse forsøg, hvor der ikke har været saftafløb, hvilket medfører, at der kun kan ske tab i form af luftformige forbindelser, måtte det ventes, at vægttabene er små. Af fig. 10 ses, at dette også har været tilfældet, idet tabet uden ilttilførsel er ca. 1 pct. i forsøg (1) og (3) og ca. 2½ pct. i forsøg (2).



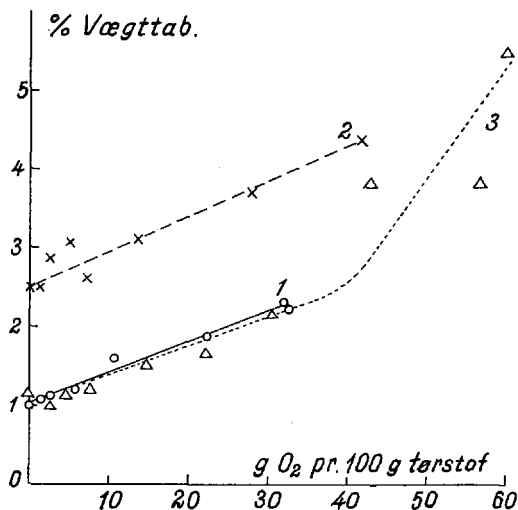


Fig. 10. Vægttab ved ensilering i procent.  
Fig. 10. Mass-loss in per cent.

Tabene stiger retlineært med ilttilførslen, idet der dog i forsøg (3) er en afvigelse fra denne regel ved de højeste ilttilførsler.

## 2. Tørstofabet

I fig. 11 er tørstofabet vist som funktion af ilttilførslen. Det ses, at tørstofabet stiger omtrent retlineært med ilttilførslen. De enkelte punkters afvigelser fra de rette linier kan skyldes tilfældigheder (forsøgsfejl), men afvigelserne kan også have forskellige andre årsager. Endvidere ses, at i forsøg (1) (roetop) stiger tørstofabet langt stærkere med ilttilførsel end i de to øvrige forsøg. Ligningerne for de tre rette linier er

Fors. (1):  $y = 6.20 + 0.900 x \pm 1.905$   $r = 0.990$   
 Fors. (2):  $y = 12.30 + 0.529 x \pm 0.482$   $r = 0.998$   
 Fors. (3):  $y = 2.43 + 0.730 x \pm 2.020$   $r = 0.993$

hvor  $y$  er tørstofabet i pct. og  $x$  tilført ilt i g pr. 100 g tørstof. Disse ligninger viser, at det tilsyneladende tørstofabet ved iltning<sup>1</sup> i de tre forsøg er henholdsvis 90.0, 52.9 og 73.0 g pr. 100 g ilt.

1. Der benyttes her udtrykket »tilsyneladende tørstofabet ved iltning«, idet, som det sandsynliggøres i det følgende, det faktiske iltningstab kan være ret forskelligt herfra.

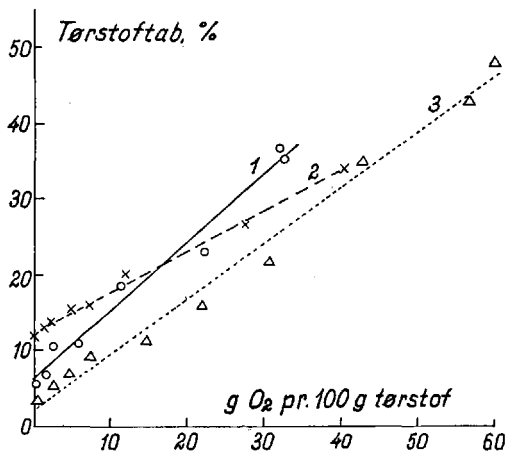
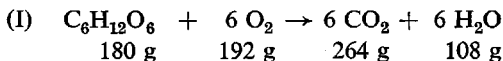


Fig. 11. Procentisk tørstofabet.  
Fig. 11. Loss of D.M., per cent.

Som det ses af forrige afsnit, er det især kvælstoffri ekstraktstoffer, der nedbrydes såvel ved de almindelige ensileringsprocesser som ved iltningprocesser. Man skulle derfor vente at tørstofabet ville stige med ca. 94 g pr. 100 g ilt, idet man af skemaet



finder, at der nedbrydes 180 g sukker pr. 192 g ilt, hvilket svarer til 93.8 g tørstof (sukker) pr. 100 g. I forsøg (1) er det beregnede iltningstab i overensstemmelse med denne teoretiske værdi, medens der i de to øvrige forsøg er nogen afvigelse. Afvigelserne kan have flere årsager. De vigtigste af disse skal kort omtales i det følgende:

1. Andre – mere iltfattige – forbindelser end monosakkarid nedbrydes ved iltningen. Ved iltning af polysakkarider er tabet således kun 84.4 g pr. 100 g ilt og ved iltning af meget iltfattige forbindelser som lignin kun lidt over 50 g pr. 100 g ilt. Omvendt vil tabet være større, hvis mere ilttrige stoffer iltes. Ved iltning af æblesyre er tørstofabet således 139.6 g pr. 100 g ilt.

Det er rimeligt at antage, at de ilttrige letomsættelige stoffer nedbrydes først og de tungtomsættelige iltfattige stoffer sidst, hvil-

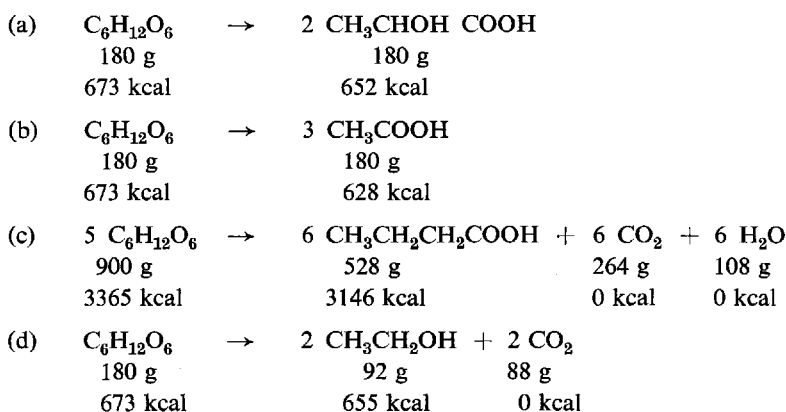
ket vil medføre, at tørstofabet pr. g ilt vil være faldende med stigende ilttilførsel.

2. Omfanget af anaerobe omsætninger vil naturligvis være påvirket af, hvor stærk nedbrydning der er sket, inden der indtræder anaerobe forhold, og i hvert fald ved tilførsel af større iltmængder i negativ retning.

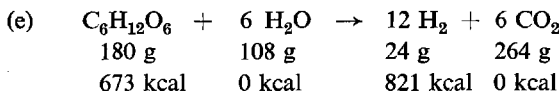
Hvilken indflydelse anaerobe processer vil få på det tilsyneladende iltningstab vil afhænge af, hvor stort et tørstofab omsætningerne har medført. Mange af de anaerobe omsætninger medfører intet eller i hvert fald kun et ringe tørstofab, idet forudsætningen

et stofskifteprodukt kan slutte sig til mængden af et andet. F.eks. kan eddikesyre dannes uden stofab, hvis glucose forgæres uden biprodukter, medens der naturligvis vil være et stofab, hvis dannelse af eddikesyre ledsages af en dannelse af luftformige stofskifteprodukter. I henhold hertil bør tabene – såvel stofab som energitab – ved dannelse af et givet stof ikke bestemmes ud fra kemiske reaktionskemaer, men ud fra kemiske »balanceskemaer«, hvor der afbalanceres med kuldioxid og vand.

Balanceskemaerne for dannelse af mælkesyre, eddikesyre, smørsyre og alkohol ud fra monosakkarid bliver følgende:



For dannelse af brint bliver balanceskemaet



herfor er, at omsætningen er forbundet med udvikling af luftformige forbindelser såsom  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  etc. eller dannelse af vand<sup>1</sup>.

Ofte ses angivet, at smørsyregæring og eddikesyregæring er forbundet med store stofab på grund af udvikling af luftformige forbindelser. Imidlertid er de omsætninger, der kan ske i ensilage, og de reaktionsveje, der følges, så mangfoldige, at man ikke ud fra mængden af

Tørstofabet ved dannelsen af de fem stoffer bliver henholdsvis 0, 0, 41, 49 og 100 pct., og energitabene 3.1, 6.7, 6.5, 2.7 og 122.0 pct.

I henhold til disse skemaer er smørsyre- og alkoholdannelsen forbundet med et stort tørstofab, medens mælkesyre- og eddikesyregæringen kun giver stofab, hvis gæringen er ledsaget af brintudvikling (eller evt. udvikling af flygtige kulbrinter). Energitabet er ved dannelsen af alle de nævnte organiske stoffer ringe,

1. Da ca. 80 pct. af de flygtige syrer fordampes ved tørstofbestemmelsen (Nørgaard Pedersen og Møller 1965) vil man, hvis der ikke korrigeres for dette forhold, naturligvis finde, at tørstofabet er stigende med stigende flygtigsyreindhold. For alkohol gælder noget tilsvarende, men hertil kommer, at der ved denne gæring er et stort tørstofab ved  $CO_2$ -udvikling.

medens energitabet ved brintudvikling er meget stort.

Konsekvensen af denne betragtningssmåde er, at hvis man ønsker at undersøge, om der ved ensileringen er sket tabgivende processer, må man bestemme mængden af alle stoffer, hvis dannelse er forbundet med tab, herunder brint og eventuelle flygtige kulbrinter.

I henhold til balanceskemaet (d), der er identisk med det almindeligt antagne reaktions-skema, tabes som nævnt ca. 49 pct. af det omsatte kulhydrat i form af  $\text{CO}_2$ . Af fig. 8 fremgår, at alkoholindholdet i de ikke iltede ensilager i forsøg (1), (2) og (3) udgør henholdsvis 2.8, 3.5 og 3.0 pct., og det er hermed sandsynligt, at alkoholgæringen har været den betydeligste årsag til tørstof-tab ved anaerobe omsætninger i disse forsøg<sup>1</sup>. Bortset fra, at en svag iltning medfører en mindre stigning i alkoholindholdet, er alkoholindholdet stærkt faldende med ilttilførslen, hvilket bevirker, at det tørstof-tab, som iltningen medfører, delvis tilsløres. I fig. 12 er vist tørstoffabet reduceret med en størrelse svarende til den ved alkoholgæringen udviklede mængde kuldioxid, hvorved den nævnte tilsløring elimineres. (Resttab I).

Ved sammenligning med fig. 11 ses, at man efter denne korrektion finder en væsentligt stærkere stigning af tørstoffabet med iltmængden end uden korrektion. Ligningerne for de tre linier bliver:

Fors. (1):  $y = 2.16 + 0.990 x \pm 1.918$   $r = 0.991$

Fors. (2):  $y = 6.95 + 0.662 x \pm 0.728$   $r = 0.998$

Fors. (3):  $y = 1.10 + 0.757 x \pm 1.834$   $r = 0.995$

hvor y er det korrigerede tab og x iltmængden i g pr. 100 g tørstof. Ligningerne er ensbetydende med, at det gennemsnitlige korrigerede iltningstab i de tre forsøg er henholdsvis 99.0, 66.2 og 75.7 g pr. 100 g ilt.

Også andre anaerobe decarboxyleringsprocesser bidrager i betydelig grad til tørstoffabene ved ensilering. Afgrødens indhold af di- og tricarboxylsyrer nedbrydes således kvantitativt til monocarboxylsyrer, kuldioxid og andre stoffer (Whittenbury, McDonald og Bryan-Jones, 1967,

1. Erfaringer fra andre forsøg tyder på, at dette er alment.

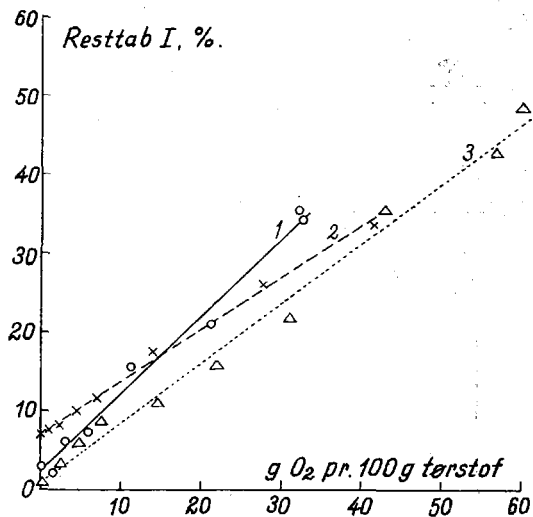


Fig. 12. Resttab I = tørstoffab ÷ beregnet tab ved  $\text{CO}_2$ -udvikling ved alkoholgæring.

Fig. 12. Residual loss I = loss of dry matter — calculated loss by  $\text{CO}_2$ -evolution by alkohol fermentation.

McDonald, Henderson og Mac Gregor, 1968). Dog synes der i nogle tilfælde at kunne dannes ravsyre ved forgæringen (McDonald, Henderson og McGregor, 1968).

For de forsøgsled, hvor der ikke er tilført ilt, kan det totale tab ved anaerob kuldioxidudvikling bestemmes ved titrering af absorptionsopløsningen. Er der derimod tilført ilt er beregningen principielt umulig, idet man ikke kan vide, hvilke forbindelser, der er iltet. Imidlertid forekommer det rimeligt at regne med, at i ensileringsens første faser er det hovedsagelig monosakkarider og di- og tricarboxylsyrer, der ilttes. Da di- og tricarboxylsyrerne som nævnt decarboxyleres, uanset om der er ilt til stede eller ikke, kan man opfatte iltningen af disse syrer som en decarboxylering efterfulgt af en iltning af restprodukterne. Disse restprodukter vil have nogenlunde samme sammensætning som monosakkarid, hvorfor tabsforøgelsen ved iltning af de nævnte syrer vil blive omtrent den samme som ved iltning af monosakkarid. Fradrages nu tabene i fig. 12 en størrelse svarende til, at det er monosakkarid, der ilttes, fås ud fra de

opstillede forudsætninger, et resttab, som hverken kan tilskrives alkoholgæring eller iltning, og altså må have andre årsager, bl.a. den nævnte decarboxylering. Det bemærkes dog, at de opstillede forudsætninger naturligvis kun kan være gyldige indtil en ilttilførsel svarende til, at alle di- og tricarboxylsyrer og monosakkarider er nedbrudt. I fig. 13 er vist det således beregnede resttab. (Resttab II).

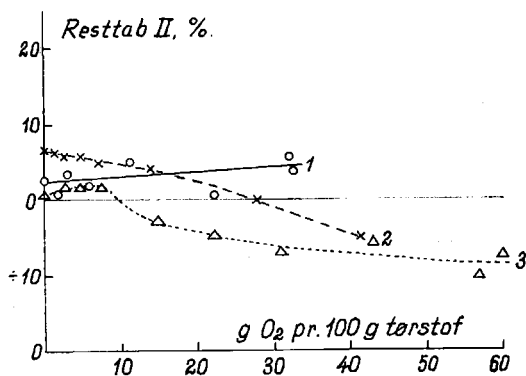


Fig. 13. Resttab II = resttab I ÷ beregnet iltningstab.  
Fig. 13. Residual loss II = residual loss I — calculated oxidation-loss.

Det ses, at ved de mindste ilttilførsler er der i alle forsøg et resttab af en vis størrelse. I forsøg (1) er resttabet positivt ved alle iltmængder, medens resttabet i forsøg (2) og (3) bliver negativt ved tilførsel af mere end henholdsvis ca. 25 og 10 g ilt pr. 100 g tørstof. Forskellene mellem de tre kurver er i overensstemmelse med, at bederoetop indeholder store mængder monosakkarid, medens græssernes kulhydrat for en stor del er polysakkarider (fructosaner), og at græsset i forsøg (2) havde et langt højere indhold af vandopløseligt kulhydrat end kløvergræsset i forsøg (3).

Fradrages endelige tabene i fig. 13 det tab ved kuldioxidudvikling, som hverken kan tilskrives alkoholgæring eller iltning, fås et endeligt resttab (Resttab III), som må forklares på anden måde. I fig. 14 er dette endelige resttab vist for en del af forsøgsleddene i forsøg (1) og (2). (Karbonatitreringen har som tidligere nævnt ikke kunnet gennemføres i alle tilfælde).

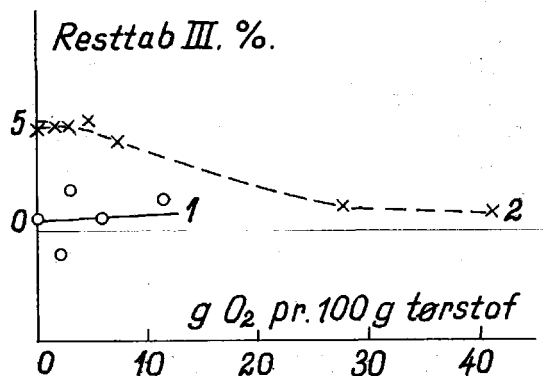


Fig. 14. Resttab III = resttab II ÷ tab ved CO<sub>2</sub>-udvikling ved andre omsætninger end alkoholgæring og beregnet iltning.

Fig. 14. Residual loss III = residual loss II — loss by CO<sub>2</sub>-evolution by processes other than alcohol fermentation and calculated oxidation loss.

Det ses, at i forsøg (1) har det således beregnede endelige resttab været helt ubetydeligt, d. v. s. at det totale tørstofftab kan forklares ved de nævnte omsætninger. Dette er derimod ikke tilfældet i forsøg (2), hvor der stadig er et tab på ca. 5 pct. der savner forklaring.

Der kan være mange årsager til dette uforklarede tab:

1) Tab ved udvikling af andre luftarter end CO<sub>2</sub>. Dette har i disse forsøg kun spillet en mindre rolle, idet der maksimalt er dannet ca. 4 l af andre luftarter pr. kg tørstof, hvilket højst kan svare til et tab på ca. 0.5 pct.

2) Systematiske forsøgsfejl. Det er her nærliggende at tænke på usikkerheden ved tørstofbestemmelsen, specielt i ensilage.

Ved tørringen sker et tab af flygtige syrer og alkohol, for hvilket tab der indføres en korrektion. Denne korrektion kan være behæftet med nogen usikkerhed, f.eks. kan de stoffer, der betegnes som alkohol delvis være højere alkoher, aldehyler eller ketoner (analysen er ikke specifik), hvilket naturligvis kan give et større fordampningstab end beregnet. Ved selve tørstofbestemmelsen sker der ofte et tab ved udvikling af CO<sub>2</sub> og vand, f.eks. ved Maillards reaktion. Har CO<sub>2</sub>-udviklingen ved tørstofbestemmelsen

i ensilage et større omfang end ved tørstofbestemmelse i afgrøde, vil dette forøge det beregnede tørstofftab. Endelig kan ske tab ved fordampning af ammoniak, for hvilket stof, der ikke er korrigeret. Denne tabskilde kan dog kun have en mindre kvantitativ betydning. Specielt bemærkes, at mælkesyre under tørringen kan anhydreres til laktylmælkesyre.

3) Tab ved kondenseringsprocesser. Under ensileringen kan der ske såvel hydrolyse, hvorved der vindes tørstof som kondensationer, hvorved tabes tørstof.

4) Tilfældige forsøgsfejl. Den meget gode overensstemmelse mellem forsøgsleddene tyder på, at disse fejl ikke spiller nogen afgørende rolle.

### 3. Tabet af protein

Tab af protein kan tænkes at ske ved udvikling af elementært kvælstof og kvælstofilter og ved fordampning af ammoniak og eventuelt aminer. Tab af elementært kvælstof spiller formentlig kun sjældent nogen rolle, og kvælstofilter udvikles kun, hvis afgrøden indeholder nitrat. De basiske kvælstofforbindelser kan ikke fordampe fra normal sur ensilage. Det må således forventes, at i disse forsøg, hvor der ikke har været saftaflob, må tabet af protein være meget lille. Dette bekræftes af fig. 15, der viser, at tabet i alle tre forsøg er meget lavt, meget nær af forsøgsfejls størrelse.

Tabet af *renprotein* er vist i fig. 16. Det ses, at der ved ensilering uden luftadgang er et betydeligt tab af renprotein. Med stigende tilførsel af ilt er tabet i forsøg (1) steget en ube-

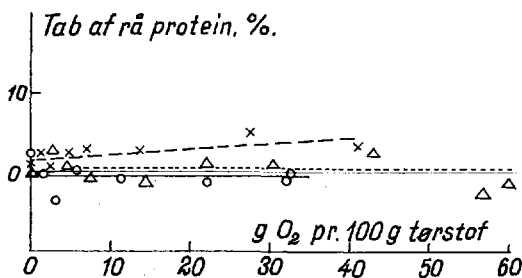


Fig. 15. Tab af råprotein.  
Fig. 15. Loss of crude protein.

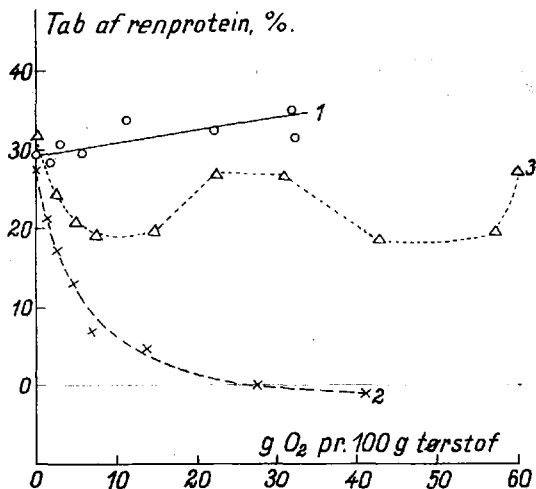


Fig. 16. Tab af renprotein.  
Fig. 16. Loss of true protein.

tydelighed, medens ilttilførslen i forsøg (2) og (3) har bevirket en stærk formindskelse af tabet, hvilket indikerer en stærk mikrobiel syntese.

### 4. Tab af træstof og kvælstoffri ekstraktstoffer + fedt

Som nævnt er tabet af råprotein ubetydeligt. Langt den største del af ensileringstab må derfor ske i stofgrupperne træstof og kvælstoffri ekstraktstoffer + fedt. Tabene af disse stoffer er vist i fig. 17 og 18.

Det bemærkes, at det, som tidligere berørt, principielt ikke er muligt at bestemme, hvor stor en del af disse stofgrupper, der faktisk er tabt ved ensileringen, idet træstof mikrobielt kan nedbrydes til og opbygges af kvælstoffri ekstraktstoffer. Det, der kan bestemmes, er således »det tilsyneladende tab«. Som det ses, er det, som det også måtte forventes, navnlig de kvælstoffri ekstraktstoffer + fedt, der tabes ved ensileringen, og tabet i denne stofgruppe udgør 70 pct. eller mere af det totale tørstofftab, når der ses bort fra de stærkest iltede ensilager.

### IV. Forholdet mellem iltningstab og tab af foderværdi

Ved ensileringforsøg og andre former for opbevarings- og konserveringsforsøg er det sæd-

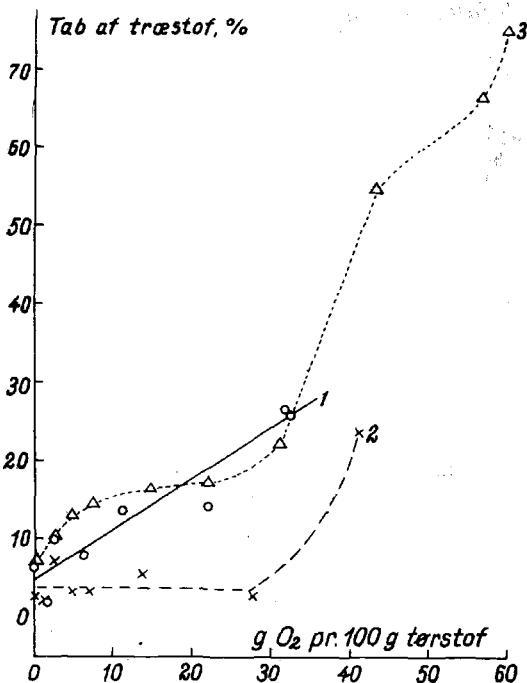


Fig. 17. Tab af træstof. Fig. 17. Loss of crude fibre.

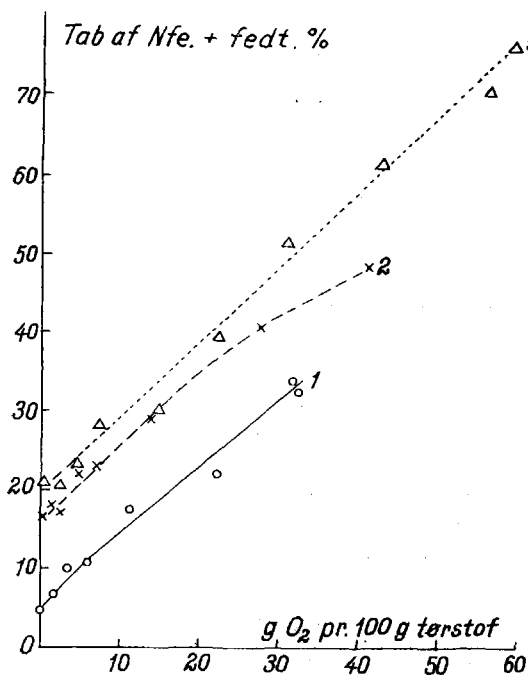


Fig. 18. Tab af kvælsroffri ekstraktstoffer + fedt. Fig. 18. Loss of Nitrogen free extractives + fat.

vane, at tabet bestemmes som tab af tørstof eller organisk stof. I ensileringsforsøg kan ensilagens tørstofindhold være defineret på flere forskellige måder. I nogle tilfælde angives tørstofindholdet, som det bestemmes i tørreovnen, men oftest korrigeres for fordampning af flygtige syrer og ofte også for fordampning af alkohol. Ved vurdering af tørstofftab er det meget vigtigt at bemærke, om en sådan korrektion er foretaget, idet disse flygtige stoffer kan udgøre over 10 pct. af ensilagens tørstofindhold.

For at nå frem til en tilfredsstillende økonomisk vurdering af ensileringstabene, er det imidlertid nødvendigt, at de angives i foderværdi. En almen anvendelig metode til omregning fra tab af tørstof til tab af foderværdi findes ikke. Imidlertid har man i svenske forsøg fundet, at foderværditabet er ca. 1.4 gange tabet af tørstof (Jarl og Helleday, 1948), og det er ret almindeligt at regne med denne værdi som alment gældende eventuelt med mere eller mindre velbegrundede modifikationer.

Honig (1969) fandt, som nævnt i indledningen, at tabet af stivelsesværdi var 1.45-1.65 gange tørstofftabet.

Betragtes specielt det tørstofftab, der skyldes iltning, er det rimeligt at regne med, at det hovedsagelig er meget let fordøjelige næringsstoffer, der nedbrydes, og det kan derfor være vel begrundet at angive tabet i procent af fordøjeligt tørstof. Det procentiske tab af fordøjeligt tørstof (y) kan beregnes ud fra tørstofftabet (x) af

$$(I) \quad y = \frac{x}{F} \cdot 100,$$

hvor F er fordøjelighedscoeffcienten for tørstof i afgrøden. Er fordøjelighedscoeffcienten 70, hvilket er almindeligt for græsafgrøder, bliver forholdet mellem x og y 1.43, hvilken værdi er i god overensstemmelse med den ovenfor nævnte faktor 1.40. Der er imidlertid grund til at formode, at iltningen også formindsker ensilagens værdital, hvorfor der bør indføres en korrektion herfor. Højland Frederiksen (1969) angiver, at for græsafgrøder kan værditallet beregnes af ligningen

$$(II) \quad V = 109.5 - T,$$

hvor V er værditallet og T træstofprocenten i tørstof. Antages denne ligning også at gælde for ensilage, kan værditallet beregnes ud fra afgrødens værdital, idet ensilagens træstofprocent beregnes af

$$(III) \quad T_e = \frac{T_a}{100-x} \cdot 100,$$

hvor  $T_a$  og  $T_e$  er træstofprocenten i henholdsvis afgrøde og ensilage, hvilken ligning forudsætter, at der ikke nedbrydes træstof ved ensileringen. Endvidere kan ensilagetørstoffets fordøjelighedskoefficient ( $F_e$ ) bestemmes ud fra afgrødetørstoffets fordøjelighedskoefficient ( $F_a$ ) af

$$(IV) \quad F_e = \frac{F_a-x}{100-x} \cdot 100,$$

idet det som før forudsættes, at det kun er fordøjelige stoffer, der nedbrydes. Regnes nu med, at bruttoenergiindholdet pr. kg ensilagetørstof og afgrødetørstof er det samme, kan forholdet mellem foderenheder i ensilage ( $Fe_e$ ) og i afgrøde ( $Fe_a$ ) beregnes ud fra (II), (III) og (IV), og man får

$$(V) \quad \frac{Fe_e}{Fe_a} = \frac{(109.5 - \frac{T_a}{100-x} \cdot 100) \cdot \frac{F_a-x}{100-x} \cdot 100}{(109.5 - T_a) \cdot F_a},$$

hvorefter det procentiske tab af foderenheder kan beregnes. I fig. 19 og 20 er grafisk vist resultatet af sådanne beregninger for afgrøder med forskellig fordøjelighed og forskelligt træstofindhold. I fig. 20 er endvidere vist det procentiske tab af fordøjeligt tørstof beregnet ud fra (I). Det ses, at tabet af foderenheder er større i forhold til tørstoffabet, jo lavere afgrødens fordøjelighed er, eller jo højere træstofindholdet er. Og tabet af foderenheder er altid højere end tabet af fordøjeligt tørstof. For almindelige græsafgrøder med 25 pct. træstof i tørstof og med en fordøjelighedskoefficient for

tørstof på ca. 75, vil det beregnede tab af foderenheder være ca. 1.6 gange tørstoffabet, hvilket praktisk taget er det samme som fundet af Honig.

Selv om man således ved benyttelse af de sædvanligt anvendte beregningsformler for foderværdi kommer frem til et tab, der i forhold til tørstoffabet er noget højere, end man almindeligvis har regnet med, er det dog klart, at beregningsmåden i hvert fald ved noget stærkere iltning fører til for lave tab. Som omtalt side 7 er ensilagen allerede ved en ilttilførsel på 15-25 g pr. 100 g tørstof ubetinget kassabel. Af fig. 12 kan udledes, at hertil svarer et tørstoffab ved iltning på mellem 10 og 25 pct.

Det beregnede tab af foderenheder for totalt kassabel ensilage bliver således mindre end 40 pct., hvilket indikerer, at man ved at benytte de almindelige metoder til foderværdiberegning på iltet ensilage kan risikere at undervurdere tabene, navnlig når der er tale om ensilage, der er så stærkt iltet, at den nærmer sig kassationsgrænsen.

Man kunne formentlig få et bedre udtryk for iltningstabets økonomiske konsekvenser ved at tage i betragtning, at ved iltningen sker der ikke blot et tab af tørstof og en sænkning af indholdet af foderenheder pr. kg af det resterende tørstof, men også en drastisk sænkning af foderkoncentrationen, således at højtydende dyrs mulighed for at optage tilstrækkelige mængder foder i ensilage forringes stærkt. Imidlertid findes ingen kvantitative metoder til vurdering af dette forholds betydning.

## V. Supplerende betragtninger vedrørende bestemmelse af ensileringsstab

Ved ensileringsundersøgelser er det sædvane, at ensileringsstabet bestemmes som tab af tørstof eller deraf afledede størrelser, såsom organisk stof, foderenheder etc.

Som omtalt side 14 er det forbundet med vanskeligheder blot at definere, hvad der skal forstås ved tørstof i ensilage, idet en række flygtige stoffer, der dannes ved ensileringsprocesserne, fordamper ved tørringen. Hertil kommer, at tørstoffbestemmelsen er en defini-

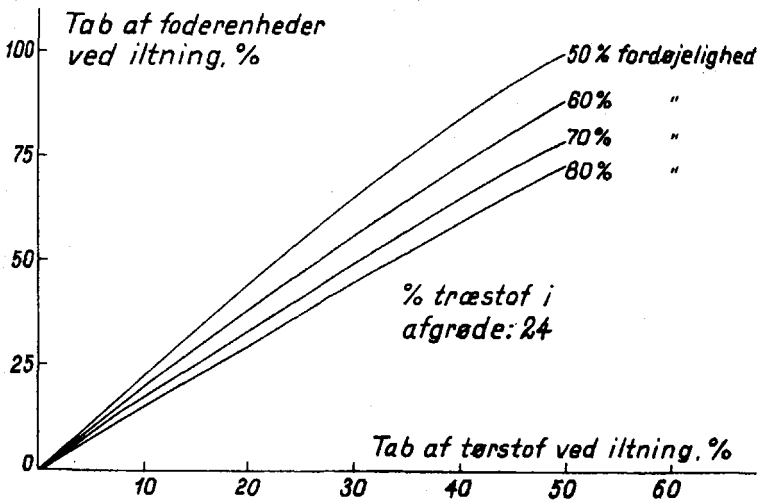


Fig. 19. Tab af foderenheder ved iltning beregnet ud fra tørstof-tabet ved iltning.

Fig. 19. Loss of feed units by oxidation calculated from the loss of dry matter by oxidation.

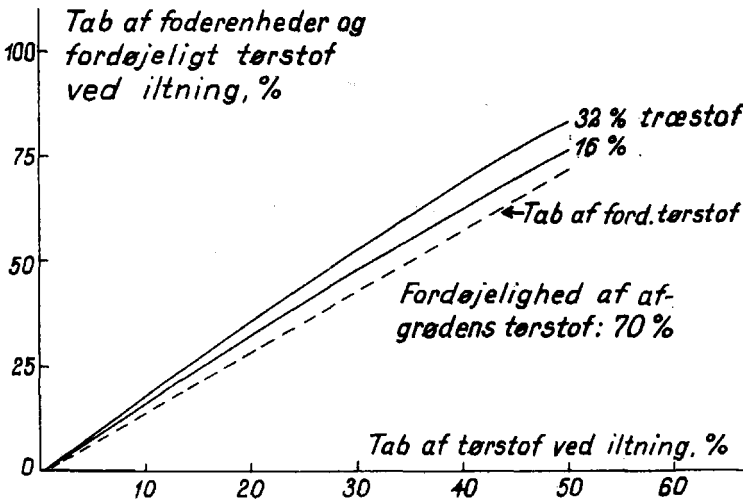


Fig. 20. Tab af foderenheder og fordøjeligt tørstof ved iltning beregnet ud fra tørstof-tabet ved iltning.

Fig. 20. Loss of feed units and digestible dry matter by oxidation calculated from loss of dry matter by oxidation.

tionsanalyse, idet tørstof er defineret som det stof, der er tilbage efter tørring i en bestemt tid under nærmere fastlagte betingelser. Metoden forudsætter altså principielt, at der ikke under tørringen bortgår andre stoffer end vand. Denne forudsætning er imidlertid meget sjældent opfyldt. Dels kan der som ovennævnt bortgå andre flygtige stoffer ved tørringen, men dertil kommer, at der ofte sker et direkte tørstof-tab under tørringen, idet der sker kemiske reaktioner, hvorved dannes kuldioxid og vand. Ved ensileringsprocesserne undergår tørstoffet me-

get store ændringer, og det er derfor langt fra givet, at de nævnte nedbrydningsprocesser ved tørring af henholdsvis afgrøde og ensilage vil have samme omfang, og en forskel vil naturligvis påvirke det konstaterede tørstof-tab. Desuden kan der som nævnt side 13 ske såvel hydrolyse- som kondenseringsprocesser under ensilering. Ved disse processer ændres tørstofindholdet, men det må antages, at de er uden væsentlig indflydelse på foderværdien.

Den vigtigste kilde til tørstof-tab under ensilering (også under anaerobe forhold) er ud-



vikling af kuldioxid. Så dominerende er denne tabskilde, at nogle forskere mener, at tørstoftabet ved ensileringen kan bestemmes mere præcist ved måling af kuldioxidudviklingen end ved den sædvanligt anvendte differensmetode, idet der dog naturligvis må tages hensyn til et eventuelt tab ved saftafløb. (Se *Fyrileiv* 1969). De i denne beretning omtalte forsøg støtter denne opfattelse, idet der kun er udviklet ubetydelige mængder af andre luftarter.

Imidlertid er det tvivlsomt, om tørstoftabet og dermed tabet ved kuldioxidudvikling er et relevant mål for ensileringstab. Kuldioxidens energiindhold er nemlig nul, hvorfor energi-tabet ved kuldioxidudviklingen er yderst ringe. Den største mængde kuldioxid dannes under anaerobe forhold sædvanligvis ved alkoholgæringen, og som nævnt side 11 medfører denne proces et tab ved kuldioxidudvikling på næsten 50 pct. af den omsatte mængde sukker, men energitabet er mindre end 3 pct. Til trods for det meget store tab ved kuldioxidudvikling kan man derfor ikke på forhånd anse det for givet, at foderværdiforringelsen er proportional med dette tab. Tværtimod må en eventuel værdiforringelse næsten udelukkende tilskrives, at energien i alkohol har en lavere nytteeffekt end det sukker, det er dannet af. Om alkoholen har en sådan lavere nytteeffekt er ikke fuldt belyst, men undersøgelser af *Laube* (1967) tyder på, at dette er tilfældet, hvilket bl.a. kan tilskrives tab af alkohol i urin og udåndingsluft. Ved forsøg udført ved forsøgslaboratoriet fandt *Højland Frederiksen og Ochia* (1968), at alkohol formentlig kunne tillægges samme værdi pr. vægtenhed som eddikesyre. Dette svarer til, at forholdet mellem udnyttet energi i alkohol og eddikesyre bliver ca. 0.75. For andre decarboxyleringsprocesser er det meget vanskeligt at forestille sig, at kuldioxidudviklingen er forbundet med nogen som helst forringelse af foderværdien. For de fleste di- og tricarboxylsyrer gælder således, at energiændringen ved decarboxyleringen er mindre end 1 pct. og ofte positiv, og der synes ikke at være nogen grund til at antage, at de resulterende monocarboxylsyrer skulle have en mindre nytteeffekt ved opfodring.

De her fremførte betragtninger gælder naturligvis kun for anaerobt udviklet kuldioxid. Udvikles kuldioxiden som følge af iltningssprocesser vil den naturligvis være forbundet med et energitab<sup>1</sup>.

Af det foregående vil fremgå, at tørstoftabet egentlig ikke kan anses for et hensigtsmæssigt mål for ensileringstab. Der kan indføres en del korrektioner, der vel giver et forbedret mål, men der er dog stadig mange usikkerheder tilbage.

Dette medfører, at alle tabsbestemmelser, der er baseret på tørstofbestemmelsen, såsom organisk stof, fordøjeligt tørstof, fordøjeligt organisk stof, foderenheder m.v. heller ikke kan betragtes som helt hensigtsmæssige.

Det ville utvivlsomt være mere rationelt at basere tabsbestemmelsen på energi direkte bestemt ved kalorimetri. I mange forsøg vil man kunne nøjes med bestemmelse af tabet af bruttoenergi eller fordøjelig energi. Ønskes tabet af mere komplicerede størrelser som omsættelig energi eller foderenheder bestemt, kan dette gøres ved at korrigere for afgrødens og ensilagens kemiske sammensætning. Disse korrektioner kan principielt udføres efter samme metoder som de nu anvendte, men korrektionsfaktorerne (værdital etc.) må muligvis ændres under hensyntagen til, at energien er direkte bestemt og ikke beregnet ud fra den kemiske sammensætning.

Ved undersøgelser over iltningsskader vil en direkte energibestemmelse også have store fordele. Som omtalt side 10 er tørstoftabet ved iltningen meget stærkt afhængig af hvilke stoffer, der nedbrydes. I modsætning hertil er ener-

1. Det kan dog under aerobe forhold være berettiget at hævde, at kuldioxidudviklingen ikke er forbundet med energitab, men at energitabet skyldes iltoptagelsen, som er forbundet med et energitab på ca. 110 kcal per mol ilt, der optages. uanset om optagelsen medfører kuldioxidudvikling eller ikke. Iagttagelser af *Zimmer* (1969) har vist, at iltoptagelse og kuldioxidudskillelse ikke er synkrone processer, idet kuldioxidudviklingen er ret stærkt forsinket i forhold til iltoptagelsen. Iagttagelser ved vort laboratorium bekræfter *Zimmers* iagttagelse. Der er således god grund til skarpt at skelne mellem de to processer, både ved vurdering af energitab og ved betragtning af de biokemiske omsætninger.

gitabet ved iltning omtrent det samme, uanset hvilke organiske forbindelser, der iltes, kun varierende fra ca. 3250 til ca. 3600 kcal pr. kg ilt. Dette betyder, at energitabet ved iltning er praktisk taget proportionalt med ilttilførslen. Regnes med at afgrøden indeholder 4000 kcal pr. kg tørstof, bliver energitabet ca. 0.85 pct. pr. g ilt pr. 100 g tørstof.

Energibestemmelse i ensilage vil utvivlsomt frembyde mange tekniske vanskeligheder, og foderværdiberegning m.v. på basis af energibestemmelse vil kræve ændring af visse definitioner. Men ved betragtninger over disse vanskeligheder må ikke glemmes, at tørstofbestemmelse også frembyder mange vanskeligheder, hvoraf mange endnu ikke er overvundet. At nå frem til en blot nogenlunde præcis bestemmelse af energitabet ud fra kemiske bestemmelser må anses for en næsten håbløs opgave, idet det vil forudsætte, at alle stoffer i såvel grønmasse som ensilage må bestemmes.

## VI. Sammenlægning

Der er gennemført tre ensileringsforsøg i laboratoriesiloer, hvor grønmassen er tilført stigende mængder ilt fra 0 til 60 g pr. 100 g tørstof. Afgrøderne var bederoetop, italiensk rajgræs og kløvergræs.

I alle tre forsøg gik iltningen i begyndelsen ret langsomt, hvorefter kom en periode med et meget stort iltforbrug – indtil ca. 3 g ilt pr. 100 g tørstof pr. dag. Denne stærke omsætning ophører temmelig brat utvivlsomt fordi, alt let-omsætteligt stof er nedbrudt.

Iltningen følges af en meget stærk varmedvikling. I forsøg (3), hvor siloerne var isoleret med 30 cm glasuld, steg temperaturen til over 60° C. Også ved anaerobe omsætninger sker en vis varmedannelse, men helt ubetydelig sammenlignet med den varmedannelse iltningen medfører.

Ved iltningen sænkes ensilagens tørstofprocent næsten lineært med ilttilførslen. Samtidig ændres tørstoffets sammensætning, idet indholdet af kvælstoffri ekstraktstoffer + fedt falder, medens indholdet af aske, råprotein og træstof stiger. Særlig bemærkelsesværdigt er

det, at ved ensilering uden ilttilførsel falder renproteinindholdet temmelig stærkt, men falder *formindskes* ved stigende ilttilførsel.

Skønmæssigt bedømt var ensilagens kvalitet omtrent uændret indtil tilførsel af ca. 5 g ilt pr. 100 g tørstof. Ved stærkere ilttilførsel forringedes kvaliteten og ved ca. 20 g ilt pr. 100 g tørstof blev ensilagen totalt kassabel.

Der var en meget usikker sammenhæng mellem ilttilførslen og ensilagekvaliteten bedømt ud fra de sædvanlige kvalitetsanalyser, idet hverken mælkesyreindhold, eddikesyreindhold, smørsyreindhold, At eller pH viste nogen entydig afhængighed af iltningens omfang. Alkoholindholdet var derimod i alle tre forsøg aftagende med ilttilførslen.

Vægttabet stiger lineært med ilttilførsel og det samme gælder tørstoffet. Vurderingen af tørstoffet kompliceres af, at med tiltagende iltning aftager tabet ved anaerobe omsætninger og den kemiske sammensætning af de nedbrudte stoffer ændres samtidig, idet de lettest omsættelige stoffer nedbrydes først. Disse forhold er temmelig indgående diskuteret, og det er forsøgt at beskrive det samlede tab som summen af tab med forskellig årsag. Der bliver dog et resttab, som der ikke kan gives nogen udtømmende forklaring på, men mulige årsager til resttabet er diskuteret.

Tabet af råprotein var meget nær nul og uafhængigt af ilttilførslen. Ved ensilering uden lufttilførsel var der et betydeligt tab af renprotein. I forsøget med roetop har iltning forøget dette tab, medens tabet i de øvrige to forsøg er formindsket betydeligt.

Der var et vist tab af træstof, men det største tab fandtes i stofgruppen kvælstoffri ekstraktstoffer + fedt. For begge stofgrupper er tabet stigende med ilttilførslen. Vanskelighederne ved at skelne mellem nedbrydning ved gæring og iltning og konvertering fra en stofgruppe til en anden ved mikrobielle omsætninger er diskuteret.

Tabet målt i foderværdi er naturligvis højere end tørstoffet. Det er sandsynliggjort, at det procentiske tab af foderværdi ved iltningprocesser er mindst 1,6 gange så højt som tabet

af tørstof, og ved tilførsel af så store mængder ilt, at ensilagen nærmer sig kassationsgrænsen, er faktoren formentlig langt højere.

Ud fra overvejelser over ensileringstabenes natur, ensilageomsætningernes art, betragtninger over, hvad tørstof i henhold til definition og metode er m.m., er konkluderet, at tabet af tørstof og alle heraf afledede størrelser egentlig ikke kan betragtes som relevante mål for ensileringstab, og der er fremsat den hypotese, at energitabet bestemt ved kalorimetri ville være et mere relevant mål.

## VII. Summary

### Investigations on oxidation damage in silage

#### I. Introduction

Previous experiments (*Land Jensen et. al.* 1969) have shown that the ensiling losses in stacks are far greater than in silos, which was presumably due to large oxidation losses in stacks.

The main part of 500 silage samples taken at farms were more or less damaged by oxidation (*Olesen et. al.* 1969).

Comparing laboratory experiments with practical experiments *Zimmer* (1969) found a mean difference of dry matter loss of about 5 per cent in favour of the former which he supposed might be due to oxidation loss under practical conditions.

In spite of the great influence of oxidation processes on silage quality and ensiling loss, investigations concerning this problem are rather scarce. *Wieringa et. al.* (1961) showed that oxidation decreased the protein digestibility and influenced the fermentation detrimentally. *Zimmer* (1964) showed that oxidation increased CO<sub>2</sub>-evolution and had an unfavorable effect on silage quality. Experiments in large experimental silos showed that CO<sub>2</sub>-evolution increased linearly with air supply (*Honig* 1969). The oxidation resulted in a significant rise in temperature, and decreased organic matter digestibility. The digestibility of crude protein, however, was unaffected. The loss of starch equivalents was 1.45-1.65 times that of dry matter. The oxidation had some adverse influence on the fermentation and lowered the keeping quality of the silage when removed from the silo.

#### II. Design of experiments, technique and analyses

Three experiments were carried out: (1) with beet tops, (2) with Italien ryegrass and (3) with clover-

grass-mixture. The designs of experiments are shown on page 2.

4 litre glass-bottles were used as silos in experiment (1) and (2). In experiment (3) 20 litre plastic cans were used. The oxygen was measured in glass-bottles and supplied as fast as it could be consumed. CO<sub>2</sub> was absorbed in KOH. The principles of the experimental set up appear from *fig. 1*. In experiment (1) and (2) the silos were without insulation. In experiment (3) the silos were insulated with a 30 cm layer of glass wool.

The plant material was chopped in a meatcutter. The amounts of material ensiled were 3.0, 2.0 and 10.0 kg. in experiment (1), (2) and (3), respectively.

The dry matter (DM) percent was corrected for loss of volatile acids and alcohol evaporated during drying. Determination of CO<sub>2</sub> absorbed in KOH failed in several cases due to loss of KOH through defect rubber tubes connecting the two KOH-bottles.

Experiment (1) was laid out 7. Nov. 1967 and finished 10. May 1967. The temperature at ensiling was 10 C°. Later the temperature decreased slowly, and at commencing frost the silos were moved to a room kept at 15 C°. Experiment (2) was laid out 15. June 1967 and finished 28. Aug. 1967. Experiment (3) was laid out 4. Oct. 1967 and finished 7. May 1968 with the exception that silo 10 was emptied 10. Sept. 1968. The temperature was 13 C° falling towards zero during 10 weeks, when the silo room was heated just enough to avoid frost.

## III. Results

### A. Oxidation rate

*Fig. 2* shows the oxygen consumption in the first 100 days. The oxidation rate shows to some degree the same pattern in the three experiments. First comes a short period where the oxidation rate is slow but rising. Then the rate is almost constant for some time but drops suddenly to a very low level. The maximum oxygen consumption per day in experiment (1) was about 0.5 g per 100 g dry matter and in experiment (2) and (3) about 3 g.

### B. Temperature

In experiment (3), where the silos were insulated, the oxidation was accompanied by a strong rise in temperature. *Fig. 3* shows the silage temperature in the first 34 days of the ensiling period (average of silo 9 and 10). Also the oxygen consumption

per day is shown. The close connection between oxidation and temperature is clearly demonstrated. This relationship also appears from *fig. 4* where the temperature courses for all silos are shown. Circles indicate the time when the oxygen was used up. Also in the silo without oxygen supply was there a certain temperature rise of 4 C°, which is negligible compared to the rise caused by oxidation.

### C. The relationship between degree of oxidation, chemical composition and quality of silage

#### 1. The dry matter content of the silage

The relation between oxygen supply and DM percent of silage is shown in *fig 5*. At the ordinate the DM percent of the crop is indicated.

#### 2. The feed analysis

The results of the feed analysis are shown in *fig 6*. At the ordinate the content in crop are marked. It appears that rising oxygen supply is followed by a decrease of N-free extractives + fat-content and an increase of ash, - crude protein, - and crude fibre-contents.

The results of the true protein analyses (*fig. 7*) are surprising. Without oxygen supply there is a considerable fall in true protein-content but the content increase with increasing oxygen supply.

#### 3. The quality of silage

##### a. As judged from appearance and smell:

In all experiments the differences were small between silages supplied less than 5 g O<sub>2</sub> per 100 g DM. When supplying larger amounts of O<sub>2</sub> the quality grows poorer, and with 15-20 g of oxygen per 100 g DM the silages were worthless. In experiment (1) there was a dark zone at the top of the silage indicating that oxidation chiefly had occurred here. In the other two experiments no such layer could be distinguished. There was no visible difference between the silages in experiment (2) but the strongest oxidized ones had a soft and slimy consistence.

##### b. As judged from quality analyses:

*Fig. 8* shows the content of lactic, acetic and butyric acid, alcohol and water-soluble carbohydrates (the last in experiment (2) only). *Fig. 9* shows the content of ammonia expressed as NH<sub>3</sub>-N in per cent of total-N, and pH.

It ought to be kept in mind, that when more than about 20 g of oxygen per 100 g of dry matter

are supplied the silage must be considered worthless.

In none of the experiments did the relationship between oxygen supply and the above mentioned quantities show any definite trend.

In experiment (1) the lactic acid content is reduced when oxygen supply is increased, but in the other experiments the lactic acid content is almost independent of oxygen supply.

The content of acetic acid in all experiments varies only a little and shows no distinct dependence on oxygen supply.

The butyric acid content in experiment (2) and (3) is low irrespective of oxygen supply. In experiment (1) a high value is reached but not until the oxygen supply exceeds 5-10 g per g dry matter.

The alcohol content in all experiments decreases with increasing oxygen supply. The same is the case with the content of water soluble carbohydrates (experiment (2)).

The ammonia fraction was in experiment (2) very low irrespective of oxygen supply. In the other two experiments the fractions rise to high values when the oxygen supplies exceed 5 g per 100 g dry matter.

pH rises rather strongly but irregularly with the oxygen supply in experiment (1) and (3). In experiment (2) pH is almost independent of oxygen supply, except when a very high amount is added.

From these results it may be concluded that even by comparison between silages made from the same material the analysis can only give very limited information about oxidation damage. The uncertainty will of course be still greater when silages of different crops are to be compared.

### D. The ensiling losses

#### 1. Loss of weight

The loss of weight is shown in *fig. 10*. It appears that the loss is rising almost linearly with the oxygen supply. It must be noticed that there was no drainage from the silos.

#### 2. The dry matter loss

In *fig. 11* the loss of dry matter is shown. The equations for the three straight lines are the following:

##### Experiment

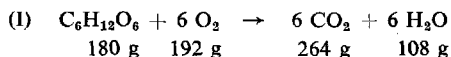
$$(1): y = 6.20 + 0.900 x \pm 1.905 \quad r = 0.990$$

$$(2): y = 12.30 + 0.529 x \pm 0.482 \quad r = 0.998$$

$$(3): y = 2.43 + 0.730 x \pm 2.020 \quad r = 0.993$$

where y is the dry matter loss in percent and x the oxygen supply in g per 100 g dry matter.

Since chiefly N-free extractives are decomposed by oxidation, the DM-loss should, according to the scheme



be expected to rise about 94 g per 100 g oxygen supplied.

The deviations from this expected value may, besides experimental error, have different explanations:

1. Compounds with a lower oxygen content than monosaccharides are decomposed. Thus by oxidation of polysaccharides the oxidation loss is 84.4 g per 100 g oxygen only, and by oxidation of compounds with a very low content of oxygen, such as lignin, only a little over 50 g. On the other hand the loss will be higher if compounds with a higher oxygen content are oxidized, for instance when malic acid is oxidized the loss will be 139.6 g per 100 g oxygen.

Supposing oxygen rich compounds being oxidized first and oxygen poor compounds last, which seems very likely, the oxidation loss per g oxygen will decrease with increasing oxygen supply.

2. The extent of anaerobic processes will of course be influenced by the degree of aerobic dissimilation which have taken place before anaerobic conditions set in, and negatively, at any rate when large amounts of oxygen have been supplied. What influence anaerobic processes may have on the *apparent oxidation* loss will depend on the losses caused by these processes.

The processes which can take place in silage and the pathways which the reactions follows are so numerous that it is impossible from the amount of one compound formed to estimate the amount of another. For instance by fermentation of glucose acetic acid can be the sole fermentation product and in this case there is no loss. Following other pathways, however, the formation of acetic acid from glucose can be combined with evolution of gaseous products and consequently combined with loss.

In fact there is no loss by formation of acetic acid. The loss, if any, is due to formation of gases. As a general rule we may note that only processes involving evolution of gases or formation of water can give rise to dry matter loss. As a consequence

of this the loss of dry matter and energy by formation of a certain product should not be calculated from a chemical reaction scheme but from a balance scheme where balance is obtained by H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>.

Balance schemes for formation of lactic acid, acetic acid, butyric acid, ethanol and hydrogen are presented at page 10. According to the schemes the dry matter losses at formation of the five compounds are 0, 0, 41, 49 and 100 per cent and the energy losses 3.1, 6.7, 6.5, 2.7 and 122 per cent.

From *fig. 8* appears that the alcohol contents in the unoxidized silages in experiment (1), (2) and (3) are 2.8, 3.5 and 3.0% respectively. According to the balance scheme (a) (page 10), which is identical with the generally accepted reaction scheme, the dry matter loss by CO<sub>2</sub>-evolution is of approximately the same magnitude. Apart from a small rise at supply of the lowest amounts of oxygen the alcohol content decreases with increasing oxygen supply. (*fig. 11*). Hence the dry matter loss by anaerobic CO<sub>2</sub>-evolution is simultaneously decreasing which partly masks the loss by oxidation.

*Fig. 12* shows the dry matter loss reduced by a quantity corresponding to CO<sub>2</sub> evolved by alcohol fermentation, by which the said masking is eliminated. (Residual loss I). After this correction the increase of dry matter loss with increasing amount of oxygen appears substantially greater than without correction. The equations for the three straight lines are:

#### Experiment

$$(1): \quad y = 2.16 + 0.990 x \pm 1.918 \quad r = 0.991$$

$$(2): \quad y = 6.95 + 0.662 x \pm 0.728 \quad r = 0.998$$

$$(3): \quad y = 1.10 + 0.757 x \pm 1.834 \quad r = 0.995$$

where y is the corrected dry matter loss in per cent and x the amount of oxygen in g per 100 g dry matter.

Also other anaerobic decarboxylation processes contribute to a considerable degree to the dry matter loss during ensilage. Thus di- and tri-carboxylic acids are quantitatively decarboxylized yielding monocarboxylic acids, CO<sub>2</sub> and other products (*Whittenbury et al.*, 1967, *McDonald et al.*, 1968). For the silos added no oxygen the total loss by anaerobic CO<sub>2</sub>-evolution may be determined from titration of the KOH-solution. If oxygen has been added the calculation is in principle impossible, because it remains unknown which compounds have been oxidized.

As mentioned the di- and tricarboxylic acids are

decarboxylized irrespective of oxygen supply. Therefore the oxidation of these acids may be regarded as an decarboxylation followed by oxidation of the reaction products. As these decarboxylation products have approximately the same composition as monosaccharides the loss by their oxidation will be almost equal. Supposing that preferably these acids and monosaccharides will be oxidized, which of course cannot be true when larger amounts of oxygen is added, the loss by oxidation can be estimated from the oxidation scheme (1).

If the residual loss I is reduced with the oxidation loss calculated from this scheme a second residual loss (residual loss II) results. This residual loss cannot be explained from alcohol fermentation nor from (calculated) oxidation, but must have other causes, for instance the mentioned decarboxylation. From *fig. 13* appears that there is in all experiments a small residual loss II when the smallest amounts of oxygen are supplied, but when larger amounts of oxygen are applied the loss turns to a gain in experiments (2) and (3).

If further this residual loss II is reduced with a quantity corresponding to CO<sub>2</sub>-evolution, which cannot be ascribed to alcohol fermentation nor to the calculated oxydation, a final residual loss (residual loss III) results. In *fig. 14* this final loss is shown for some of the silos in experiment (1) and (2) (CO<sub>2</sub> could not be determined in all silos due to loss KOH through defect rubber tubes). It appears that in experiment (2) there is a residual loss III of about 5 per cent. There may be several reasons for this unexplained loss:

1. Loss by evolution of gases other than CO<sub>2</sub>. In these experiments this has only played a minor role as the amount of other gases did not exceed 4 l per 100 g dry matter which corresponds to a maximum dry matter loss of 0.5 per cent.

2. Loss by condensation. Hydrolysis which results in dry matter gain and condensation which results in dry matter loss may both take place during ensilage.

3. Biassed experimental errors. Especially there may be some uncertainty in the dry matter determination. Thus the correction for loss of volatile acids and alcohol implies some uncertainty. Further some dry matter can be lost during drying by formation of H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>. If this loss does not reach the same extent in crop and silage this of course will influence the calculated dry matter loss. Specially it may be noticed that lactic acid

during drying may liberates water forming lactyl lactic acid.

4. Random errors.

### 3. Loss of protein

The loss of crude protein is shown in *fig 15*. The loss appears to be very low.

In *fig. 16* the loss of true protein is shown. By anaerobic ensilage there is in all experiments a considerable loss. With rising oxygen supply the loss in experiment (1) rises slightly but in experiment (2) and (3) it strongly decreases indicating a vigorous microbial synthesis.

### 4. Loss of crude fibre and nitrogen free extracts + fat

The losses of these materials are shown in *fig. 17 and 18*. It appears that in particular nitrogen free extracts + fat are lost during ensilage. About 70 per cent of the total ensiling loss falls in this group. It must be kept in mind, however, that crude fibre can be dissimilated to and formed from nitrogen-free extracts, and therefore only the apparent loss (in both groups) can be determined.

### IV. The relationship between oxidation loss and feeding value

In silage experiments the loss is generally estimated as loss of dry matter or loss of organic matter. In an economic valuation, however, the loss of feeding value must be considered.

With regard to that loss which is due to oxidation it seems reasonable to suppose that it is mainly easily digestible matters which are dissimilated. Assuming that only digestible matters are oxidized, the percentage loss of digestible dry matter (y) may be calculated from

$$(I) \quad y = \frac{x}{F} \cdot 100,$$

x being the dry matter loss and F the digestibility coefficient of dry matter in crop.

Probably also the value number will be reduced by the oxidation. According to *Højland Frederiksen* (1969) the value number for grassland crops can be calculated from the equation:

$$(II) \quad V = 109.5 - T_a,$$

where V is the value number and T<sub>a</sub> the content of crude fiber in per cent of dry matter. Assuming this equation to be valid for silage too the value number of the silage can be calculated from that of the herbage.

First per cent crude fiber in silage dry matter ( $T_e$ ) is estimated from

$$(III) \quad T_e = \frac{T_a}{100-x} \cdot 100.$$

This equation presupposes crude fiber not to be lost during ensilage, which as it appears from *fig. 17*, is not quite true.

Next the digestibility coefficient for silage dry matter ( $F_e$ ) is calculated from that of crop dry matter, assuming that digestible dry matter only is decomposed, from

$$(IV) \quad F_e = \frac{F_a-x}{100-x} \cdot 100.$$

Supposing the gross energy content per kg dry matter in crop and silage to be equal, the proportion between feed units in silage ( $F_e$ ) and crop ( $F_a$ ) may be calculated from (II), (III) and (IV). One gets

$$(V) \quad \frac{F_e}{F_a} = \frac{(109.5 - \frac{T_a}{100-x} \cdot 100) \frac{F_a-x}{100-x} \cdot 100}{(109.5 - T_a) F_a},$$

from which the percentage loss of feed units can be calculated. Results of such calculations are shown in *fig. 19 and 20*. In *fig. 20* further the percentage loss of digestible dry matter calculated from (I) is shown.

For a normal grass crop containing 25 per cent crude fiber and having a digestibility coefficient for organic matter of 75, the loss of feed units will according to (V) be about 1.6 times that of dry matter in fair agreement with the experimental values found by *Jarl et al. (1948)* and *Honig (1969)*.

As previously mentioned the silage may be considered completely worthless if exposed to an oxygen supply of 15-25 g per 100 g dry matter corresponding to a dry matter loss of 10-25 per cent. The calculated loss of feed units from (IV) thus will be less than 40 per cent for totally worthless silage. This indicates that if feed value in silage is calculated from the commonly used equations the damage of oxidation will be underestimated, at any rate when the limit of condemnation is approached.

#### V. Supplementary reflections concerning estimation of ensiling loss

In silage experiments it is customary to estimate

ensiling loss as loss of dry matter, loss of organic matter, loss of feed units or other on basis of DM-loss calculated quantities.

As mentioned at page 21 the determination of dry matter loss may be very difficult due to different uncertainties in dry matter estimation. Furthermore it is doubtful if the dry matter loss would be an adequate measure of the ensiling loss even if it could be estimated exactly. There is several reasons for this.

As mentioned before both hydrolysis and condensation may occur during ensilage. By these processes the content of dry matter is changed but it must be assumed that the processes only affect the feeding value insignificantly.

The major part of the dry matter loss usually is caused by  $CO_2$ -evolution. Under anaerobic conditions the  $CO_2$ -evolution is followed by only a small loss of energy. Therefore it cannot be assumed that the corresponding dry matter loss per sé involves substantial decrease of feeding value. Decisive for the loss of feeding value will be if the compounds formed at the same time have a lower feeding value than the compounds from which they are formed. By alcohol fermentation thus the energy loss is less than 3 per cent, which indicates only a small loss of feeding value. Investigations of *Laube (1967)* and *Højland Frederiksen et al. (1968)*, however, suggest that the energy of alcohol is not utilized to the same degree as the energy of the compounds (sugar) from which it is formed, and the alcohol fermentation therefore must be considered an unfavorable process. By decarboxylation of di- and tricarboxylic acids the energy loss is negligible and there seems to be no rational reason to assume that the utilization of the resulting monocarboxylic acids should be inferior. These decarboxylation processes therefore must be considered harmless.

Due to the uncertainties both in estimation of dry matter loss and also in understanding of its significance it seems more rational to calculate the loss on the basis of calorimetry. Calorimetric measurements in crops and silage certainly will technically be more difficult, but will offer considerable advantages. Beside the already mentioned fact that the energy loss must be considered more closely connected to loss of feeding value than that of dry matter, it will also be an advantage that the loss by oxidation will be almost proportional to the amount of oxygen supplied irrespective of the compounds oxidized and the compounds formed,

the energy loss only varying from about 3250 to about 3600 kcal per kg. of O<sub>2</sub>. To obtain only a fairly precise estimate of energy loss during ensilage from chemical analyses will demand a very extensive analysis of crop as well as silage.

### VIII. Litteraturliste

- Fyrileiv, E.*, 1969: Noen resultater fra »Nofo's« ensileringsforsøk. Jord og Avling, 12, nr. 2, 7.
- Honig, H.*, 1968: Die Völkenroder Bilanzanlage für Silierversuche. Wirtsschaftseig. Futter, 14, 304.
- Honig, H.*, 1969: Der Einfluss unterschiedlich anaerobe Lagerungsbedingungen auf den Gärverlauf. Proc. 3rd Eur. Grass. Fed., 173.
- Højland Frederiksen, J. og Ochia, B.*, 1968: Foder-værdien af etanol og eddikesyre. Landøkonomisk Forsøgslaboratoriums efterårsmøde, Aarbo 1968.
- Højland Frederiksen, J.*, 1969: Beregning af foder-værdien i græsmarksafgrøder, røer og roetop. 371. ber. forsøgslab.
- Jarl, F. og Helleday, T.*, 1948: Ensileringsförsök ock utfodringsförsök med ensilage II. Husdjurs-försöksanstalten: Medd. nr. 37.
- Land Jensen, H., Nørgaard Pedersen, E. J., Møller, E., og Skovborg, E. B.*, 1969: Ensilering i stak eller silo. Tidsskr. f. Planteavl 73, 180.
- Laube, W.*, 1967: Zur Problematik der Silierung zuckerreicher Fütterstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Alkoholbildung. Tagungs-berichte 92, 169.
- McDonald, P., Henderson, A. R. og Mac Gregor, A. W.*, 1968: Chemical changes and losses during the ensilage of wilted grass. J. Sci. Fd. Agric. 19., 125.
- Nørgaard Pedersen, E. J. og Møller, E.*, 1965: Korrektion for tab af flygtige syrer ved tørstofbestemmelse i ensilage. Tidsskr. f. Planteavl, 69, 425.
- Olesen, Johs., Hedegaard, Jens og Hostrup, Svend B.*, (1969): Forsøg og undersøgelser vedrørende ensilering af kløvergræs. B. Søjleprøveundersøgelser med henblik på overfladeskader. Ber. Fællesf. 1969, 101.
- Whittenbury, R., McDonald, P. og Bryan-Jones, D. G.*, 1967: A short review of some biochemical and microbiological aspects of ensilage. J. Sci. Fd. Agric. 18, 441.
- Wieringa, G. W., Schukking, S., Kapelle, D. og de Haan, Sj.*, (1961): The influence of heating on silage fermentation and quality. Neth. J. Agr. Sci. 9, 159.
- Zimmer, E.*, 1964: Einfluss verschiedener Silierbedingungen auf den Gärverlauf, die Bildung organischer Sauren und die Verluste bei Luzerne. Landbauforsch. Völkenrode, 14, 23.
- Zimmer, E.*, 1969: Biochemische Grundlagen der Einsäuerung. Proc. 3rd. Eur. Grassl. Fed. 113.