

Energieverliezen bij het inkuilen van gras

Dr. ir. S. F. Spoelstra – Instituut voor Veevoedingsonderzoek 'Hoorn' te Lelystad

Verliezen door inkuilen worden meestal uitgedrukt als droge-stof-verliezen. Het is evenwel beter om verliezen uit te drukken als energie-verliezen. In dit artikel wordt nagegaan hoe het verband tussen verliezen aan droge stof en verliezen aan bruto-energie is ten gevolge van ensileren. Van de homogeen verdeelde verliezen, die optreden ten gevolge van ademhaling, fermentatie en eventueel perssappvorming, wordt een schatting van de grootte gegeven.

Inleiding

In ieder stadium van het silageproces treden verliezen op. De eerste verliezen treden reeds op bij het voorbereiden van het gras voor het ensileren. Deze verliezen kunnen worden omschreven als veldverliezen (door verademing, uitloging en verbrokkeling) en transportverliezen. Bij het inkuilen komen verliezen voor doordat in het begin van de ensilage lucht ingesloten is in het gras. Vaak kan na het inkuilen gedurende een periode nog lucht toetreden omdat de silo nog niet is afgesloten. Zodra afsluiting van de lucht heeft plaatsgevonden kunnen slechts verliezen voorkomen die door microbiële omzettingen (fermentatie) worden veroorzaakt. In die gevallen waar geen voordroogsilage wordt gemaakt kunnen ook nog perssappverliezen voorkomen. Bij het openen van een kuil treedt opnieuw lucht toe; de ademhaling door micro-organismen kan dan weer op gang komen en nabroeiverliezen geven. Tot slot gaat een gedeelte van het materiaal verloren bij het voeren.

Hier zullen alleen de verliezen die rechtstreeks bij het silageproces betrokken zijn worden besproken. Dit betekent dat veld-, transport- en voederverliezen buiten beschouwing blijven.

Omdat in Nederland overwegend voordroogkuilen worden gemaakt

zal het accent worden gelegd op silages met hogere ds-gehalten. Dit houdt ook in dat de perssappverliezen, die typisch zijn voor nattere kuilen, slechts globaal worden besproken.

De relatie tussen energie-verliezen en verlies aan droge stof

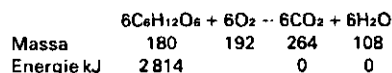
Verliezen door inkuilen worden meestal uitgedrukt als een percentage van de droge stof (ds). Weinig onderzoek is gedaan waarbij de energieverliezen werden bepaald.

Globaal kan worden gesteld dat verliezen door twee processen worden veroorzaakt. Namelijk door processen waarbij ademhaling een rol speelt (de aërobe processen) en door omzettingen die in afwezigheid van zuurstof verlopen (de anaërobe of fermentatieve processen).

Aërobe processen

Zuurstof

Zolang zuurstof in de kuil aanwezig is treden aërobe processen op. Het ds-verlies onder deze omstandigheden komt tot stand door verademing door plant en bacteriën en is rechtstreeks gekoppeld met energieverlies. Dit kan worden geïllustreerd met de verademing van een hexose:



De verademing van 1 mol hexose gaat gepaard met een ds-verlies van

180 g en een energieverlies van 2814 kJ. Daar kan worden aangenomen dat in een silage voornamelijk koolhydraten worden omgezet kan de bovengenoemde relatie worden gebruikt om uit het zuurstofverbruik van een silage of uit de koolzuurproductie onder aërobie een schatting te maken van het energieverlies.

Nitraat

Bij veel bacteriën kan nitraat de functie van zuurstof bij de ademhaling overnemen. Omdat gras steeds een hoeveelheid nitraat bevat geeft dit aanleiding tot energieverlies voor verademing. Afhankelijk van het bemestingsregiem kan gras 0,1–3% (% ds) nitraat bevatten. Het energieverlies dat optreedt bij de nitraatademhaling hangt af van de stikstofverbinding die uiteindelijk wordt gevormd (tabel 1). Uitgaande van 1% nitraat in de droge stof gaat bij volledige omzetting tot NO, N₂O, N₂ en NH₄ respectievelijk 52, 69, 86 en 138 kJ/kg ds verloren. Dit komt overeen met 0,28, 0,38, 0,46 en 0,75% energieverlies (als 1 kg ds = 18,4 MJ). Indien NH₄ het eindproduct is wordt een gedeelte van de energie vastgelegd in deze verbinding.

In natte silages met lage gehalten aan nitraat wordt dit geheel omgezet. In voordroogkuilen kunnen soms nog aanzienlijke hoeveelheden nitraat na afloop van de fermentatie aanwezig zijn.

Anaërobe processen

Terwijl er aëroob een duidelijk verband bestaat tussen ds-verlies en

Tabel 1 Verademing van hexose (H) met nitraat en nitriet als H-acceptor

| | | | | | | | | | |
|-----|---------------------------------|---|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| H + | 12 NO ₃ ⁻ | | → | 12 NO ₂ ⁻ | + | 6 H ₂ O | + | 6 CO ₂ | |
| H + | 8 NO ₂ ⁻ | + | 8 H ⁺ | → | 4 N ₂ | + | 10 H ₂ O | + | 6 CO ₂ |
| H + | 24 NO ₂ ⁻ | + | 24 H ⁺ | → | 24 NO | + | 18 H ₂ O | + | 6 CO ₂ |
| H + | 12 NO ₂ ⁻ | + | 12 H ⁺ | → | 6 N ₂ O | + | 12 H ₂ O | + | 6 CO ₂ |
| H + | 4 NO ₂ ⁻ | + | 8 H ⁺ | → | 4 NH ₄ ⁺ | + | 2 H ₂ O | + | 6 CO ₂ |

energieverlies is dit onder anaërobie geheel anders. Dit wordt duidelijk geïllustreerd in tabel 2. In deze tabel worden de ds-verliezen en de energieverliezen vergeleken, die optreden bij de belangrijkste biochemische omzettingen in een goed luchtdicht afgesloten kuil. Het blijkt dat de meeste fermentatieve omzettingen gepaard gaan met verlies aan droge stof (als CO₂), terwijl de energieverliezen gering zijn. Aanzienlijke energieverliezen zijn alleen te verwachten wanneer waterstofgas wordt gevormd. Dit energierijke gas vervluchtigt. In een kuilvoerfermentatie komt waterstofgas vrij bij de vorming van boterzuur en propionzuur. Bij de boterzuurgisting bedraagt het energieverlies per mol omgezet hexose 623 kJ. Indien propionzuur wordt gevormd zoals in tabel 2 weergegeven dan gaat per mol vergist hexose 406 kJ verloren.

Hoewel de vergisting van koolhydraten de belangrijkste factor is bij het verlies aan droge stof, treden er ook nog andere processen op.

Gras bevat op de ds-basis enkele procenten aan appelzuur en citroenzuur. Afhankelijk van de afbraakroute varieert het ds-verlies bij de afbraak van citroenzuur van 14 tot 46% en bij de omzetting van appelzuur van 21 tot 67%. De energieverliezen bij deze fermentatieve reacties zijn minder dan 1%.

Een nog moeilijker foutenbron in de schatting van het ds-verlies door fermentatie levert de decarboxylatie van aminozuren (aminozuur → amine + CO₂). De hoeveelheid aminen die wordt gevormd is afhankelijk van de snelheid van de verzuring. Gebaseerd op literatuurgegevens betreffende het aminegehalte in silages is berekend dat het ds-verlies van een kuil door decarboxylatie van aminozuren zal liggen tussen 0,1–1%. Deze reacties geven geen energiever-

lies. Bij toename van het ds-gehalte van silages neemt ook het gehalte aan aminen af.

De energie-inhoud van silages

Ten gevolge van de fermentatie zijn de ds-verliezen steeds groter dan de energieverliezen. Hierdoor neemt de energie-inhoud per eenheid massa in de silage toe. Gras en hooi hebben een energie-inhoud van 18,4–18,5 MJ/kg ds. Voor natte kuilen is een energie-inhoud van ongeveer 20 MJ/kg ds normaal. In voordroogsilages is de energie-inhoud ten gevolge van de geringere fermentatie-intensiteit lager dan die van natte kuilen. In dit artikel zal voor silages worden gerekend met een energie-inhoud van 18,4 MJ/kg ds.

Schatting van de energieverliezen in silages

Bij het maken van een silage zijn een aantal verliezen onvermijdelijk. Steeds zal zuurstof ingesloten zijn in de in te kuilen massa. Nitraat zal ook veelal aanwezig zijn er fermentatie vindt steeds plaats. Ook bij het openen van een kuil is de toevoer van luchtzuurstof niet te vermijden.

Ingesloten zuurstof

Geschat wordt dat ongeveer 1,5 cm³ lucht per gram ingekuuld gras in de silo wordt gebracht. Deze hoeveelheid lucht bevat 0,3 cm³ zuurstof. Een dergelijke hoeveelheid zuurstof zal snel worden verademd en geeft daarbij aanleiding tot een energieverlies van 6,3 kJ/kg vers gras. Afhankelijk van het ds-gehalte van het ingekuilde gras betekent dit een energieverlies van ongeveer 0,2%

bij 20% ds en 0,07% bij 50% ds. Mogelijk dat bij hoge ds-gehalten de hoeveelheid ingesloten zuurstof iets toeneemt omdat het materiaal volumineuzer wordt. Hakselen en aandrukken doet de hoeveelheid ingesloten zuurstof afnemen. Van ingesloten zuurstof kan evenwel niet worden verwacht dat het rechtstreeks aanleiding geeft tot noemenswaardige energieverliezen. Echter wanneer nat materiaal wordt ingekuuld met kritische hoeveelheden vergistbare koolhydraten dan kan een verhoging van de hoeveelheid ingesloten zuurstof een duidelijk verminderde kwaliteit silage geven, omdat ongewenste fermentatie (bij voorbeeld boterzuurgisting) gaat optreden.

Toevoer van zuurstof na ensileren

In een silo kan zuurstof toetreden zolang de silo nog niet is afgedicht. Deze toestand doet zich voor wanneer het vullen van een silo in meerdere dagen gebeurt. Verder kan blijvend zuurstof toetreden indien de afdichting onvoldoende is. De invloed van deze twee facetten zijn niet goed van elkaar te scheiden.

Bij uitgesteld afdichten kunnen dezelfde effecten op het energieverlies worden verwacht als bij grote hoeveelheden ingesloten zuurstof. Een direct energieverlies door verademing en mogelijk een indirect effect doordat in de opvolgende fermentatie de verliezen ten gevolge van boter- en propionzuurgisting groter worden. Uit de gehalten aan boter- en propionzuur, zoals die in slechte natte kuilen worden aangetroffen kan worden geconcludeerd, dat het energieverlies door deze ongewenste gistingen zelden de 2% overschrijdt.

De invloed van zuurstof is waarschijnlijk het beste voor te stellen als een voortschrijdend proces. Eerst wordt in de buitenste laag zuurstof verbruikt, is het oxideerbare materiaal hier verademd dan dringt zuurstof verder door.

Het doordringen van zuurstof verslechtert de kwaliteit van de randlaag op diverse manieren. De voederwaarde neemt af doordat koolhydraten worden verademd. Omdat hierbij warmte vrijkomt is verademing een proces dat zich zelf versnelt. Verliezen door broei kunnen het gevolg zijn. Ten gevolge van het

Tabel 2 Reactieschema's van fermentatieve omzettingen in kuilvoer

| Reactievergelijking | Verlies (%) | |
|---|-------------|---------|
| | Droge stof | Energie |
| (Hexose) n + n H ₂ O → n hexose | - 11,1 | 0,7 |
| Hexose → 2 melkzuur | 0 | 3,1 |
| Pentose → 1 melkzuur + 1 azijnzuur | 0 | 4,7 |
| Hexose → 1 melkzuur + 1 alcohol + 1 CO ₂ | 26 | 2,8 |
| 3 Hexose → 1 melkzuur + 1 azijnzuur + 2 mannitol | 8,5 | 1,4 |
| Hexose → 2 alcohol + 2 CO ₂ | 51 | 2,5 |
| Hexose → 1 boterzuur + 2 CO ₂ + 2 H ₂ | 51,1 | 22,1 |
| Hexose → 1 propionzuur + 1 azijnzuur + CO ₂ + H ₂ | 25,6 | 14 |

teruglopen van het gehalte aan vergistbare koolhydraten neemt de kans op boterzuurgisting toe. Ook door het hoger vochtgehalte ten gevolge van condensvorming en door schimmelgroei kan de kwaliteit van de randlaag negatief worden beïnvloed.

De dikte van de randlaag is afhankelijk van de luchtdoorlatendheid van de afdekking en van de dichtheid van het geënsileerde gras. De dichtheid van het materiaal neemt toe met het ds-gehalte en met de afname van de lengte van het gras. Hakselen verhoogt de dichtheid en daarmee de weerstand tegen het indringen van zuurstof.

Energieverlies door fermentatie

In het voorgaande is er enkele malen op gewezen dat de toevoer van zuurstof in een silage de fermentatie in ongewenste richting kan beïnvloeden. Als geen stabiele kuil ontstaat kunnen aanzienlijke hoeveelheden boterzuur ontstaan.

In tabel 3 is uit gegevens van verschillende auteurs een schatting gemaakt van het energieverlies voor fermentatie. Hierbij is ervan uitgegaan dat per mol gevormd melkzuur, azijnzuur, propionzuur, boterzuur, ethanol en mannitol respectievelijk 44, 63, 406, 623, 38 en 6 kJ verloren zijn gegaan. Bij een dergelijke benadering worden de verliezen onderschat omdat behalve de hoofdcomponenten ook nog een groot aantal andere producten in geringere concentraties ontstaan. Hierbij kan worden gedacht aan vertakte vluchtige vetzuren en andere afbraakproduk-

ten van aminozuren, andere alcoholen dan ethanol, esters en andere neutrale fermentatieproducten. De concentraties van deze verbindingen in kuilvoer liggen tussen de enkele mg/kg ds en enkele g/kg ds. Gezien deze geringe gehalten kan het energieverlies dat bij de vorming van deze verbindingen wordt geleden worden verwaarloosd zonder dat de waarde van de berekeningsmethode hierdoor wordt aangetast. Een deel van de energie die bij de fermentatieve omzettingen vrijkomt wordt door de bacteriën benut om celmateriaal op te bouwen. Dit deel van de energie gaat niet verloren maar is in bacteriemateriaal geconserveerd. Ook de aldus toch nog geconserveerde energie is kwantitatief niet van betekenis.

Samenvattend kan worden gesteld dat hoewel bij de bovengenoemde benadering de energieverliezen worden onderschat de gemaakte absolute fout in het algemeen niet groot zal zijn.

Uit tabel 3 blijkt dat de verliezen ten gevolge van fermentatie zelden de 1% zullen overschrijden. In voordroogkuilen zijn de energieverliezen afhankelijk van het ds-gehalte nog aanzienlijk kleiner.

Dat deze verliezen gering zijn kan nog worden geïllustreerd door het energieverlies te schatten dat optreedt ten gevolge van een geheel homofermentatieve melkzuurgisting in een silage. In een natte silage is 50–60 g melkzuur/kg ds nodig om de pH op 4.0 te brengen. Bij de vorming van 60 g melkzuur uit glucose gaat 30 kJ verloren. Dit komt overeen met een energieverlies in de kuil van 0,16%.

Verliezen door perssap

Bij het inkuilen van niet of niet voldoende voorgedroogd materiaal treden verliezen op door de vorming van perssap. De grootte van deze verliezen is afhankelijk van het ds-gehalte van het ingekuilde materiaal en van de aard van de afdekking.

De verliezen door perssap in natte kuilen kunnen zeer aanzienlijk zijn. De energieverliezen in een kuil met 20% ds bedragen 3–6%. Voor rijkuilen ligt de grens voor de vorming van perssap bij ongeveer 25% ds. In hogere silo's en met name in torensilos neemt de druk op het kuilvoer toe en daarmee de perssapverliezen. Ook door het gebruik van conserveermiddelen, die plasmolyse bevorderen kunnen deze verliezen iets toenemen.

Nabroei

Bij het openen van silages voor het voeren wordt het kuilvoer opnieuw aan de lucht blootgesteld. Vaak geeft het opnieuw toetreden van zuurstof aan de nog aanwezige (facultatief) aërobie micro-organismen de kans om zich te gaan ontwikkelen. Hierbij kunnen de resterende hoeveelheden suikers en de zuren die tijdens de fermentatie gevormd zijn worden verademd. Wanneer dit proces eenmaal op gang is gekomen heeft het de neiging zich zelf te versnellen door de temperatuurstijging waarmee oxydatieve afbraak vergezeld gaat. Dit kan gepaard gaan met grote verliezen. In één week kan 15 tot 30% van de bruto-energie verloren gaan.

Invloed van de fermentatie op de nabroei

Door vele onderzoekers is geconstateerd, dat niet alle silages even gevoelig zijn voor nabroei. Geprobeerd is om een verklaring te vinden voor het verschil in nabroei gevoeligheid van verschillende silages op grond van chemische en micro-biologische parameters. Silages met een hoog gehalte aan gisten (>10⁶/g) gaan gemakkelijk over tot nabroei. Met name de lactaatvergistende gisten zouden hiervoor verantwoordelijk zijn. Hoge aantallen gisten kunnen in een kuil voorkomen wanneer tijdens het begin van het inkuilproces gedu-

Tabel 3 Energieverliezen door fermentatie (%)

| % DS | Bijzonderheden | Berekend energieverlies | Referentie |
|-------|-------------------------------|-------------------------|------------|
| 19 | 10% melkzuur in de ds | 0,6 | (6) |
| 17 | 3,5% melkzuur in de ds | 1,5 | (6) |
| 18 | 10% azijnzuur in de ds | 0,8 | (6) |
| 31 | Voordroogkuil | 0,4 | (6) |
| 21 | Conserveermiddel toegevoegd | 0,2 | (5) |
| < 25 | 4 silages gemiddeld 2,1% bz.* | 1,3 | (7) |
| 25–30 | 6 silages gemiddeld 1,3 bz. | 0,9 | (7) |
| 30–40 | 4 silages gemiddeld 0,3 bz. | 0,5 | (7) |
| 40–50 | 5 silages gemiddeld 0,8 bz. | 0,6 | (7) |
| 50–60 | 5 silages gemiddeld 0,1 bz. | 0,3 | (7) |
| > 60 | 5 silages gemiddeld 0,03 bz. | 0,1 | (7) |

* % boterzuur in de ds

rende langere tijd zuurstoftoevoer mogelijk was. Evenwel zijn er silages die een hoog kiemgetal voor gisten paren aan een goede stabiliteit. In dit soort silages wordt vaak een hoge concentratie van boterzuur, propionzuur en/of andere vetzuren aangetroffen. Ongedissociëerd propionzuur en boterzuur hebben een remmende invloed op de groei van gisten. Deze en andere vetzuren zijn dan ook veevuldig getest op de mogelijkheid om via toevoeging nabroei te voorkomen.

In de praktijk komen slechte silages voor met veel boterzuur en propionzuur en geen lactaat, die zeer stabiel zijn voor nabroei; terwijl goede kuilen soms zeer gevoelig kunnen zijn. Met het huidige inzicht kunnen er wel enige relaties worden gelegd tussen het verloop van het fermentatieproces en de nabroei-gevoeligheid. Maar er blijven te veel onopge-

loste vragen om deze invloeden te kunnen kwantificeren.

Nabroei-verliezen

Van de nabroei-verliezen die optreden bij de verschillende methoden om een silo met voordroogkuil te legen zijn voor de Nederlandse situatie geen cijfers beschikbaar. Om toch een indruk te geven van de orde van grootte van deze verliezen zijn in tabel 4 cijfers van Duitse origine weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat de nabroei-verliezen afhankelijk zijn van de nabroei-gevoeligheid, de duur van de aërobe periode en van de dichtheid van de silage. De dichtheid van de silage kan negatief worden beïnvloed door leeghaaltechnieken die een deel van het materiaal losmaken. De snelheid van legen is bepalend voor de duur van de aërobe periode.

Tabel 4 Nabroei-verliezen (% ds) (naar Honig, 5)

| Dichtheid van de kuil | Nabroei-gevoeligheid | Duur van de geopende bewaring (dagen) | | |
|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|-----|------|
| | | 1 | 2 | 4 |
| Vastgepakt | groot | 0,3 | 1,5 | 6,0 |
| Vastgepakt | gering | 0,1 | 0,4 | 1,3 |
| Losgepakt | groot | 2,0 | 7,0 | 15,0 |
| Losgepakt | gering | 0,5 | 1,5 | 3,5 |

Tabel 5 Verliezen door oneetbaar voer bij verschillende ensilagetechnieken

| Capaciteit van de silo | % DS | % Oneetbaar ^a | % DS verlies | Referentie |
|------------------------|------|--------------------------|--------------|------------|
| 3 ton ^b | 16 | 43 | 20 | (4) |
| 30-35 ton ^c | 21 | 42 | 32 | (1) |
| 30-35 ton ^d | 21 | 27 | 21 | (2) |
| 30-35 ton ^e | 48 | 70 | 18 | (3) |
| 30-35 ton ^f | 48 | 11 | 7 | (3) |

^a Inclusief ds-verliezen.

^b Afgedicht na 3 dagen. Gemiddelde van 2 silages.

^c Geen afdichting: 'warme silage'. Gemiddelde van 4 silages.

^d Geen afdichting: 'koude silage'. Gemiddelde van 4 silages.

^e Geen afdichting. Gemiddelde van 2 silages.

^f Afgedicht met plasticfolie. Gemiddelde van 2 silages.

Tabel 6 De invloed van de fermentatie op de verteerbaarheid van organische stof en energie

| Parameter | Gras | Verlies | Kuilvoer |
|---------------------------------|--------|---------|--------------------------|
| Massa (g) | 1 000 | 42 | 958 |
| Energie (kJ/kg ds) | 17 740 | 89 | 18 425 (17 651 kJ/958 g) |
| Verteerbare organische stof (%) | 70,00 | 6 | 68,68 |
| Verteerbare energie (%) | 70,00 | 0,72 | 69,85 |
| Verteerbare energie (kJ/kg ds) | 12 418 | 89 | 12 870 (12 329 kJ/958 g) |

Verliezen door oneetbaar materiaal

Behalve dat energieverliezen optreden bij de verschillende deelaspecten van het silageproces, kan ten gevolge van ongewenste fermentatie, verschimmeling en dergelijke een deel van het voer onbruikbaar worden. Dit deel van de kuil moet dan als totaal verloren worden beschouwd. Met name randlagen worden vaak weggegooid.

Een chemisch of microbiologisch criterium voor wat oneetbaar is kan niet worden gegeven.

In de literatuur zijn desalniettemin door enkele auteurs schattingen gemaakt van de verliezen aan oneetbaar materiaal in relatie tot de ds-verliezen (tabel 5). Uit de gegevens uit deze tabel blijkt dat de verliezen bij een slechte ensilagetechniek kunnen oplopen tot 40% en meer.

Verandering in verteerbaarheid

Door inkuilen gaat een gedeelte van de droge stof en van de energie van het ingekuilde materiaal verloren. Tijdens het silageproces wordt alleen microbiologisch gemakkelijk afbreekbaar materiaal omgezet. Met andere woorden een deel van het materiaal dat potentiëel door de herkauwer kan worden benut gaat verloren. Logischerwijs betekent dit dat het percentage niet benutbaar materiaal toeneemt en dus nemen de percentages verteerbare organische stof en verteerbare energie af.

In tabel 6 is in een rekenvoorbeeld aangegeven hoe het ds-verlies en energieverlies doorwerken in de verteerbaarheid van het uiteindelijke produkt. Ook experimenteel is vastgesteld dat de verteerbaarheid door ensilieren afneemt.

Het is denkbaar dat verteerbaarheid van silages verandert doordat verteerbaar materiaal wordt omgezet in onverteerbaar materiaal. Daar de verteerbaarheid in goede silages vergelijkbaar zijn met wat mag worden verwacht op grond van de ds- en energieverliezen is dit niet waarschijnlijk. Dit met uitzondering van silage waarin broei is opgetreden. In dergelijke silages neemt met name de verteerbaarheid van eiwit af.

Samenvatting en conclusie

In het voorgaande is geprobeerd deelverliezen van het silageproces te kwantificeren. Om de totale verliezen te schatten lijkt een verdeling in drie categorieën gewenst.

- Verliezen die in de gehele kuil in dezelfde mate worden geleden (homogene verliezen).
- Verliezen die direct of indirect door de aard, vorm of grootte van de silo worden bepaald (silo-afhankelijke verliezen).
- Nabroeiverliezen.

Homogeen verdeelde verliezen

Min of meer homogeen over de hele kuil worden verliezen veroorzaakt door ingesloten zuurstof, nitraatomzettingen, gewenste en ongewenste fermentatie en bij natte kuilen door perssap.

De verliezen door ingesloten zuurstof liggen rond de 0,2%. Het is mogelijk dat de relatieve verliezen iets afnemen met stijgend ds-gehalte.

De verliezen door nitraat-ademhaling en verwante processen zijn afhankelijk van het nitraatgehalte in het gras en van de bacteriële activiteit. De bacteriële activiteit is laag bij hoge ds-gehalten. De energieverliezen door nitraatomzettingen kunnen worden geschat op 0–1,5%. Deze schatting is gebaseerd op berekeningen. Informatie over de mate van nitraatomzettingen en de aard van de gevormde producten is in onvoldoende mate voorhanden.

De verliezen door gewenste fermentatie nemen af met toenemend ds-gehalte. Bij 20% ds zal het energieverlies ongeveer 0,5–0,9% bedragen. Bij hoge ds-gehalten loopt dit terug tot ongeveer 0,1% bij 70% ds.

De aard van de fermentatie (heterolactic, homolactic, azijnzuur en alcohol) heeft geen invloed op de grootte-orde van het energieverlies.

Door de ongewenste boter- en propionzuurgisting kan in natte kuilen maximaal 2–3% van de energie verloren gaan. In voordroogkuil neemt dit percentage af. Ruwweg kan gesteld worden dat boven de 40% ds de vorming van boterzuur en propionzuur van ondergeschikt belang is.

Een schatting van de homogene verliezen is samengevat in tabel 7.

Silo-afhankelijke verliezen

De verliezen die veroorzaakt worden door zuurstoftoevoer na afsluiten zijn afhankelijk van de kwaliteit van de afdichting en van de zuurstofdoorlatendheid van het ingekuilde materiaal. Daar de invloed van zuurstof in de tijd van buiten naar binnen voortschrijdt zijn de verliezen ten gevolge van dit proces misschien het beste uit te drukken als een randlaagdikte. Bij een dergelijke benadering wordt de invloed van verschillende manieren van afdichten, grootte van de silo op de verliezen duidelijk.

Uit de literatuur (voornamelijk Duitse) blijkt dat bij een goede werkwijze de silo-afhankelijke verliezen al de homogeen verdeelde energieverliezen overtreffen. Bij onzorgvuldig werken kunnen de silo-afhankelijke verliezen zelfs veel groter worden.

Nabroeiverliezen

De nabroeiverliezen kunnen in een broeigevoelige kuil bij zeer onzorgvuldig handelen oplopen tot 30%. Bij snel vervoederen en goede technieken zullen de verliezen beperkt zijn.

Voor een goede kwantificering van de nabroeiverliezen en het relateren van deze verliezen aan de vooraf gegaane fermentatie ontbreken de gegevens en het inzicht.

Verliezen door onetbaar voer

Zowel bij de homogene-, de silo-afhankelijke als de nabroeiverliezen is het mogelijk dat voer ontstaat met een dusdanige kwaliteit dat het als niet vervoederbaar moet worden beschouwd. In een dergelijke situatie zijn de werkelijke energieverliezen 100%. Evenwel goede (chemische) criteria voor wat niet vervoederbaar is ontbreken, zodat ook hier kwantificering niet mogelijk is.

Referenties

- Brown, W. O. en Kerr, J. A. M. Losses in the conservation of grassland herbage in lined trench silos. I. A comparison of long and lacerated silages by warm fermentation process. *J. Agric. Sci.* 64 (1964), 135–141.
- Brown, W. O. en Kerr, J. A. M. Losses in the conservation of grassland herbage in lined trench silos. II. Comparison of lacerated silages of low and high dry matter content by the cold fermentation process. *J. Agric. Sci.* 64 (1965), 143–149.
- Brown, W. O. en Kerr, J. A. M. Losses in the conservation of heavily wilted herbage sealed in polythene film in trench silos. *J. Br. Grassld. Soc.* 20 (1965), 227–232.
- Henderson, A. R. en McDonald, P. The effect of delayed sealing on fermentation and losses during ensilage. *J. Sci. Food Agric.* 26 (1975), 653–667.
- Honig, H. Umsetzungen und Verluste bei der Nachgärung. *Wirtschaftseigene Futter* 21 (1975), 25–32.
- McDonald, P. en Edwards, R. A. The influence of conservation methods on digestion and utilization of forages by ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 35 (1976), 201–211.
- Nørgaard Pedersen, E. J. en Witt, N. Forsøg med ensilering af fortørret kløvergræs. *Tidsskrift for planteavl* 78 (1974), 248–262.

Tabel 7 Homogeen verdeelde energieverliezen in silages (%)

| Verliezen veroorzaakt door | %DS | | | |
|----------------------------|----------|---------|---------|---------|
| | 20 | 30 | 40 | 60 |
| Ingesloten zuurstof | 0,1–0,2 | 0,1–0,2 | 0,1–0,2 | 0,1–0,2 |
| Nitraat* | 0 –1,5 | 0 –1,0 | 0 –0,4 | 0 –0,2 |
| Gewenste fermentatie | 0,5–0,9 | 0,3–0,7 | 0,1–0,5 | 0,1–0,3 |
| Ongewenste fermentatie | 0 –3,0 | 0 –1,0 | 0 –0,3 | 0 –0,1 |
| Perssap | 3 –6 | 0 –0,5 | 0 | 0 |
| Totaal | 3,6–11,6 | 0,4–3,4 | 0,2–1,4 | 0,2–0,8 |

* Onbetrouwbare schattingen