

Das Fraktionieren von Gras

Von Wolfgang Heier, Göttingen*)

DK 636.085.51:66.06:66.08

Die bei der Halmguternte auftretenden Verluste lassen sich durch möglichst rasches Absenken der Gutfeuchte verringern. Dabei sind aus wirtschaftlichen Gründen mechanische Entfeuchtungsanlagen den thermischen vorzuziehen. Das Ziel der dazu durchgeführten Untersuchungen bestand in der Entwicklung eines Verfahrens, das eine Verwendung aller anfallenden Produkte ermöglicht und hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Betriebssicherheit und Kosten für den praktischen Einsatz innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebs in Frage kommen kann.

1. Einleitung

Die Fraktionierung von Halmfütterpflanzen hat das Ziel, eine verlustarme, wetterrisikoarme und mit geringem Energiebedarf durchführbare Ernte und Konservierung von Halmfütter zu ermöglichen und eine bislang kaum genutzte Proteinquelle für die Tierernährung zu erschließen [1 bis 4]. Bei herkömmlichen Halmguternteverfahren erfolgt die Konservierung durch Reduzierung der Gutfeuchte (Heuwerbung) oder durch einen gezielten Gärprozeß (Silagebereitung). Eine hohe Nährstoffkonzentration läßt sich durch die Ernte von jungem Gras erzielen, doch muß dessen Feuchtegehalt direkt nach dem Schnitt möglichst schnell so stark gesenkt werden, daß eine verlustarme Silierung ($U = 65\%$) oder eine Konservierung als Heu ($U = 20\%$) möglich ist [5].

Eine rein thermische Entwässerung (Heißlufttrocknung) des erntefeuchten Grases ist bei den heutigen Energiekosten kaum noch wirtschaftlich, doch kann durch mechanische Entfeuchtungsverfahren bei deutlich geringerem Energiebedarf ein großer Teil der ursprünglichen Gutfeuchte entfernt werden [6, 7]. Dabei wird mit dem Wasser ein Teil der im Pflanzensaft gelösten Nährstoffe abgetrennt [3, 8]. Durch Rückgewinnung und Konzentrierung dieser Nährstoffe, insbesondere des Rohproteins, kann zusätzlich zur Rauhfuttermittelherstellung für Wiederkäuer ein besonders für Monogastrier (Tiere mit einhöhligen Magen) geeignetes Eiweißfüttermittel geschaffen werden.

Am Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen wurden die mechanische Entwässerung von Gras [8] und die Gewinnung von Eiweißkonzentraten aus dem Saft von Gräsern und Luzerne [9] untersucht. Das Ziel der jetzigen Arbeiten [10] besteht in der Entwicklung eines für den Einsatz in landwirtschaftlichen Betrieben geeigneten Grasernteverfahrens, bei dem durch Fraktionierung von Gras, Silierung des Preßkuchens und Konzentrierung der im Grassaft enthaltenen Nährstoffe die bei den bisherigen Verfahren auftretenden Verluste gesenkt werden. Ein solches Grasernteverfahren besteht aus folgenden Verfahrensschritten:

1. Ernte und Aufschluß
2. Trennen in Preßsaft und Preßkuchen
3. Konzentrieren der im Saft enthaltenen Nährstoffe
4. Konservieren der Produkte.

*) Dipl.-Ing. W. Heier ist wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Agrartechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. F. Wieneke) der Universität Göttingen.

Den Ablauf des Verfahrens zeigt Bild 1.

Zwischen 1980 und 1982 wurden die einzelnen Verfahrensschritte an Reinsaat von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) und Lieschgras (*Phleum pratense*) sowie an einem Mischgrasbestand, der hauptsächlich Weidelgras, Lieschgras, Knaulgras und Weißklee enthielt, untersucht. Für die Versuche wurden die Versuchsmaterialien in 2 Schnitten geerntet.

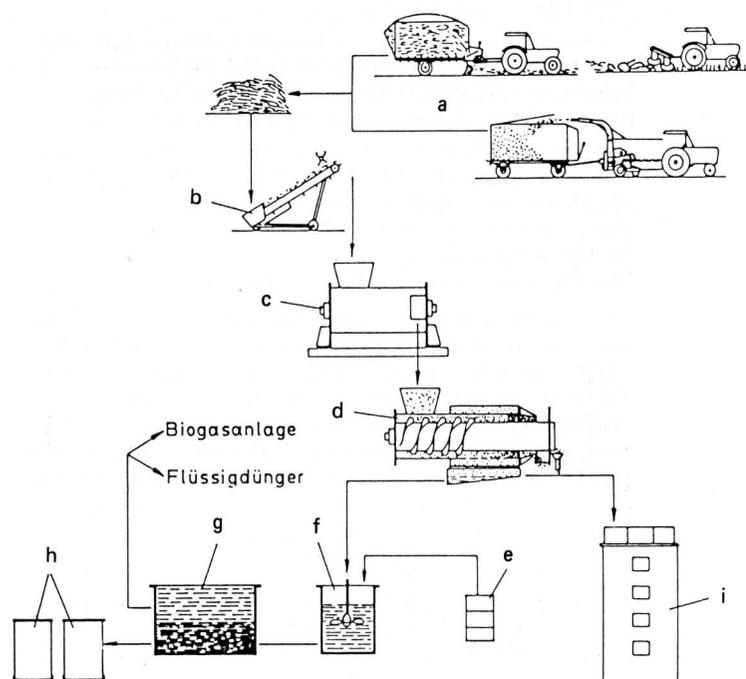


Bild 1. Herstellung von Preßkuchensilage und Rohproteinkonzentrat durch Fraktionieren von erntefrischem Gras.

- | | |
|--------------------|---|
| a Grasernte | f Mischstation |
| b Dosierstation | g Sedimentationsbehälter |
| c Hammerprallmühle | h Lagerbehälter für pastöses Rohprotein |
| d Schneckenpresse | i Silo für Preßkuchensilage |
| e Säurebehälter | |

2. Ernte und Aufschluß

Die Grasernte kann mit den üblichen Mäh- und Transportgeräten durchgeführt werden (Balken-, Trommel- und Schlegelmäher sowie Ladewagen). Dabei ist insbesondere beim Schlegelmäher darauf zu achten, daß eine Verunreinigung des Halmguts durch Erde und Staub möglichst unterbleibt, weil dadurch der Aschegehalt im abgepreßten Grassaft ansteigt und somit dessen Rohproteinkonzentration abnimmt. Auch wird die Qualität des Preßkuchens, ähnlich wie bei der Bereitung von Silage, durch zu hohe Gehalte an Sand und Asche im Gras negativ beeinflusst.

Für eine effiziente mechanische Saftabtrennung durch Pressen ist es erforderlich, eine möglichst große Anzahl von Pflanzenzellen aufzuschließen, wobei eine gewisse Faserstruktur des Materials wegen seiner beabsichtigten Verwendung als Wiederkäuerfutter erhalten bleiben muß. Ein derartiger Aufschluß des Halmguts kann durch mechanische, thermische, chemische und elektrische Verfahren erfolgen. Näher untersucht wurde der Aufschluß durch Hochfrequenzenergie [11] und durch eine Vielzahl mechanischer Verfahren [1, 8, 9, 12].

Aufgrund ihrer Wirksamkeit, Leistungsfähigkeit und Kosten kommen derzeit nur mechanische Aufschlußverfahren für den Einsatz innerhalb eines Ernteverfahrens in Frage. Eine technische Realisierung geeigneter Beanspruchungsverhältnisse kann durch dynamische Bearbeitung des Halmguts mit schnell umlaufenden Schlagwerkzeugen [1, 9, 10] oder durch Umformung in Matrizenpressen [13] erfolgen. Pflanzenart, Pflanzenalter und Feuchtegehalt sind von entscheidender Bedeutung für Wirksamkeit, Durchsatz und Energiebedarf der Aufschlußmaschinen. Blattreiches Gut (Luzerne) kann durch Extrusion gut aufgeschlossen werden, während Halmgut mit geringem Blattanteil (Gras) durch rotierende Hämmer am effektivsten aufgeschlossen wird.

Für den Aufschluß von Gras wurde am Institut für Agrartechnik eine besondere Hammerprallmühle entwickelt, in der das Gras durch schwere, rotierende Hämmer sowie beim Aufprall auf innen an dem geschlossenen Stator angebrachte Prallrippen zerschlagen und zerrieben wird. Bild 2 zeigt den Aufbau der Versuchsmaschine, deren Stator einen Durchmesser von 0,3 m und eine Länge von 0,65 m hat. Die Schneckenwendel bewirkt, daß sich das Gras wie auf einer Schraubenlinie bewegt und dabei einen Weg von ungefähr 2,3 m zurücklegt. Im Rotor sind insgesamt 12 schwere Hämmer paarweise gegenüberliegend angeordnet, die wegen ihrer drehbaren Aufhängung Hindernissen wie z.B. Steinen ausweichen können. Die Rotordrehzahl beträgt 2000 min^{-1} , so daß die Hämmer eine Umfangsgeschwindigkeit von 30 m/s erreichen.

Das mit dieser Hammerprallmühle aufgeschlossene Gras hat Partikellängen von 30 bis 50 mm, eine Schüttdichte von 300 kg/m^3 und eine derartig zerstörte Oberfläche, daß schon mit der Hand Saft abgepreßt werden kann. Eine Beurteilung der Qualität des Aufschlusses erfolgt durch Ermittlung der bei einem bestimmten Preßdruck und einer bestimmten Druckhaltezeit aus einer vorgegebenen Menge aufgeschlossenen Grasses abgepreßten Saftmenge.

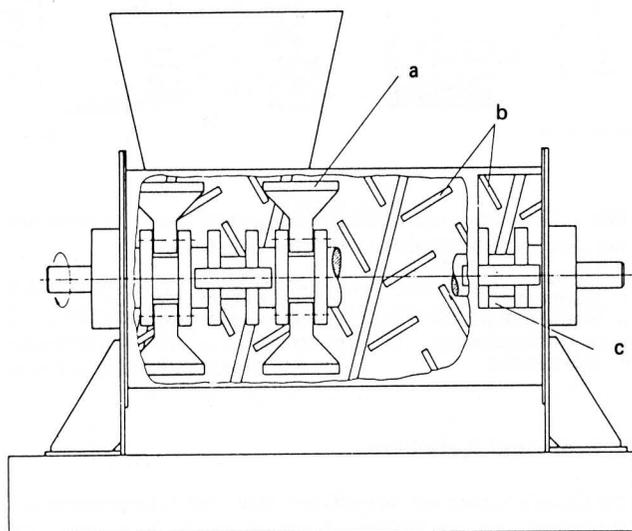


Bild 2. Hammerprallmühle zum Aufschluß von Gras vor dem Abpressen.

- a rotierende Hämmer, beweglich aufgehängt
- b Prallrippen
- c Auswurföffnung

Der Abpreßgrad oder Massentrennfaktor a_m in Prozent gibt das Verhältnis zwischen abgepreßter Saftmasse m_{Saft} zu der Masse des aufgeschlossenen Grasses m_{Gras} an und dient zur Beurteilung sowohl des Aufschlusses als auch des Preßvorgangs:

$$a_m = 100 m_{\text{Saft}}/m_{\text{Gras}} \quad (\%) \quad (1)$$

Bild 3 zeigt, daß bei vergleichbaren Werten der Preßdauer und selbst bei deutlich geringerem Preßdruck von nur 4 bar in der Schneckenpresse gegenüber 20 bar in der Kolbenpresse aus dem mit der Hammerprallmühle aufgeschlossenen Gras ein wesentlich größerer Anteil Saft abgepreßt werden kann als nach dem Aufschluß mit anderen Verfahren. Somit stellt das in der Hammerprallmühle angewandte Prinzip der schlagenden und reibenden Bearbeitung des Grasses hinsichtlich der Arbeitsqualität ein geeignetes Verfahren des Grasaufschlusses vor dem Pressen dar.

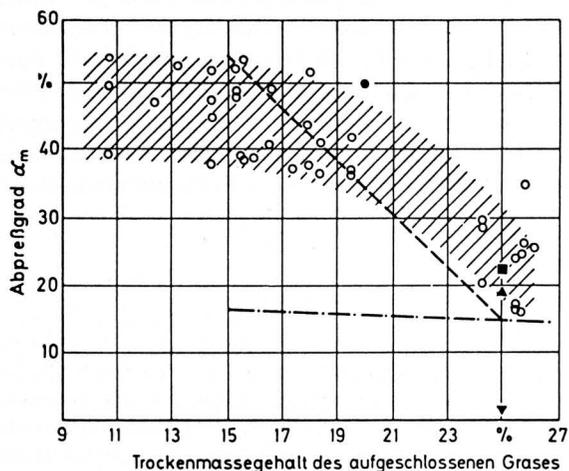


Bild 3. Abpreßgrad (Anteil der abgetrennten flüssigen Masse) nach Aufschluß von Gras mit unterschiedlichen Aufschlußverfahren; soweit nicht anders angegeben bei $p_p = 20 \text{ bar}$ und $t_p = 20 \text{ s}$.

Hammerprallmühle und Schneckenpresse $p_p = 4 \text{ bar}$, $t_p = 10-40 \text{ s}$

- Hammerprallmühle und Kolbenpresse
- Hammermühle und Kolbenpresse^{a)}
- · - Muser und Kolbenpresse^{a)}
- Quetschwalzen, Fräse und Kolbenpresse^{b)}
- ▲ Fräse und Kolbenpresse^{b)}
- ▼ Kolbenpresse^{b)}

a) nach Kohlheb b) nach Wiezer

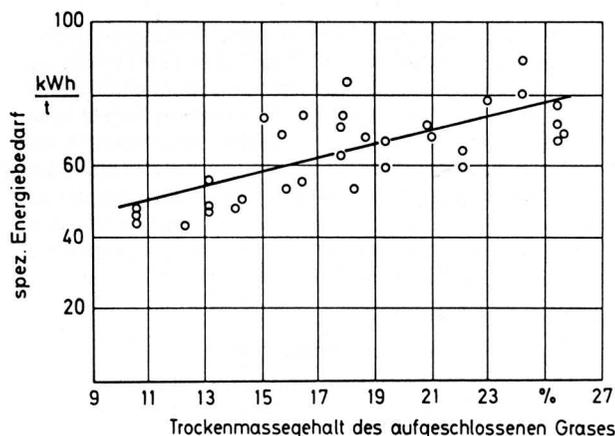


Bild 4. Auf die Trockenmasse bezogener Energiebedarf beim Aufschluß von Gras mit der Hammerprallmühle.

Der spezifische, d.h. auf die Masse der Trockensubstanz bezogene Energiebedarf der Hammerprallmühle beim Aufschluß von Gras wird von dessen Festigkeit und den Reibungsverhältnissen zwischen dem Gras und den Hämmern oder Prallrippen beeinflusst. Mit zunehmendem Alter des Grasses steigen dessen Trockenmassegehalt und Festigkeit, so daß, wie Bild 4 zeigt, auch der spezifische Energiebedarf ansteigt. Für die in Bild 4 dargestellte Regressionsgerade, deren mittlerer Fehler zu 12,1 % ermittelt wurde, gilt folgende Gleichung:

$$L_{TM} = 1,92 Z + 28,48 \text{ (kWh/t)} \quad (2),$$

wobei Z den Trockenmassegehalt des aufgeschlossenen Grasses in Prozent angibt.

Eine Verkürzung des Grasses auf die Länge des aufgeschlossenen Materials kann durch Häckseln vor dem Einspeisen in die Hammerprallmühle erfolgen. Das gehäckselte Gras hat gegenüber dem nur mit dem Kreiselmäher gemähten eine mehr als verdoppelte Schüttdichte von 166 kg/m³, so daß bei gleichen Maschinenabmessungen und Verweilzeiten ein höherer Durchsatz der Hammerprallmühle möglich ist. Da die Hammerprallmühle kaum noch Arbeit zur Verkürzung des Grasses verrichten muß und weil die Messer des Häckslers für eine Materialverkürzung die besser geeigneten Werkzeuge darstellen, ergibt sich beim Einsatz des Häckslers vor der Hammerprallmühle ein insgesamt niedrigerer Energiebedarf für den Grasaufschluß. Die Verkürzung des Grasses vor Eintritt in die Hammer-

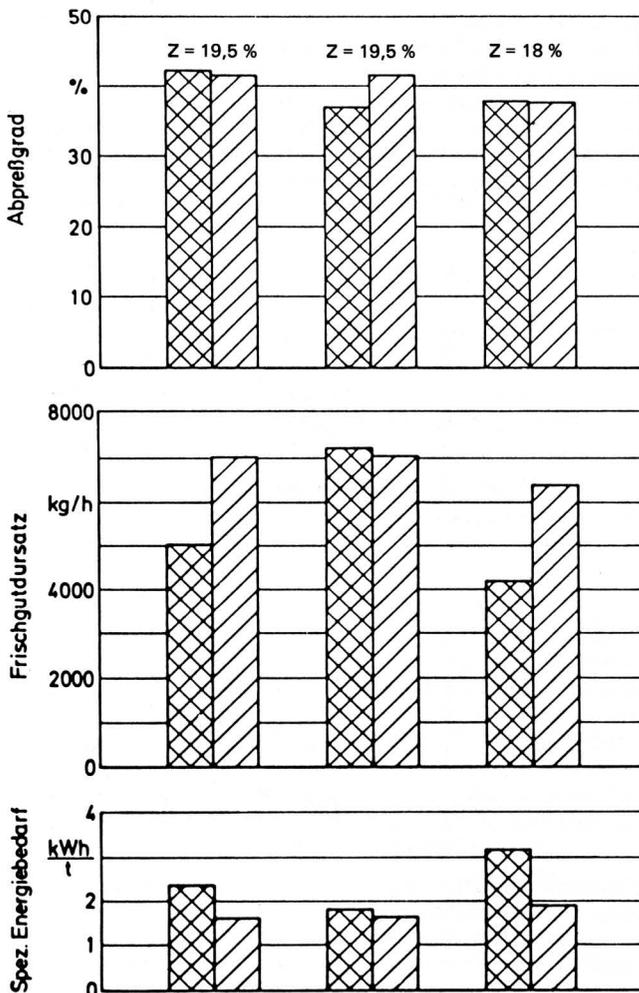


Bild 5. Abpreßgrad (Anteil der abgetrennten flüssigen Masse), Frischgutsdurchsatz und auf die Trockenmasse bezogener Energiebedarf der Strangpresse beim Abpressen von gehäckselte und ungehäckselte aufgeschlossenen Gras.

- mit Hammerprallmühle aufgeschlossen
- mit Häcksler und Hammerprallmühle aufgeschlossen

prallmühle führt dort zu einer sofortigen Verteilung in einer dünnen, gleichmäßigen Schicht; dadurch, und weil wegen des Fortfalls der Materialverkürzung ein längerer Weg innerhalb der Hammerprallmühle für den reibenden Aufschluß zur Verfügung steht, wird die Aufschlußqualität verbessert. Dies kann zur Vergrößerung von Abpreßgrad oder Durchsatz der Presse genutzt werden, Bild 5. Denkbar ist auch eine Beibehaltung der Aufschlußqualität durch Häckseln des Grasses und Verkürzen der Aufschlußstrecke, wodurch der Energiebedarf der Hammerprallmühle gesenkt werden kann.

3. Trennen in Preßsaft und Preßkuchen

Das mit der Hammerprallmühle aufgeschlossene Gras wird durch Druckeinwirkung in Preßsaft und Preßkuchen getrennt. Der Preßkuchen wird nach einem Silierungs- oder Trocknungsprozeß als Rauhfutterkonserve verwendet; aus dem Preßsaft können die Nährstoffe konzentriert und als nährstoffreiches Futter für Monogastrier eingesetzt werden.

Eine Optimierung von Preßdruck und Preßdauer im Hinblick auf hohe Abpreßgrade bei großem Durchsatz und geringen Verfahrenskosten setzt die Kenntnis des Abpreß- und Verdichtungsverhaltens von aufgeschlossenen Gras voraus. Dazu wurden an Gras, das zuvor gehäckselte bzw. ungehäckselte mit der Hammerprallmühle aufgeschlossen wurde, Preßstopfversuche mit einer hydraulischen Kolbenpresse durchgeführt. Im Versuch wurden konstante Massen des aufgeschlossenen Grasses verdichtet und der Abpreßgrad sowie die Massen und Volumina von Preßsaft und Preßkuchen bestimmt, woraus die Dichte des Preßkuchens ermittelt wurde. Variiert wurden Preßdruck und Preßdauer. Bild 6 zeigt den Zusammenhang zwischen Preßdruck, Preßdauer und Abpreßgrad für ungehäckselte aufgeschlossenes Gras. Demnach wird der größte Teil des Grassafts

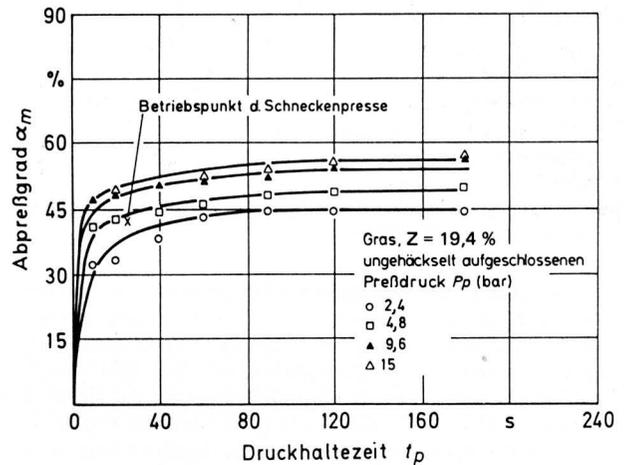


Bild 6. Abpreßgrad (Anteil der abgetrennten flüssigen Masse) beim Abpressen von ungehäckselte aufgeschlossenen Gras in Abhängigkeit von der Druckhaltezeit; Preßdruck als Parameter.

Preßdruck bar	Zunahme des Preßdrucks %	Abpreßgrad %	Zunahme des Abpreßgrads %
2,4	100	33	29
4,8	100	42,5	13
9,6	100	48	

Tafel 1. Degressives Ansteigen des Abpreßgrads mit zunehmendem Preßdruck; Preßdauer 20 s.

schon zu Beginn des Pressens entfernt. Mit zunehmender Preßdauer steigt der Abpreßgrad zwar noch an, doch ist der zeitliche Verlauf des Abpreßgrads stark degressiv, und nach ungefähr 120 s kommt der Saftaustritt unabhängig von der Höhe des Preßdrucks zum Erliegen. Schon bei geringen Drücken wird ein großer Teil des Safts entfernt, und Drucksteigerungen führen nicht zu einem dem Druck proportionalen Ansteigen des Abpreßgrades, was auch aus **Tafel 1** hervorgeht.

Bezieht man die erreichten Abpreßgrade auf diejenigen, die sich bei gleichen Drücken und einer Preßdauer von 120 s, dem Ende des Saftaustritts, ergeben, so erhält man einen relativen Abpreßgrad. Dieser ist in **Bild 7** in Abhängigkeit von der Druckhaltezeit mit dem Preßdruck als Parameter dargestellt. Demnach wird innerhalb von 30 s etwa 90 % des bei dem jeweiligen Druck möglichen Abpreßgrades erreicht. Im Hinblick auf geringen Energieaufwand und hohen Durchsatz liegt nach **Bild 7** ein Optimum bei einem Preßdruck von ungefähr 5 bar und einer Preßdauer von 20 s, da bezogen auf diesen Betriebspunkt weder Druckerhöhungen noch verlängerte Druckhaltezeiten eine entsprechende Verbesserung des Abpreßgrades bewirken.

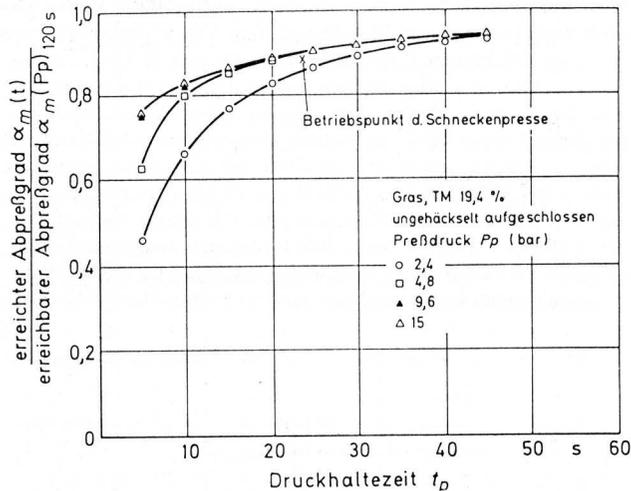


Bild 7. Relativer Abpreßgrad in Abhängigkeit von der Druckhaltezeit; Preßdruck als Parameter.

Unter gleichen Preßbedingungen werden mit gehäcksel und mit ungehäcksel aufgeschlossenem Gras gleiche Abpreßgrade erzielt, doch wird insbesondere im Bereich niedriger Drücke das gehäcksel aufgeschlossene Gras wesentlich stärker verdichtet. **Bild 8** zeigt die Verdichtungsfunktion für unzerkleinertes Gras mit einem Trockenmassegehalt $Z = 20\%$ (Kurve a) nach Werten von *Voß* [14], *Sacht* [15] und *Busse* [16] sowie für ebenso feuchtes Gras, das vor dem Verdichten ungehäcksel (Kurve b) und gehäcksel (Kurve c) mit der Hammerprallmühle aufgeschlossen wurde. Im Versuch wurde die Preßkuchendichte innerhalb des Druckbereichs von 2 bis 24 bar ermittelt; vom Verlauf der Verdichtungsfunktion ist außerdem die Schüttdichte des aufgeschlossenen Grases mit 300 kg/m^3 bekannt, und es kann die Reindichte des Preßkuchens in Abhängigkeit vom Abpreßgrad und vom Trockenmassegehalt berechnet werden:

$$\rho_R = \rho_{R, \text{tr}} / \left[1 + \left(1 - \frac{Z_{\text{Gras}} - a_m Z_{\text{Saft}} / 100}{100 - a_m} \right) \left(\frac{\rho_{R, \text{tr}}}{\rho_{\text{fl}}} - 1 \right) \right] \quad (3)$$

mit Z Trockenmassegehalt in %
 a_m Abpreßgrad in %
 $\rho_{R, \text{tr}}$ Trockenmassedichte
 ρ_{fl} Dichte des Wassers.

Bei Gras mit einem Trockenmassegehalt $Z = 20\%$ ist ein Abpreßgrad von etwa 50 % erreichbar, so daß sich, wenn man eine Trockenmassedichte des Halmguts von 1500 kg/m^3 annimmt [15, 16], eine Reindichte des Preßkuchens von 1130 kg/m^3 ergibt. Damit ist, über den im Versuch untersuchten Druckbereich (dargestellt als

Volllinien) hinaus, ein Verlauf der Verdichtungsfunktion für aufgeschlossenes Gras zu erwarten, wie er als unterbrochene Kurve in **Bild 8** dargestellt ist:

- I. Bei sehr niedrigem Druck wird kein Saft abgepreßt, die Masse bleibt konstant und das Volumen wird mit zunehmendem Druck verkleinert, so daß die Dichte ansteigt. Da das gehäcksel aufgeschlossene Gras aus weniger widerstandsfähigen Partikeln besteht, erfolgt dabei eine stärkere Vergrößerung der Dichte.
- II. Bei Drucksteigerung tritt Preßsaft aus, die Masse des Preßkuchens verringert sich und somit wird trotz weiterer Verkleinerung des Volumens der Dichteanstieg geringer. Wie bei I erfolgt auch hier eine stärkere Verdichtung des gehäcksel aufgeschlossenen Grases.
- III. Mit weiter ansteigendem Druck verringern sich die Zuwachsraten der Saftabgabe, so daß die Volumenverkleinerung die Reduzierung der Masse übersteigt, wodurch eine stärkere Erhöhung der Dichte erfolgt.
- IV. Nachdem die Saftabgabe zum Erliegen gekommen ist, erfolgt die Verdichtung wie bei unzerkleinertem Gras durch asymptotische Annäherung an die Reindichte.

Für den Einsatz in einem Ernteverfahren sind kontinuierlich arbeitende Pressen wie Bandpressen [9, 17] und Schneckenpressen [6, 18] geeignet. Der Energiebedarf von Schneckenpressen, deren Preßraum sich konisch verengt, beträgt beim Abpressen von aufgeschlossenem Gras ungefähr 8 kWh/t [18]. Demgegenüber ist der Energiebedarf von Pressen, die mit sich nicht verengendem Preßraum nach dem Strangpreßprinzip arbeiten, deutlich geringer [10, 19]. Bandpressen weisen einen ähnlich niedrigen Energiebedarf auf, doch sind sie wegen ihres nur geringen Durchsatzes und der problematischen Beschickung trotz guter Preßergebnisse weniger für den Einsatz in einem Ernteverfahren geeignet [9].

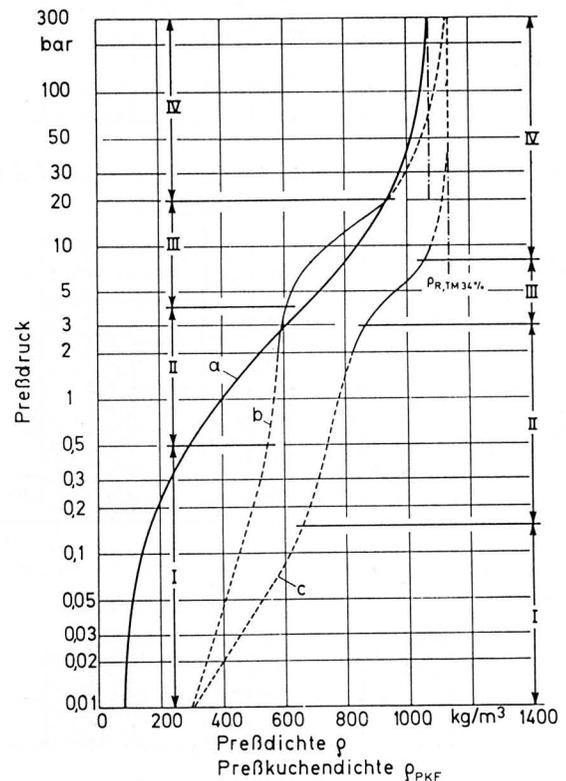


Bild 8. Verdichtungsfunktion für Gras mit einem Trockenmassegehalt $Z = 20\%$.

- a unzerkleinert (nach *Voß* [14], *Sacht* [15], *Busse* [16])
- b ungehäcksel aufgeschlossen
- c gehäcksel aufgeschlossen

Bild 9 zeigt den Aufbau einer Strangpresse für das Verdichten von aufgeschlossenem Gras, die am Institut für Agrartechnik gebaut wurde. Eine mit geringen Drehzahlen rotierende zweigängige Schnecke mit einer Steigung von 0,3 m fördert das aufgeschlossene Gras in den Preßraum. Dieser hat einen Kreisringquerschnitt, der Außendurchmesser beträgt 0,5 m und das rotierende Innenrohr hat einen Durchmesser von 0,3 m, so daß die Schichtstärke im Druckbereich 0,1 m beträgt. Sowohl der Mantel als auch das Innenrohr sind aus Lochblechen gefertigt oder mit Bohrungen versehen, so daß der Grassaft auf kürzestem Weg den Preßkuchen verlassen kann und sich dessen Filterwirkung weniger stark auswirkt. Zu Beginn des Preßvorgangs erfolgt die Verdichtung gegen zustellbare Klappen am Ende des Preßraums; sobald dieser befüllt ist und sich ein Druck aufgebaut hat, wird das Gras bei geöffneten Klappen gegen den austretenden Preßkuchen verdichtet. Bei einem Preßdruck von 4 bar und einer Verweilzeit des Grasses unter Druck von 25 s wurden Abpreßgrade bis zu 60 % erzielt. Bild 3 zeigt die Trennergebnisse in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt des Grasses, die sich aufgrund schwankender Druckhaltezeiten als Bereich darstellen.

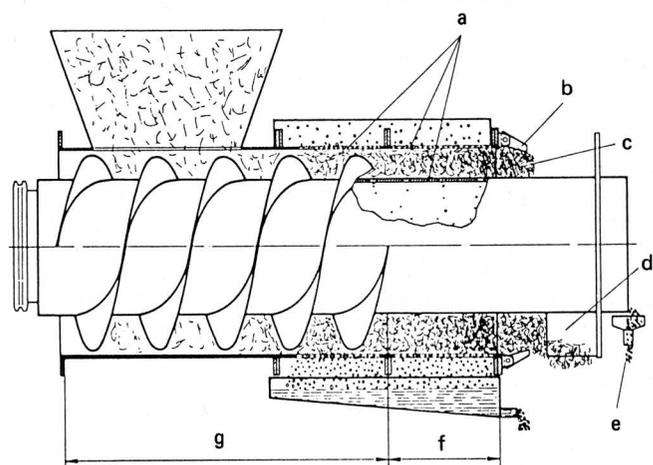


Bild 9. Strangpresse zum Abpressen von Grassaft aus aufgeschlossenem Gras.

- a Lochblech für Saftaustritt
- b Zustellklappen zum Druckaufbau
- c Preßkuchen
- d Wurf Flügel
- e Saftaustritt
- f Preßbereich
- g Einfüll- und Förderbereich

Mit zunehmendem Trockenmassegehalt des Grasses und verringerter Preßdauer nimmt der erreichbare Abpreßgrad ab, **Bild 10**. Besonders ausgeprägt ist dies bei Gras mit mehr als 22 % Trockenmassegehalt, wo auch mit erhöhter Preßdauer und somit verringertem Durchsatz und steigendem Energiebedarf der Abpreßgrad nicht auf die Werte für Gut mit kleinem Trockenmassegehalt gebracht werden kann. Aus Gras von 10 bis 22 % Trockenmassegehalt können 40 bis 55 % der Grasmasse als Saft entfernt werden, wofür je nach Trockenmassegehalt 1 bis 3 kWh/t benötigt werden.

Entsprechend dem Abpreßgrad für die Gesamtmasse können auch Trennfaktoren für die Trockenmasse bzw. für einzelne Inhaltsstoffe angegeben werden, indem für den jeweiligen Stoff (Trockenmasse, Rohprotein, Rohfaser, Rohasche) das Verhältnis der mit dem Saft abgetrennten Masse zur Masse im Gras gebildet wird.

Mit zunehmendem Trockenmassegehalt des Grasses nimmt der Massenanteil der mit dem Saft aus dem Gras entfernten Trockenmasse und der einzelnen Inhaltsstoffe ab. Da gleichzeitig auch der Gehalt des Grasses an dem hier besonders interessierenden Rohprotein mit zunehmendem Trockenmassegehalt sinkt, ist für die Herstellung rohproteinreichen Grassafts insbesondere junges, frisches Gras geeignet, **Bild 11**.

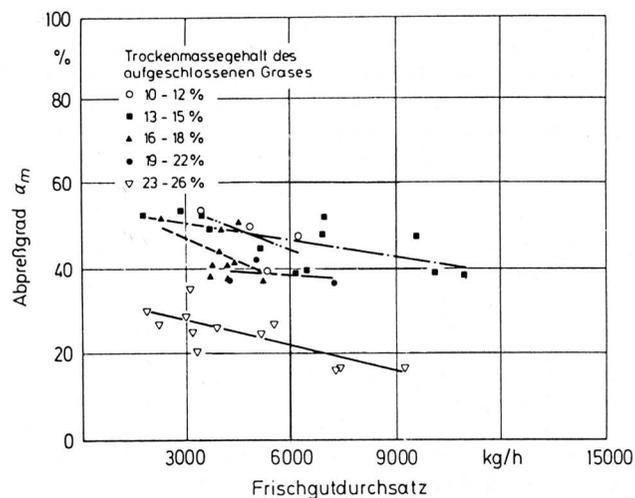


Bild 10. Abpreßgrad (Anteil der abgetrennten flüssigen Masse) in Abhängigkeit vom Frischgutdurchsatz der Strangpresse für aufgeschlossenes Gras mit unterschiedlichem Trockenmassegehalt.

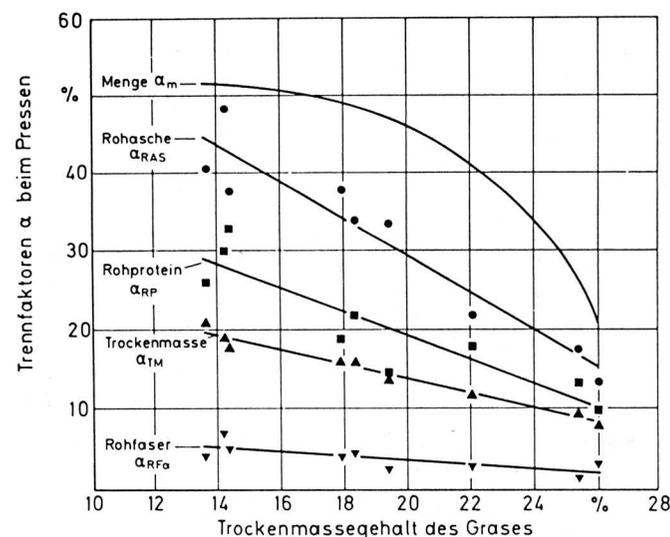


Bild 11. Trennfaktoren für Masse, Trockenmasse und bestimmte Nährstoffe (Weender Analyse) beim Abpressen von aufgeschlossenem Gras in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt des Grasses.

Der Gehalt der Fraktionen Grassaft und Preßkuchen an Trockenmasse, Rohprotein, Rohfaser und Rohasche hängt direkt von den entsprechenden Werten des Grasses ab. Die erreichbaren Werte für Trockenmasse und Rohprotein sind in **Bild 12** und **13** dargestellt. Ähnlich lineare Abhängigkeiten wurden auch für die Gehalte an Rohfaser und Rohasche festgestellt [10].

4. Konzentrieren der im Grassaft enthaltenen Nährstoffe

Bei der Fraktionierung von Gras innerhalb eines Halmgutemteverfahrens fallen etwa gleiche Massen von Grassaft und Preßkuchen an, welche ohne weitere Behandlung in kurzer Zeit durch Schimmelbildung und andere mikrobielle Tätigkeit verderben. Wenn eine direkte Verwertung von Grassaft [7] und Preßkuchen nicht möglich ist, müssen entsprechende Maßnahmen zur Schaffung von lagerfähigen Futterkonserven ergriffen werden. Dazu zählen das Silieren oder Trocknen des Preßkuchens sowie die Flüssig- oder Trockenkonservierung des Grassafts oder seiner wertvollsten Bestandteile.

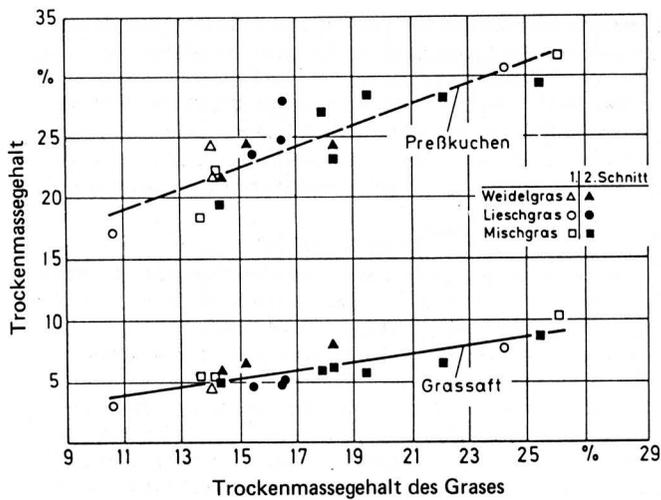


Bild 12. Trockenmassegehalt in Preßkuchen und Grassaft in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt des Grases; Abpressen von aufgeschlossenem Gras in der Strangpresse.

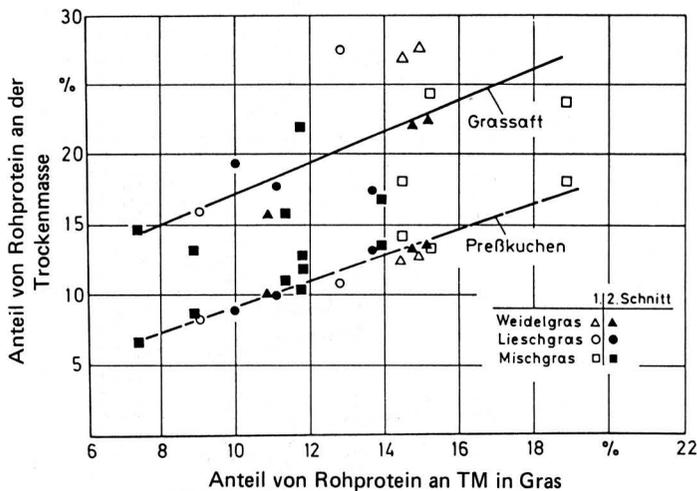


Bild 13. Anteil des Rohproteins an der Trockenmasse für Preßkuchen und Grassaft in Abhängigkeit vom Anteil des Rohproteins an der Trockenmasse im Gras; Abpressen von aufgeschlossenem Gras in der Strangpresse.

Die Verarbeitung des Grassafts wird durch grobe, zusammenhängende Faserpartikel, die Düsen, Pumpen und Rohre verstopfen können, behindert; außerdem fördern derartige Fasern die Bildung lufthaltiger Schwimmdecken, die aufgrund ihrer großen Kontaktfläche mit der Umgebungsluft die Infektion mit Schimmel begünstigen, so daß die Lagerfähigkeit des Safts beeinträchtigt wird. Daher ist es zweckmäßig, grobe Fasern direkt am Preßsaftaustritt mit einem kontinuierlich arbeitenden Sieb zu entfernen. Dafür eignen sich Trommel- oder Bandsiebe mit einer Siebweite von ungefähr 1 mm, die durch Druckluft, Grassaft oder Wasser im Gegenstrom gereinigt werden und eine erneute Einspeisung der abgesiebten Fasern in die Strangpresse ermöglichen.

Eine Eindickung und/oder Trocknung der gesamten Saftmenge in Sprüh- oder Vakuumtrocknern ist wegen des nur geringen Trockenmassegehalts des Grassafts von 5 bis 10 % und der hohen Trocknungskosten wirtschaftlich kaum möglich [4]. Daher wird ein möglichst großer Anteil des Proteins als der wertvollsten Fraktion des Grassafts abgetrennt und in möglichst konzentrierter Form pastenartig oder trocken konserviert, während der proteinarme Restsaft getrennt verwertet wird.

Eine weitgehende Abtrennung der Proteine ist nach einer Koagulation der Proteine möglich [1, 8, 9], die durch Erhitzen des Grassafts oder Herabsetzen des pH-Werts bewirkt werden kann. Die Koagulflocken sowie weitere suspendierte Feststoffe können durch mechanische Trennverfahren, die unterschiedliche Dichten oder Partikelgrößen von Koagulat und Restsaft ausnutzen, abgetrennt werden. Sehr gute Trennergebnisse in Zentrifugen und Filtern wurden nach der Hitze-koagulation von Luzernesaft erzielt [1, 9], so daß dieses Verfahren bei praktisch allen stationären Anlagen zur Blattproteingewinnung eingesetzt wird [3, 4, 18, 20]. Da in derartigen Anlagen sowohl das abgetrennte Koagulat als auch der Preßkuchen getrocknet wird, stehen geeignete Wärmequellen zur Verfügung. Durch Nutzung der in den Trocknungsprozessen anfallenden Abwärme zur Safterwärmung läßt sich der Energiebedarf derartiger Anlagen unter den vergleichbarer Grüngutttrockner, die mit nicht entfeuchtetem Frischgut arbeiten, senken. Auch bei der Fraktionierung von Gras wurden durch Thermoflotation nach der Hitze-koagulation gute Trennergebnisse mit hohen Rohproteinkonzentrationen von bis zu 50 % in der Trockenmasse des Koagulats erzielt [9]. Für landwirtschaftliche Betriebe erfordert ein solches Verfahren einen sehr hohen verfahrenstechnischen Aufwand, so daß in diesem Fall einer Koagulation der Proteine durch die Zugabe von organischen Säuren der Vorzug zu geben ist.

Durch das Vermischen des Grassafts mit Essig-, Propion- oder Ameisensäure in Volumenanteilen von 0,8 bis 1,4 % wird der pH-Wert des Safts von ursprünglich 6,3 auf ungefähr 4,2 abgesenkt. Art und Menge der zugesetzten Säure hängen von den nachfolgenden Lagerbedingungen ab. Ohne Zugabe von Säure oder bei zu geringer Säurekonzentration im Grassaft erfolgt eine Gärung, wobei der pH-Wert des Grassafts je nach Gärverlauf auf bis zu 3,6 absinkt. Im weiteren Verlauf der Lagerung kommt die Gärung zum Stillstand, der pH-Wert bleibt konstant und eine Abtrennung der Koagulate ist möglich. Die Dauer dieses Gärprozesses hängt von den Lagerbedingungen (Temperatur, Sauberkeit, Umgebungsluft) ab; in Versuchen wurden Zeiten von 6 bis 24 h bis zum Absinken des pH-Werts auf 4,2 gemessen.

Während dieser Zeit besteht eine erhöhte Gefahr der Infektion mit schädlichen Mikroorganismen (Schimmel, Hefen). Da außerdem das benötigte Behältervolumen aufgrund der langen Gärdauer erheblich vergrößert wird, ist für ein Ernteverfahren die sofortige pH-Senkung durch Zugabe von Säure zu empfehlen. Die Trennung des behandelten Grassafts in einen rohproteinreichen Feststoff und eine nährstoffarme Klarfraktion kann aufgrund unterschiedlicher Dichten im natürlichen Schwerefeld, in Zentrifugen oder wegen unterschiedlicher Partikelgrößen mittels Filtration erfolgen.

4.1 Sedimentation

Bei der Sedimentation im natürlichen Schwerefeld beginnt direkt nach der Säurezugabe die Trennung des Grassafts in die braune Klarphase und das grüne, rohproteinreiche Sediment, das sich am Boden des Behälters sammelt. Mit zunehmender Sedimentationsdauer verdichtet sich das Sediment weiter, wobei die Trenngeschwindigkeit ständig zurückgeht. Der Verlauf der Trennung hängt sowohl vom Grassaft (Graszusammensetzung, Trockenmassegehalt) als auch von dessen Behandlung (Siebung, Säurezugabe, Befülltechnik, Begasung) ab. In der Mehrzahl der Versuche zeigte sich, daß innerhalb von 24 h eine Auftrennung des Grassafts in ungefähr 50 % (volumetrisch) Sediment und die gleiche Menge Klarphase erfolgt. Auch danach findet eine weitere Verdichtung des Sediments statt, so daß bei einer entsprechenden Sedimentationsdauer eine Konzentrierung des Sediments auf 20 bis 40 % des ursprünglichen Saftvolumens erreicht werden kann. Den typischen Verlauf einer Trennung von mit Essigsäure behandeltem Grassaft durch Sedimentation zeigt **Bild 14**.

Aufgrund der nur geringen Trennkraft wird für eine möglichst starke Verdichtung des Sediments relativ viel Zeit benötigt, während der aus wirtschaftlichen Gründen eine Kühlkonservierung nicht möglich ist. Ein möglicher Verderb des sedimentierenden

Grassafts kann während dieser Zeit durch Infektion der Saftoberfläche mit schädlichen Mikroorganismen einsetzen. Daher muß die Saftoberfläche möglichst klein gehalten und ein intensiver Kontakt mit der Umgebungsluft vermieden werden.

Im einzelnen sind folgende Maßnahmen zu ergreifen:

1. Verhinderung des Entstehens von Schwimmdecken durch Entfernen faseriger Bestandteile (Sieb) und durch blasen- und schaumfreies Befüllen der Sedimentationsbehälter
2. Behinderung des Luftaustauschs über dem Grassaft durch dichte Behälter, aufliegende Folien oder Begasung z.B. mit CO₂ sowie durch Reduzieren des Luftvolumens über dem Saft.

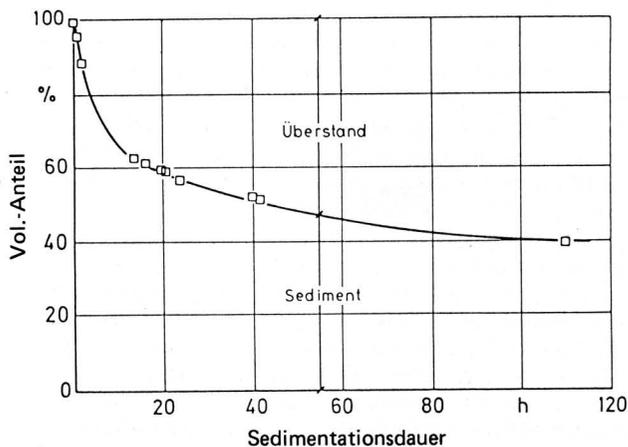


Bild 14. Volumenanteile von Sediment und Überstand bei der Sedimentation von Grassaft im Schwerefeld; pH-Wert durch Zugabe eines Volumenanteils von 0,8 % Essigsäure abgesenkt auf 4,2.

Durch diese Maßnahmen wird sichtbarer Verderb des Grassafts oder Sediments infolge Schimmel- oder Hefenbefall vermieden. Auch der Beginn von Gärprozessen, die nach unzureichender Säurezugabe auftreten können, wird deutlich verzögert und tritt, wenn überhaupt, erst nach etwa 60 bis 80 h auf. Zu diesem Zeitpunkt ist, wie Bild 14 zeigt, die Trenngeschwindigkeit schon sehr stark zurückgegangen, so daß die Sedimentation vor Eintritt der sichtbaren Gärung abgebrochen werden kann. Ansonsten werden die schon getrennten Phasen durch aufsteigende Gärgase vermischt, woran sich eine erneute Sedimentation anschließt, Bild 15. Ein

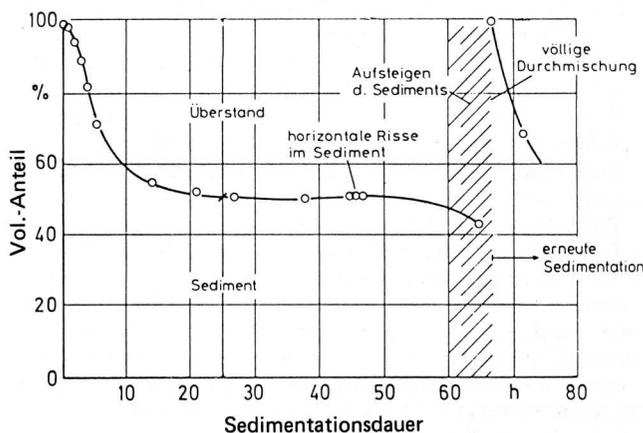


Bild 15. Volumenanteile von Sediment und Überstand bei durch Gärung gestörter Sedimentation als Folge nicht ausreichender Säurezugabe.

mehrfaches Auftreten derartiger Gärprozesse wurde selbst bei Sedimentationsversuchen von 8 Monaten Dauer bei luftdichter Lagerung unter Raumtemperatur nicht beobachtet. Dies legt den Schluß nahe, daß es bei unzureichender Säurezugabe zu einer Selbstkonservierung des Sediments durch Mikroorganismen-tätigkeit kommen kann, wobei der pH-Wert auf 3,6 absinkt und dann konstant bleibt, so daß anzunehmen ist, daß die Mikroorganismen ihre Tätigkeit eingestellt haben.

Wegen der nur geringen Dichteunterschiede zwischen Sediment und Klarphase entspricht die Auftrennung bezüglich der Masse angenähert der in Abhängigkeit von der Sedimentationsdauer ermittelten volumetrischen Trennung (Bild 14 und 15). Nachdem mit zunehmender Sedimentationsdauer die Trenngeschwindigkeit stark zurückgegangen war, konnten Proben zur Bestimmung des Trockenmassegehalts und zur Ermittlung der Zusammensetzung von Sediment und Klarphase (Weender Analyse) entnommen und Massenbilanzen erstellt werden. Es zeigte sich eine direkte Abhängigkeit der Gehalte an Trockenmasse, Rohprotein und Rohasche von den entsprechenden Werten des Grassafts, Bild 16 bis 18. Ein eindeutiger Einfluß von Grasart und Schnittzeitpunkt auf die Trennung des Grassafts war nicht festzustellen. Durch die Säurekonzentration im Grassaft läßt sich die Sedimentationsgeschwindigkeit in geringem Maß beeinflussen, doch wird die Zusammensetzung von Sediment und Klarphase praktisch nicht verändert. Im Sediment nehmen sowohl der Trockenmassegehalt als auch der

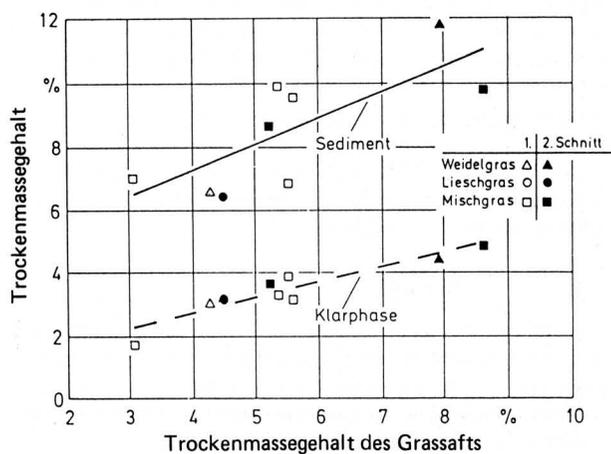


Bild 16. Trockenmassegehalt von Sediment und Klarphase in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt des Grassafts.

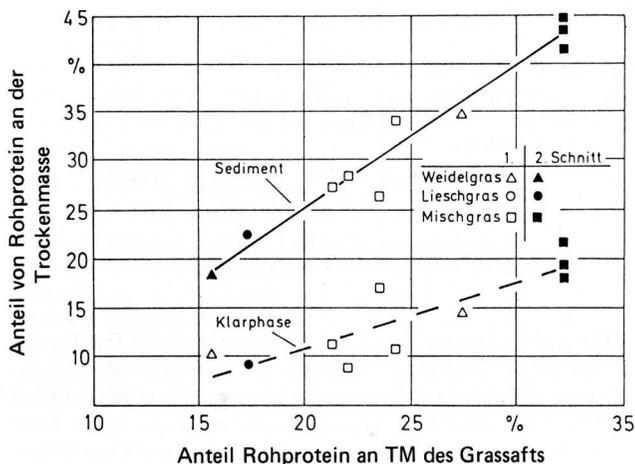


Bild 17. Anteil des Rohproteins an der Trockenmasse in Sediment und Klarphase in Abhängigkeit vom Anteil des Rohproteins an der Trockenmasse im Grassaft.

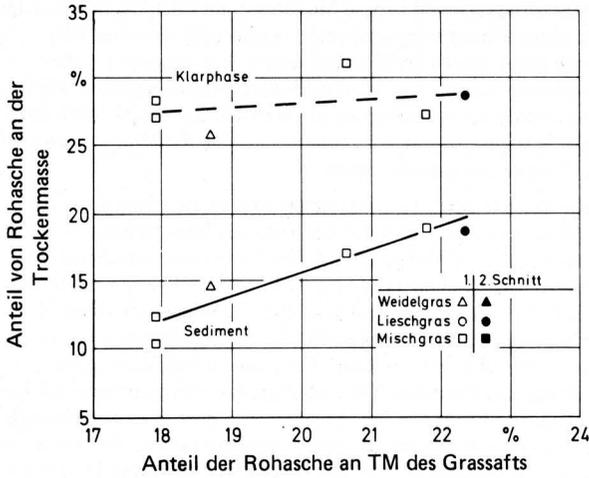


Bild 18. Anteil der Rohasche an der Trockenmasse in Sediment und Klarphase in Abhängigkeit vom Anteil der Rohasche an der Trockenmasse im Grassaft.

Rohproteinanteil an der Trockenmasse mit steigender Tiefe geringfügig zu. So stieg bei einer 400 mm starken Sedimentschicht zwischen der Sedimentoberfläche und dem Behälterboden der Trockenmassegehalt von 8,5 auf 10 % und der Rohproteinanteil von 40 auf 43 %.

In Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Grassafts (Trockenmassegehalt, Anteil von Rohprotein und Rohasche an der Trockenmasse) lassen sich mit den in Bild 16 bis 18 dargestellten Regressionsgeraden die entsprechenden für Sediment und Klarphase zu erwartenden Werte berechnen:

$$c = K_0 + K_1 c_{\text{gras}} \quad (4)$$

mit c für den Trockenmassegehalt bzw. den Anteil von Rohprotein oder Rohasche an der Trockenmasse in Sediment oder Klarphase und c_{gras} für die entsprechenden Größen des Grassafts. Die in dieser Gleichung zu verwendenden Konstanten sind in Tafel 2 zusammengestellt.

	K_0	K_1	s^*
Sediment			
Trockenmasse	3,995	0,819	11,36 %
Rohprotein	- 3,849	1,452	4,50 %
Rohasche	- 18,110	1,680	5,99 %
Klarphase			
Trockenmasse	0,794	0,481	8,65 %
Rohprotein	- 2,709	0,678	13,80 %
Rohasche	21,920	0,310	4,41 %

Tafel 2. Koeffizienten für Gl. (4) zur Berechnung des Trockenmassegehalts bzw. der Nährstoffanteile an der Trockenmasse in Sediment und Klarphase und bei der Berechnung auftretender mittlerer Fehler s^* .

Das Ziel der Sedimentation besteht darin, einen großen Anteil der wertvollen im Grassaft enthaltenen Inhaltsstoffe in einem möglichst geringen Sedimentvolumen zu konzentrieren. Maßstäbe zur Beurteilung dieser Trennung sind die Trennfaktoren α , die angeben, zu welchem Anteil die Gesamtmasse, die Trockenmasse und die Massen der verschiedenen Inhaltsstoffe des Grassafts in das Sediment überführt werden, sowie die Konzentrationsänderungsfaktoren, die die Veränderung des Trockenmassegehalts (β) und des Anteils der Inhaltsstoffe an der Trockenmasse (γ) beim Übergang vom Grassaft zum Sediment angeben:

$$\alpha = 100 (m_{\text{Sediment}}/m_{\text{Saft}}) \quad (\%) \quad (5)$$

$$\beta; \gamma = (c_{\text{Sediment}}/c_{\text{Saft}}) \quad (6),$$

wobei in Gl. (5) die Massen m der jeweils untersuchten Stoffart und in Gl. (6) für c die Trockenmassegehalte (β) oder für die Bestimmung von γ die Anteile an der Trockenmasse für die betrachtete Stoffgruppe nach der Weender Analyse einzusetzen sind.

Die bei der Sedimentation verschiedener Grassäfte ermittelten Trennfaktoren und Konzentrationsänderungsfaktoren sind in Bild 19 und 20 in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt des Grassafts als einfach zu bestimmender Materialkenngröße dargestellt. Mit zunehmendem Trockenmassegehalt des Grassafts steigt auch die Gesamtmasse des Sediments an, während die Ausbeute an Trockenmasse kaum ansteigt, so daß die Erhöhung des Trockenmassegehalts im Sediment (Kurve für β_{TM} in Bild 20) zurückgeht. Auch die Rohproteinausbeute und die Erhöhung der Rohproteinkonzentration gehen mit zunehmendem Trockenmassegehalt des Grases zurück. Günstig zu bewerten ist die Reduzierung des Rohaschegehalts im Sediment ($\gamma_{\text{RAS}} < 1$), doch verschlechtert sich dieses Ergebnis mit zunehmendem Trockenmassegehalt des Grassafts. Insgesamt lassen sich die besten Trennergebnisse bei Saft mit geringem Trockenmassegehalt aus jungen Gräsern erzielen, da dann sowohl die Gehalte des Grassafts an wertvollen Inhaltsstoffen hoch als auch die Trenneigenschaften günstig sind, so daß ein hochwertiges Sediment hergestellt werden kann. Bei einem durchschnittlichen Trockenmassegehalt des Grassafts von 5 % werden ungefähr 75 % des Rohproteins, 83 % der Rohfaser, 50 % der Rohasche und 60 % der Trockenmasse des Grassafts in eine Sedimentmenge von 38 % der Saftmenge überführt. Dabei wird die Konzentration der Trockenmasse um den Faktor 1,7, die der Rohfaser um 1,29 und die des Rohproteins um 1,24 erhöht, während die Rohaschekonzentration mit dem Faktor 0,76 abnimmt.

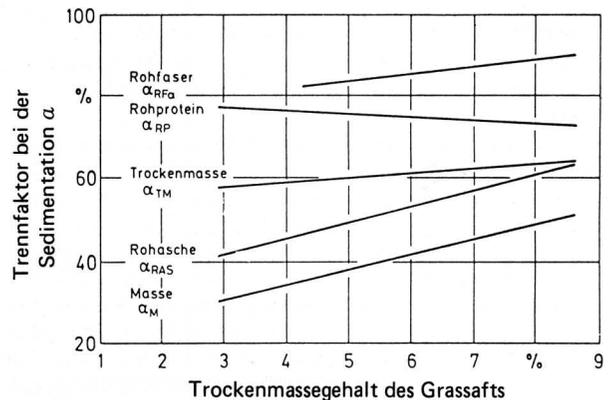


Bild 19. Trennfaktoren für Masse, Trockenmasse und bestimmte Nährstoffe (Weender Analyse) bei der Sedimentation von Grassaft in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt.

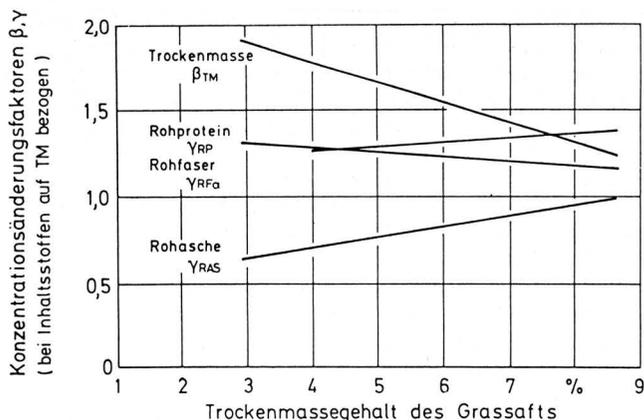


Bild 20. Faktoren der Konzentrationsänderung bei der Sedimentation von Grassaft in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt.

4.2 Trennung des Grassafts in Zentrifugen

Anstelle der Sedimentation im Schwerefeld, bei der aufgrund der geringen Kräfte relativ lange Trennzeiten erforderlich sind und ein entsprechend großer Bedarf an Trenn- und Lagerbehältern besteht, kann eine deutlich beschleunigte Trennung des gesiebten und angesäuerten Grassafts in Zentrifugen und Separatoren durchgeführt werden. In Laborzentrifugen entsteht dabei eine ähnliche Klarfraktion wie bei der Sedimentation im Schwerefeld und ein deutlich trockensubstanzreicherer Feststoff. Innerhalb eines Gräsernte- und Verarbeitungsverfahrens sollten vorzugsweise kontinuierlich arbeitende oder mit einer Einrichtung zur automatischen Befüllung und Entleerung versehene Geräte zur mechanischen Trennung großer Mengen Grassafts eingesetzt werden. Daher wurden entsprechende Trennversuche auch mit Dekantern, Separatoren und kontinuierlich arbeitenden Zentrifugen durchgeführt.

Beim Einsatz von Dekantern gelang es auch mit unterschiedlichen Maschineneinstellungen (Trommel- und Differenzdrehzahl, Stauscheibendurchmesser, Durchsatz) nicht, eine farblich vom Grassaft unterscheidbare Klarfraktion abzutrennen. Häufig erfolgte eine reine Erhöhung des Trockenmassegehalts des Feststoffs, wobei die Rohproteinkonzentration nur sehr geringfügig oder überhaupt nicht anstieg. Das insgesamt nicht befriedigende Trennergebnis zeigte sich auch bei Schleuderversuchen mit Grassaft und Klarphase in der Laborzentrifuge, bei denen auch aus der Klarphase noch ungefähr 50 % der im Grassaft vorhandenen abschleuderbaren Feststoffe abgetrennt werden konnten. Ein eindeutiger Einfluß von Art und Menge der zugesetzten Säure wurde nicht beobachtet. Auch aus nicht angesäuertem bzw. durch Gärung gesäuertem Grassaft wurden fast gleiche Feststoffmengen abgetrennt. **Tafel 3** zeigt die Trennergebnisse, die bei der Trennung von Grassaft, dessen pH-Wert auf 4,2 abgesenkt wurde, in einem Dekanter erreicht wurden.

Mit Klärseparatoren konnten auch bei Grassaft von überständigem Gras mit geringem Rohproteingehalt gute Trennergebnisse erzielt werden. Wie bei der Sedimentation im Schwerefeld wurde eine klare, braune Klarphase abgeschieden, aus der in Schleuderversuchen nur noch 0,15 % des Volumens an Feststoffen abgeschleudert werden konnten gegenüber einem Volumenanteil von 15–20 % bei Grassaft. Diese Ergebnisse wurden bei einem Durchsatz von etwa 10 % des maximalen Schluckvolumens des Separators erzielt. Eine Vergrößerung des Durchsatzes war bei gleichbleibender Trennqualität nicht möglich. **Tafel 4** zeigt die Trennergebnisse, die bei der Trennung von Grassaft, dessen pH-Wert auf 4,2 gesenkt wurde, in einem Klärseparator erzielt wurden.

Auch mit einer Rohrpreßzentrifuge wurden Versuche zur Trennung von angesäuertem Grassaft durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß bei geringem Durchsatz und demzufolge langen Verweilzeiten des Safts im Beschleunigungsfeld der Zentrifuge eine Trennung in

		Grassaft	Klarphase	Feststoff	Kennwerte des Trennprozesses
Masse	kg	1000	882	118	$\alpha_m = 11,8 \%$
Trockenmassegehalt	%	6,8	6,2	11	$\beta_{TM} = 1,6$
Trockenmasse	kg	68	55	13	$\alpha_{TM} = 19,1 \%$
Anteil Rohprotein an der Trockenmasse	%	26,5	25,6	30,2	$\gamma_{RP} = 1,14$
Rohprotein	kg	18	14,1	3,9	$\alpha_{RP} = 21,8 \%$

Tafel 3. Trennung von Grassaft nach Zugabe von 0,8 % Essigsäure (Volumenanteil) im Dekanter; pH = 4,2.

		Grassaft	Klarphase	Feststoff	Kennwerte des Trennprozesses
Masse	kg	1000	737	263	$\alpha_m = 26,3 \%$
Trockenmassegehalt	%	7,2	4,9	13,6	$\beta_{TM} = 1,89$
Trockenmasse	kg	72	36,2	35,8	$\alpha_{TM} = 49,9 \%$
Anteil Rohprotein an der Trockenmasse	%	18,7	10,6	26,9	$\gamma_{RP} = 1,44$
Rohprotein	kg	13,5	3,9	9,6	$\alpha_{RP} = 71,6 \%$

Tafel 4. Trennung von Grassaft nach Zugabe von 0,8 % Essigsäure (Volumenanteil) im Klärseparator; pH = 4,2.

Feststoff und Klarphase möglich ist. Ein Auspressen des Feststoffs, wie es zur Vergrößerung des Trockenmassegehalts mit diesem Maschinentyp möglich ist, ist hier nicht zu empfehlen, weil dadurch Teile des Feststoffs in die Klarphase gepreßt werden und somit das Trennergebnis verschlechtert wird. Durch Zugabe eines Flockungs- und Fällungsmittels auf Polyacrylsäurebasis in den mit Säure versetzten Grassaft direkt vor dem Einspeisen in die Zentrifuge kann eine deutliche Verbesserung der Trennung selbst bei verdoppeltem Durchsatz erzielt werden.

Ein Vergleich von Sedimentation im Schwerefeld und der Trennung in Zentrifugen zeigt, daß bei Verwendung von gleichartigem Grassaft auch vergleichbare Trennergebnisse erzielt werden können, wenn geeignete Maschinentypen eingesetzt werden. Bei einem Grassaft von 7 % Trockenmassegehalt werden nach Bild 19 etwa 45 % der Gesamtmasse und 73 % des Rohproteins vom Saft in das Sediment überführt; dabei erhöht sich nach Bild 20 die Trockenmassekonzentration im Sediment um den Faktor 1,45 und die Rohproteinkonzentration um 1,24. Diese Werte können, wie Tafel 4 zeigt, auch mit einem Klärseparator erreicht werden. Ein Vorteil des Separators liegt darin, daß damit eine sofortige und starke Verringerung des zu konservierenden Futtervolumens möglich ist, wodurch die Lagerkosten gesenkt werden. Nachteilig sind die relativ hohen Maschinenkosten und die nur geringe Ausnutzung des Schluckvolumens, wodurch entweder relativ große Maschinen oder eine verlängerte Einsatzdauer erforderlich werden.

5. Konservieren der Produkte

Bei dem hier beschriebenen Grasernteverfahren werden aus dem Gras ein Preßkuchen, ein rohproteinreiches Sediment (Feststoff) sowie eine kohlehydratreiche Klarphase hergestellt. Ein Silieren des Preßkuchens, der je nach Ausgangsfeuchte des Grasses einen Trockenmassegehalt von 23 bis 30 % aufweist, ist ohne Einsatz von Silierhilfsmitteln möglich. Sickersaft tritt dabei nicht auf. Für Fütterungsversuche wurden Versuchssilos von bis zu 2 m³ Fassungsvermögen mit Preßkuchen befüllt und manuell verdichtet. Auch ein Fahrsilo wurde angelegt. Die Abdeckung erfolgte mit Plastikfolie, die mit Steinen und Erde bedeckt wurde. Gärsäureanalysen sowie Geruch und Aussehen der Proben zeigten einen guten Verlauf der Silierung. Die Preßkuchensilage wurde an Rinder und Schafe verfüttert und von diesen gut angenommen. Nach Fütterungsversuchen, die am Institut für Tierphysiologie und Tierernährung der Universität Göttingen durchgeführt wurden, ist die Preßkuchensilage ähnlich wie Heu oder Grassilage zu bewerten.

Da eine Trocknung mit hohem Energieaufwand verbunden ist, wurde untersucht, ob das flüssig oder pastenartig anfallende Rohproteinkonzentrat in diesem Zustand bei Raumtemperatur konserviert werden kann. Dazu wurden Feststoffe aus Grassaft abgetrennt, der zuvor mit Essig-, Propion- bzw. Ameisensäure in volumetrischen Endkonzentrationen von 0,3–2 % behandelt worden war. Diese Feststoffe wurden mit Stickstoff, Kohlendioxid und Luft begast und unter Luftabschluß bei Raumtemperatur gelagert [21]. Auch nach 6monatiger Lagerung wurde kein Anzeichen von Verderb festgestellt, wenn die Volumenkonzentration von Ameisensäure im Grassaft mindestens 0,8 % betragen hatte und ein Luftaustausch nicht möglich war. Nach den Ergebnissen von Gärsäureanalysen und Untersuchungen zum Hefen- und Schimmelbefall, die am Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL in Braunschweig-Völkenrode durchgeführt wurden, ist eine Flüssigkonservierung der aus dem Grassaft hergestellten Feststoffe unter Luftabschluß möglich. Das so konservierte Sediment kann zur Flüssigfütterung von Schweinen eingesetzt werden.

Die bei der Trennung des Grassafts anfallende rohproteinarme Klarphase kann entweder als Dünger ausgebracht oder in einer Biogasanlage genutzt werden. Ein erster Einsatz der Klarphase in einer Biogasanlage am Institut für Technologie der FAL in Braunschweig-Völkenrode führte hinsichtlich der zusetzbaren Menge und der Methanausbeute zu günstigen Ergebnissen.

6. Verteilung der Massen und Inhaltsstoffe

Die beim Abpressen von aufgeschlossenem Gras und der Sedimentation des Grassafts entstehenden Massen an Preßkuchen, Sediment und Klarphase sowie deren Gehalte an Inhaltsstoffen werden weitgehend von der Zusammensetzung des Grasses bestimmt (Bild 11 bis 13, 16 bis 18). In **Tafel 5** und **6** sind die bei der Fraktionierung von jeweils 1 000 kg Gras mit Z = 14 bzw. 25 % Trockenmassegehalt anfallenden Massen der einzelnen Fraktionen und deren Inhaltsstoffe angegeben. In beiden Fällen wurde eine für den angenommenen Trockenmassegehalt durchschnittliche Zusammensetzung des Grasses vorausgesetzt. Für die Berechnung der Verteilung der im Gras vorhandenen Inhaltsstoffe auf die Fraktionen Preßkuchen, Sediment und Klarphase wurde von den bestmöglichen Trennfaktoren nach Bild 11 und 19 ausgegangen.

		Pressen				Sedimentation			Verteil. der im Gras vorhand. Massen auf		
		Gras	Preßkuchen	Grassaft	α %	Klarphase	Sediment	α %	Preßkuchen %	Sediment %	Klarphase %
Masse	kg	1 000	480	520	52	320	200	38,4	48	20	32
Trockenmassegehalt	%	14	23,6	5,1		3,3	8				
Trockenmasse	kg	140	113,4	26,6	19	10,6	16	60,2	81	11,4	7,6
Rohproteinanteil an TM	%	18	15,8	27,5		17,1	34,4				
Rohproteinmasse	kg	25,2	17,83	7,31	29	1,81	5,5	75,3	71	21,8	7,2
Rohfaseranteil an TM	%	26	30,5	6,8		2,7	9,6				
Rohfasermasse	kg	36,4	34,58	1,82	5	0,29	1,53	83,8	95	4,2	0,8
Rohascheanteil an TM	%	12	8,4	27,1		34,2	22,5				
Rohaschemasse	kg	16,8	9,58	7,22	43	3,62	3,6	49,9	57	21,4	21,6

Tafel 5. Aufteilung der Gesamtmasse und der Inhaltsstoffe bei den Trennprozessen Abpressen und Sedimentieren von aufgeschlossenem Gras mit einem Trockenmassegehalt von Z = 14 %.

		Pressen				Sedimentation			Verteil. der im Gras vorhand. Massen auf		
		Gras	Preßkuchen	Grassaft	α %	Klarphase	Sediment	α %	Preßkuchen %	Sediment %	Klarphase %
Masse	kg	1 000	790	210	21	95,5	114,5	54,5	79	11,45	9,55
Trockenmassegehalt	%	25	29,1	9,5		7,25	11,4				
Trockenmasse	kg	250	230	20	8	6,92	13,08	65,4	92	5,2	2,8
Rohproteinanteil an TM	%	9	8,8	11,25		9,1	12,4				
Rohproteinmasse	kg	22,5	20,25	2,25	10	0,63	1,62	72	90	7,2	2,8
Rohfaseranteil an TM	%	28	29,8	7		1,7	9,8				
Rohfasermasse	kg	70	68,6	1,4	2	0,12	1,28	91,5	98	1,8	0,2
Rohascheanteil an TM	%	12,5	11,4	25		23,8	25,6				
Rohaschemasse	kg	31,2	26,25	5	16	1,65	3,35	66,9	84	10,7	5,3

Tafel 6. Aufteilung der Gesamtmasse und der Inhaltsstoffe bei den Trennprozessen Abpressen und Sedimentieren von aufgeschlossenem Gras mit einem Trockenmassegehalt von Z = 25 %.

Im Vergleich der Tafeln wird gut sichtbar, daß bei jungem Gras mit niedrigem Trockenmassegehalt im Abpreßvorgang die größeren Trennfaktoren auftreten, bei der folgenden Auftrennung des Grassafts hier aber – mit Ausnahme des Rohproteins – die kleineren Trennfaktoren zu erreichen sind (siehe auch Bild 11 und 19). Ein Vergleich der Verteilung der Massen zeigt, daß der weitaus größte Teil der wertvollen Inhaltsstoffe in den für die Fütterung bestimmten Produkten Preßkuchen und Sediment verbleibt, wie aus den letzten drei Spalten der Tafeln zu entnehmen ist. Die Herstellung relativ großer Mengen wertvollen Sediments für die Monogastrierfütterung setzt dabei die Verwendung jungen Grasses voraus. Wird die Klarphase zur Düngung oder Biogaserzeugung eingesetzt, dann sind bei 14 % Trockenmassegehalt 7,6 % der Ausgangstrockenmasse und bei 25 % Trockenmassegehalt 2,8 % der Ausgangstrockenmasse nicht mehr für die Fütterung verfügbar.

Die Fraktionierung von Gras mit 17 % Trockenmassegehalt ist in Form eines Fließbildes für die Gesamtmasse in Bild 21 dargestellt.

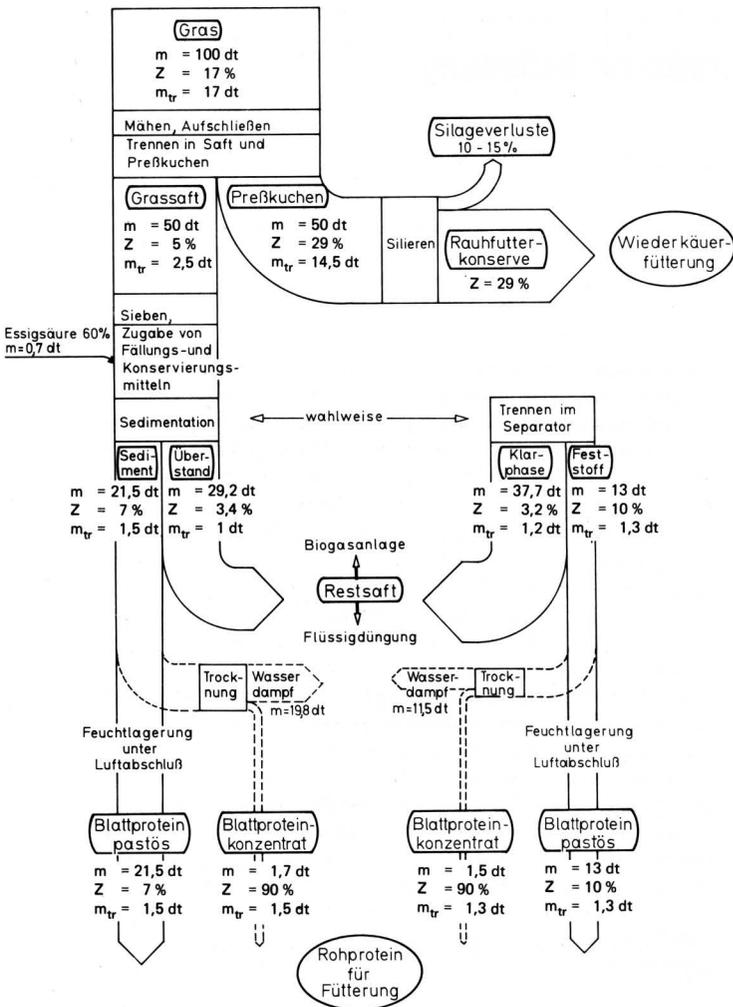


Bild 21. Fließbild für die Masse bei der Fraktionierung von Gras mit einem Trockenmassegehalt von $Z = 17\%$.

7. Zusammenfassung

Durch das Abpressen von Saft aus frischem Gras und Rückgewinnen von im Saft enthaltenen Nährstoffen, die in der Monogastrierfütterung eingesetzt werden können, werden die bei den üblichen Grasernteverfahren auftretenden Feld- und Silierungsverluste vermieden und die Trocknungskosten gesenkt. Vor dem Abpressen muß das Gras intensiv aufgeschlossen werden, um eine möglichst weitgehende Entfeuchtung bei geringem Preßdruck und kurzer Druckhaltezeit zu ermöglichen. Dazu ist eine schlagende und rei-

bende Bearbeitung in einer dafür entwickelten Hammerprallmühle am besten geeignet. Für die Verdichtung des aufgeschlossenen Grasses wurde eine nach dem Strangpreßprinzip arbeitende Schneckenpresse entwickelt, die bei einem Energiebedarf von 1 bis 3 kWh/t bis zu 50 % der Grassmasse als Grassaft abtrennt. Bei der Verarbeitung von jungem Gras verbleiben ungefähr 80 % der Trockenmasse und 70 % des Rohproteins im Preßkuchen, der siliert und zur Wiederkäuerfütterung eingesetzt werden kann. Ein Großteil des im Grassaft enthaltenen Rohproteins kann ausgefällt werden durch Zugabe von organischen Säuren in geringen Konzentrationen. Die Proteinkoagulate lassen sich durch Absetzen im Schwebfeld oder mit Zentrifugen aus dem Grassaft entfernen. Das pastenartige Sediment (Feststoff) kann in diesem Zustand bei Raumtemperatur konserviert und z.B. in der Flüssigfütterung von Schweinen eingesetzt werden.

Verwendete Formelzeichen

c	%	Anteil einzelner Nährstoffe an der Trockenmasse; Trockenmassegehalt
K_0, K_1		Koeffizienten
L_{TM}	kWh/t	spezifischer Energiebedarf, auf Trockenmasse bezogen
m	kg	Masse
p_p	bar	Preßdruck
s^*	%	mittlerer Fehler
t_p	s	Preßdauer
U	%	Feuchtegehalt
Z	%	Trockenmassegehalt
a	%	Trennfaktor
β, γ		Konzentrationsänderungsfaktoren
ρ_R	kg/m ³	Reindichte
$\rho_{R, tr}$	kg/m ³	Reindichte der Trockenmasse
ρ_{fl}	kg/m ³	Dichte des Wassers

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● *Pirie, N.W.*: Leaf protein and other aspects of fodder fractionation. Cambridge: Cambridge University Press 1978.
- [2] *Bruhn, H.D.*: Make haylage when the rain falls. Crops & Soils Magazine (1973) Nr. 8/9, S. 12/13.
- [3] ● *Bruhn, H.D. u. R.G. Koegel*: Development of a system for direct harvesting and acquisition of protein from plants for animal and human nutrition. Madison: University of Wisconsin 1974.
- [4] *Kohler, G.O., E.M. Bickoff u. D. DeFremery*: Mechanical dewatering of forage and protein byproduct recovery. Proc. 1st Intern. Green Crop Drying Congress, Oxford, 1973.
- [5] *Wieneke, F.*: Verfahrenstechnik der Halmfutterproduktion. Göttingen: Eigenverlag Prof. Wieneke 1972.
- [6] *Claus, H.G.*: Das Abpressen von Grassaft – ein Mittel zum Verkürzen der Trocknungsdauer. Grundl. Landtechnik Bd. 20 (1970) Nr. 2, S. 52/56.
- [7] *Arkcoll, D.B. u. M.N.G. Davys*: Mechanical fractionation as an aid to crop drying. Proc. 1st. Intern. Green Crop Drying Congress, Oxford, 1973.
- [8] *Wieser, E.*: Versuche zur mechanischen Dehydratation von Wiesengräsern. Diss. Univ. Göttingen 1968.
- [9] *Kohlheb, R.*: Gewinnung von Nährstoffkonzentraten aus grünen Pflanzen. Diss. Univ. Göttingen 1978.

- [10] Heier, W.: Aufschließen und Abpressen von Gras. Diss. Univ. Göttingen 1982.
- [11] Orth, H.W.: Mechanisches Dehydrieren von Halmgut nach einer Aufbereitung mit Hochfrequenzenergie. Landt. Forschung Bd. 19 (1971) Nr. 5/6, S. 147/51.
- [12] Koegel, R.G., V.I. Fomin u. H.D. Bruhn: Roller maceration and fractionation of forages. Transactions ASAE Bd. 16 (1973) Nr. 2, S. 236/40.
- [13] Basken, K.E.: Reducing the energy requirements of plant juice protein production. ASAE paper No. 75-1056.
- [14] Voß, H.: Ermittlung von Stoffgesetzen für Halmgut. Diss. TU Braunschweig 1970.
- [15] Sacht, H.O.: Das Verdichten von Halmgütern in Strangpressen. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 4, Düsseldorf: VDI-Verlag 1966.
- [16] Busse, W.: Das Verdichten von Halmgütern mit hohen Normaldrücken. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 1, Düsseldorf: VDI-Verlag 1966.
- [17] Davys, M.N.G. u. N.W. Pirie: A belt press for separating juices from fibrous pulps. J. Agric. Engng. Res. Bd. 10 (1965) Nr. , S. 142/45.
- [18] Conell, F.: The prospects of green crop fractionation. Span, Progress in Agriculture, London, Bd. 18 (1975) Nr. 3.
- [19] Mills, R.A., R.M. McDonald u. P.E. Donnelly: A screw press for extracting protein from pasture. The New Zealand Inst. of Engineers, Trans., Vol. 7, No 1/EMCh (1980).
- [20] Edwards, R.H., R.E. Miller u. G.O. Kohler: Commercial scale production of alfalfa leaf protein concentrate. ASAE paper No. 81-1524.
- [21] Prigge, H. u. W. Heier: Konservierung von Dekanterschlamm. Das wirtschaftseigene Futter Bd. 28 (1982) Nr. 1, S. 47/52.

Physikalische Eigenschaften und elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten

Von Eberhard Moser und Klaus Schmidt,
Stuttgart-Hohenheim *)

DK 632.9:632.982.1:537.2

Die elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten im chemischen Pflanzenschutz ist eine erfolversprechende Möglichkeit, die Wirkstoffanlagerung zu verbessern, die Drift zu reduzieren und damit den Einsatz chemischer Mittel zu senken. Neben technisch-konstruktiven Gesichtspunkten sind die physikalischen Eigenschaften der auszubringenden Mittel für die Anwendung elektrostatischer Aufladeverfahren entscheidend. Dichte, Viskosität, Oberflächenspannung, Randwinkel, elektrische Leitfähigkeit und Dielektrizitätszahl von Spritzflüssigkeiten wurden untersucht und ihre Einflüsse auf die Applikationstechnik unter besonderer Berücksichtigung der elektrostatischen Aufladung dargestellt.

1. Einleitung

Zunehmende Mechanisierung der Landwirtschaft, Monokulturen und ein hohes Ertragsniveau erfordern einen umfangreichen Einsatz von chemischen Mitteln für Pflanzenbehandlungsmaßnahmen. Diese Mittel dienen einerseits der Behandlung von Pflanzenkrankheiten, der Bekämpfung von Schadinsekten oder von Unkräutern, andererseits auch der zusätzlichen Düngung (z.B. mit Blattdüngern).

Eine optimale biologische Wirkung ist bekanntlich nicht nur vom Wirkstoff, sondern auch von den physikalischen Eigenschaften, insbesondere von der Mikroverteilung der Spritzflüssigkeit auf der Pflanze abhängig. Die Wirkstoffmittel werden in der Regel mit dem Trägerstoff Wasser in geringen Konzentrationen ausgebracht. Wirkstoff, Formulierungsmittel und Additive ergeben in Verbind-

ung mit Wasser unterschiedliche Eigenschaften, die zum einen die Tropfenbildung (Tropfengröße, -zahl und -verteilung) [1, 2] und den Tropfentransport (Verdunstung, Tropfenbahn), zum anderen die Anlagerung und die biologische Wirkung (Benetzbarkeit, Masse, Bedeckungsgrad, Belagsflecken-größe und -abstand) beeinflussen.

In sehr geringen Mengen auszubringende Mittel (ULV-Mittel), meist mit Ölen als Trägerstoff, besitzen wiederum größtenteils andere physikalische Eigenschaften. Die Hauptprobleme, die durch die Anwendung chemischer Mittel entstehen können — Umweltbelastung (insbesondere durch Abdrift), Rückstände in Pflanzen und Energiebedarf —, erfordern neue, verbesserte Applikationstechniken wie beispielsweise die elektrostatische Aufladung der Spritzflüssigkeiten. Verbesserte Spritzbeläge bei reduzierter Abdrift und bessere Wirksamkeit bei Anwendung kleinerer Tropfen und reduzierten Aufwandmengen sind damit realisierbar. Die heute bekannten, möglichen elektrostatischen Aufladeverfahren erfordern für ihre optimale Anwendbarkeit bestimmte physikalische Eigenschaften der Spritzflüssigkeiten. Ziel der Untersuchungen war die Bestimmung physikalischer Stoffeigenschaften einer größeren Anzahl handelsüblicher Pflanzenschutz-Spritzmittel (Suspensionen, Emulsionen und Lösungen in Wasser sowie ULV-Präparate), insbesondere im Hinblick auf die Effektivität elektrostatischer Auflade- bzw. Spritzverfahren [3 bis 7].

2. Physikalische Eigenschaften von Spritzmitteln

2.1 Dichte

Nahezu alle chemischen Pflanzenschutzmittel werden in der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe des Trägerstoffes Wasser ausgebracht. Die verwendete Wassermenge (100 bis 2000 l/ha) ermöglicht geringe Konzentrationen der Mittel (0,05–3 %), eine relativ einfache Dosierung und gute Verteilgenauigkeit. Die Dichteunterschiede der verschiedenen untersuchten Spritzbrühen sind demzufolge erwartungsgemäß gering, die gemessenen Dichten liegen im Bereich 0,995–1,005 g/cm³; diese Dichteunterschiede haben weder Auswirkungen auf die Tropfenbildung noch auf den Tropfenflug bzw. die Gewichtskraft der Tropfen, die für die Beeinflussung der Tropfenflugbahn durch elektrostatische Kräfte maßgebend ist.

Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert.

*) Prof. Dr.-Ing. E. Moser ist Leiter des Fachgebietes "Verfahrenstechnik für Intensivkulturen" am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim; Dipl.-Ing. K. Schmidt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Institut.