

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 32 (1941)
Heft: 3

Artikel: Die wirtschaftliche Graastrocknung unter Ausnützung der überschüssigen Sommer-Energie
Autor: Brunner, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059990>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des
Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXII. Jahrgang

N^o 3

Mittwoch, 12. Februar 1941

Die wirtschaftliche Graströcknung unter Ausnützung der überschüssigen Sommer-Energie.

Von G. Brunner, Baden.

621.364.2 : 633.2

Die landwirtschaftlichen Gesichtspunkte der Graströcknung werden eingehend erörtert. Die zur Graströcknung verwendbaren Trockner-Systeme werden kurz beschrieben. Eingehend wird die Wirtschaftlichkeit und Ueberlegenheit des von der Firma Brown Boveri entwickelten Systems mit Wärmerückgewinnung unterstrichen.

L'auteur traite de façon détaillée le séchage de l'herbe au point de vue agricole et décrit les systèmes de séchage employés. Il fait ressortir les avantages économiques et la supériorité du système avec récupération de chaleur développée par la S. A. Brown Boveri.

Im Folgenden wird ein neues Absatzgebiet für die Sommerüberschussenergie beschrieben, welches für unser Land von grösster volkswirtschaftlicher Bedeutung ist. Es handelt sich dabei um die künstliche Trocknung von Gras zur Beschaffung von inländischem Kraftfutter als Ersatz für die importierten Kraftfuttermittel, die heute grösstenteils nicht mehr erhältlich sind.

Es sollen vorerst einige erläuternde Angaben über den Wert des Trockengrases und die damit zusammenhängenden wirtschaftlichen Fragen gemacht werden. Die Bedeutung des Trockengrases als Futtermittel ist bereits in langjährigen Versuchen im In- und Ausland geprüft worden und wird heute von den massgebenden Persönlichkeiten der Landwirtschaft allgemein anerkannt. Dabei muss von vorneherein klargestellt werden, dass es sich bei der Trockengrasherstellung nicht etwa einfach nur um eine künstliche Heuzubereitung handelt, welche unabhängig von der Witterung erfolgen kann, sondern dass das Trockengras einen vollwertigen Kraftfutter-Ersatz für unser Milchvieh darstellt.

Es sei in diesem Zusammenhang auch speziell auf die Ausführungen von Herrn Direktor Ringwald der Centralschweizerischen Kraftwerke in seinem interessanten Vortrag an der Generalversammlung 1940 des Verbandes der Schweizerischen Elektrizitätswerke hingewiesen¹⁾. Auf dem Versuchshof der Centralschweizerischen Kraftwerke in Emmen werden bereits seit mehreren Jahren systematische Fütterungsversuche mit Trockengras durchgeführt, welche den Kraftfutter-Charakter desselben eindeutig bewiesen haben. Umfangreiche Versuche in dieser Richtung wurden von der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Liebefeld bei Bern, sowie auch im Ausland, insbesondere in den nordischen Staaten, unternommen, welche eben-

falls positive Resultate zeitigten. Auf Grund der vorliegenden Versuchsergebnisse kann die biologisch wissenschaftliche Seite des Trockengrasproblems als abgeklärt betrachtet werden.

Der Wert des Trockengrases liegt im Gehalt an Milchaufbaustoffen, wie verdauliches Eiweiss oder Rohprotein, Stärke und Carotin, welches letzteres eine Vorstufe des Vitamins A darstellt und der Milch, sowie der Butter die geschätzte gelbe Farbe verleiht. Nach Untersuchungen am Hygiene-Institut der Universität Oslo und am staatlichen Vitamine-Institut Oslo bleibt im Trockengras auch ein Teil der im Frischgras enthaltenen Vitamine erhalten. Bei der natürlichen Trocknung werden diese Stoffe zum Teil durch Gärung und zum Teil durch die nach dem Schnitt der Pflanze auftretende Atmung zerstört. Die in dieser Richtung gemachten Untersuchungen ergeben, dass die Verluste an Nährwerten bei der natürlichen Trocknung bei schönem Wetter ca. 35 % und bei ungünstigem Heuwetter bis 60 % und mehr betragen können. Nebst dem konservierenden Einfluss auf die Nährstoffe hat die künstliche Trocknung auch noch eine sterilisierende Wirkung auf das Futter.

Ein weiterer Umstand, welcher sich auf die Erhaltung der Nährstoffe günstig auswirkt, besteht darin, dass die vom Naturheu her bekannte und oft gefürchtete Nachgärung beim Trockengras infolge seines kleineren Wassergehalts von nur ca. 10 %, bezogen auf das Gesamtgewicht (Trockensubstanz + Wasser), nicht zu befürchten ist. Da das Trockengras ziemlich stark hygroskopisch ist, wird es unmittelbar nach der Trocknung zur Verhinderung der Wasseraufnahme in Ballen gepresst und in dieser Form gelagert.

Als weiteres wichtiges Moment für die heutigen Verhältnisse kommt ferner hinzu, dass die Beschaffung von Kraftfutter im Ausland gegenwärtig mit

¹⁾ Bull. SEV 1940, Nr. 22, S. 505 (und S. 540).

grossen Schwierigkeiten verbunden ist. Das Fehlen von Kraftfutter würde für unser Land einen empfindlichen Ausfall an Milch bedeuten, was zu einer schweren Schädigung unserer Volkswirtschaft führen könnte. Durch den Ausfall des Kraftfutters würde nämlich unsere Milchproduktion um mindestens 20 % zurückgehen, was bei einem Milchpreis von 22 Rp. pro Liter einen Verlust von 110 Millionen Franken ausmachen würde. Es ist daher notwendig, dass gerade heute die künstliche Graströcknung so rasch als möglich und mit allen Mitteln der Verwirklichung entgegengeführt wird.

Es stellt sich nun die Frage: Wie gross ist die Trockengrasmenge, welche wir für unser Land als Ersatz für das Kraftfutter benötigen? Nach Angaben führender Fachleute aus der Landwirtschaft berechnet sich der totale jährliche Trockengrasbedarf für die Schweiz auf 1,42 Million q (Doppeltzentner). Unter den heutigen Verhältnissen kann für 100 kg Trockengras als Äquivalent für Kraftfutter mit einem Preis von Fr. 25.— gerechnet werden, was für den Jahresbedarf einen Wert von 35,5 Millionen Franken ergibt. Da dieses Futter vom Ausland eingeführt werden muss, bedeutet es für unsere Volkswirtschaft einen bedeutenden Gewinn, wenn es gelingt, dasselbe im eigenen Lande zu beschaffen.

Was die Herstellung dieser Trockengrasmenge in trockentechnischer Hinsicht bedeutet, wird sofort klar, wenn man sich vergegenwärtigt, was für eine Wassermenge zu diesem Zweck verdampft werden muss. Der Wassergehalt von Frischgras kann normalerweise zu 82 % angegeben werden. Beim Trockengras soll der Wassergehalt dagegen nur noch ca. 10 % betragen, bezogen auf das totale Trockengrassgewicht (Trockensubstanz + Wasser). Dies bedeutet, dass für die Herstellung von 100 kg Trockengras mit 10 % Wassergehalt 400 kg Wasser verdampft werden müssen. Das Gewichtsverhältnis vom frischen zum trockenen Gras beträgt somit 5:1.

In Anbetracht der grossen zu verdampfenden Wassermenge ist es speziell für unser Land, welches in seinem Energiehaushalt sparsam sein muss, von grösstem Interesse, die Verdampfung mit einem möglichst kleinen Energieaufwand durchführen zu können. Bei den bisher zu diesem Zweck zur Verfügung gestandenen Trocknern war der Energieverbrauch verhältnismässig gross, was nebst andern Gründen auch mitbestimmend war, dass man der Graströcknung in der Schweiz bisher immer etwas skeptisch gegenüberstand. Auf Grund dieser Erwägungen wurde die Frage ernstlich geprüft, ob bei der Graströcknung die Möglichkeit bestehe, mit Hilfe eines Wärmerückgewinnungssystems den bisher allgemein als zu hoch taxierten Energieaufwand wesentlich reduzieren zu können.

Bei Trocknern, welche ohne Wärmerückgewinnung arbeiten, wird das aus dem Trockengut verdampfte Wasser zusammen mit der für den Transport des Wasserdampfes nötigen Luft aus dem Trockenraum ins Freie ausgestossen. Bei der Anwendung der Wärmerückgewinnung wird dagegen die im Wasserdampf enthaltene latente Wärme,

d. h. diejenige Wärmemenge, welche für die Verdampfung aufgebracht werden musste, durch Kondensation des aus dem Trockenraum abziehenden Wasserdampfes rückgewonnen und dem Trockenprozess wieder zugeführt. Eine ausführlichere Erklärung der beiden Trocknungssysteme erfolgt in einem spätern Abschnitt.

Es soll nun untersucht werden, wie sich die Anwendung der beiden Trocknungssysteme auf die künstliche Graströcknung auswirkt.

Ueber Trockenapparate ohne Wärmerückgewinnung liegen umfangreiche Messresultate und Betriebserfahrungen vor, welche zeigen, dass der Wärmeverbrauch für 1 kg zu verdampfendes Wasser inkl. aller Verluste und einschliesslich der motorischen Energie für den Antrieb der Ventilatoren für einen gut durchgebildeten Trockner mit 1050 kcal angesetzt werden kann. Das ergibt für die Erzeugung des für den Kraftfutterersatz nötigen Trockengrases von 1,42 Millionen Doppeltzentner und ohne Wärmerückgewinnung einen Energieaufwand von rund 690 Millionen kWh.

Ueber den Energieverbrauch von Trocknern mit Wärmerückgewinnung können aus der Praxis des Inlandes und des Auslandes keine Angaben entnommen werden, da bisher keine solchen Trocknungsapparate in Betrieb waren. Auf Grund von Versuchsergebnissen, welche im vergangenen Jahr mit einem solchen Probeapparat schweizerischer Konstruktion erzielt wurden, und die im weiteren Teil dieser Abhandlung bekannt gegeben werden, kann für einen solchen Trockner mit einem Energieverbrauch inkl. Motoren für 1 kg verdampftes Wasser von 600 kcal gerechnet werden. Für die schweizerische Trockengraserzeugung würde sich demnach der gesamte Energiebedarf für Trockner mit Wärmerückgewinnung auf rund 400 Millionen kWh belaufen. Wird die kWh z. B. zu 2 Rp. berechnet²⁾, so stehen sich die beiden Trocknersysteme in bezug auf Energieverbrauch für die 1,42 Millionen Doppeltzentner Trockengras, in Franken ausgedrückt, wie folgt gegenüber:

Trockner ohne Wärmerückgewinnung: Energiekosten 13,8 Millionen Franken.

Trockner mit Wärmerückgewinnung: Energiekosten 8 Millionen Franken.

Die Rückgewinnung bringt also eine jährliche Ersparnis an Energie von 5,8 Millionen Franken.

Da der Trockner mit Wärmerückgewinnung in seinem Aufbau naturgemäss etwas komplizierter ist, müssen seine Gestehungskosten, wie aus vorliegenden Offerten für beide Trocknerarten hervorgeht, zu ca. 20 % grösser eingesetzt werden. In Anbetracht der bedeutenden Energieersparnis, welche die Wärmerückgewinnung einbringt, lässt sich jedoch, wie später noch genauer gezeigt werden soll, ein gewisser Mehraufwand für einen solchen Trockner mehr als rechtfertigen.

²⁾ Der Energiepreis von 2 Rp./kWh ist eine willkürliche Annahme. Je nachdem die elektrische Energie zu einem billigeren oder teureren Preise zur Verfügung steht, wird auch die durch die Wärme-Rückgewinnung erzielte Einsparung entsprechend kleiner oder grösser.

Bei den grossen Energiemengen, welche für die Trockengrasherstellung benötigt werden, muss man sich unwillkürlich fragen, ob diese in diesem Ausmass von unsern Elektrizitätswerken bereitgestellt werden können. Da die Trocknungsanlagen nur während der Sommer- und zum Teil während der Herbstmonate im Betriebe stehen, können diese ausschliesslich mit Sommerabfallenergie beliefert werden. Ausserdem bilden sie für die Kraftwerke ideale Konsumenten, da automatisch eine gewisse Anpassung an die disponible Energie stattfindet, indem der Energieverbrauch bei nasser Witterung grösser ist als bei trockenem Wetter.

Der Statistik des Amtes für Elektrizitätswirtschaft ist zu entnehmen ³⁾, dass insgesamt in der ganzen Schweiz im Sommerhalbjahr 1939 630 Millionen kWh der zur Verfügung stehenden Energiemenge nicht verwendet werden konnten. Dieser Energiebetrag darf jedoch nicht in vollem Umfang in Rechnung gestellt werden, wie er sich aus den statistischen Angaben ergibt, sondern es müssen auch noch die Zeitintervalle berücksichtigt werden, in welchen diese Energie zur Verfügung stand. Dabei wird ein grosser Prozentsatz auf die Sonntage oder die Nachtzeit fallen, wo die meisten technischen Betriebe stillgelegt sind. Diese Zeiten eignen sich jedoch auch nicht für die künstliche Grastrocknung, sodass sich als effektiv für die Trocknung verwendbare Energie ein bedeutend kleinerer Wert ergeben wird.

Man sieht, dass die für die Trocknung zur Verfügung stehende Ueberschussenergie nicht im Ueberfluss vorhanden ist. Es ist also auch in dieser Hinsicht von grosser Wichtigkeit, die Trockner mit einem wirksamen Wärmerückgewinnungssystem auszurüsten, um mit der zur Verfügung stehenden Energie möglichst viel Trockengras herstellen zu können.

• Für die Bestimmung der Grösse der für die schweizerischen Verhältnisse in Frage kommenden Trockner-Einheiten sind verschiedene Gesichtspunkte massgebend. Mit kleineren Trockenapparaten, welche auf jedem Bauerngehöft aufgestellt werden könnten, lässt sich keine rationelle Trocknung durchführen, da die Verluste eines solchen Apparates im Verhältnis zu der effektiven Trocknungsleistung ziemlich gross sind. Ferner muss berücksichtigt werden, dass es sich bei der Grastrocknung meistens um Stossbetriebe handelt, sodass der Trockner eine gewisse Aufnahmekapazität besitzen sollte. Es würde also am günstigsten erscheinen, möglichst grosse Trockner aufzustellen, welche auf korporativer Basis arbeiten und ein aus mehreren Bauerngehöften bestehendes Einzugsgebiet besitzen. Dabei ergibt sich jedoch eine gewisse Begrenzung der Trocknerleistung nach oben, welche einerseits durch die Graszufuhrverhältnisse und andererseits durch die vorhandenen Anschlussmöglichkeiten an bestehende Kraftnetze bedingt ist. Wenn das Einzugsgebiet für den Trockner zu gross wird, kann durch die Kosten des Zubringerdienstes leicht eine zu starke Belastung

des Trockengrases eintreten. Unter Berücksichtigung dieser Umstände ergibt sich als durchschnittlich für einen Trockner geeignetes Einzugsgebiet, nach Ansichten landwirtschaftlicher Fachleute und für schweizerische Verhältnisse, eine maximale Wiesenfläche von ca. 40—50 Hektar, d. s. 111—139 Jucharten.

In diesem Zusammenhang muss noch erwähnt werden, dass eine für die Beschickung eines Trockners bestimmte Wiese pro Jahr fünf- bis sechsmal geschnitten werden muss, um im Trockengras einen wirklich vollwertigen Kraftfuttersatz zu erhalten. Das Gras darf nicht ausreifen, da sonst ein Teil der wertvollen Zellschubstanz in Holzfasern übergeht, was einen Nährwertverlust bedeuten würde.

Der Ertrag des oben angegebenen Einzugsgebietes kann bei mindestens fünfmaligem Schnitt pro Jahr mit einer jährlichen Trockengrasmenge von 3500—4000 Doppelzentner angegeben werden. Wird nun für einen Trockner mit einer jährlichen Betriebszeit von 1500 Stunden gerechnet, so ergibt sich daraus für einen Trockner eine stündliche Trockengrasleistung von rund 250 kg. Bei Verarbeitung von Gras mit 82% Wassergehalt würde diese Trockengrasmenge einer stündlichen Wasserverdampfung von 1000 kg entsprechen.

Auf Grund des oben festgestellten jährlichen Trockengrasbedarfes wäre es für die Versorgung unseres Landes nötig, 380 solche Grastrocknungsanlagen in Betrieb zu nehmen.

Der Anschlusswert für einen Trockner berechnet sich *inklusive Motoren* aus dem bereits angegebenen Energieaufwand für die Wasserverdampfung:

für einen Trockner *ohne* Wärmerückgewinnung: 1220 kW.
für einen Trockner *mit* Wärmerückgewinnung: 700 kW.

Der Vorteil der Wärmerückgewinnung tritt auch hier wieder klar hervor. Es wird immer leichter und billiger sein, in einem in bezug auf Graswuchs für die Aufstellung eines Trockners geeigneten Gebiet die für den Anschlusswert nötige Netzleistung zu finden, wenn nur 700 kW statt 1220 kW erforderlich sind.

Die richtige Ausnützung der Vorteile, welche die künstliche Grastrocknung für unsere Landwirtschaft bringen kann, bedingt gleichzeitig nicht zu unterschätzende Anforderungen, speziell organisatorischer Natur, an unsere Landwirte.

Das erwähnte Einzugsgebiet für einen Trockner wird sich in der Regel auf eine grössere Anzahl Bauerngehöfte verteilen. Um eine reibungslose Beschickung des Trockners zu ermöglichen, ist es nötig, dass die Grasliefereien nach einem bestimmten Programm erfolgen, das von den beteiligten Landwirten eingehalten werden muss. Es ist dabei unbedingt zu vermeiden, dass das für die Trocknung bestimmte Gras nach dem Schnitt während längerer Zeit liegen bleibt, da es damit an Nährgehalt einbüssen würde. Ferner wird das fünf- bis sechsmalige Schneiden der betreffenden Wiesen für die Landwirte eine gewisse Umstellung der heute üblichen Erntemethoden bedingen. Diese Umstellung wird jedoch sicher nicht sehr schwer fallen, da sie auf den Stossbetrieb der Heuernte

³⁾ Bull. SEV 1940, Nr. 1, S. 1.

ausgleichend wirkt und die Arbeitsbelastung gleichmässig über den Sommer verteilt.

Ferner ist es die Aufgabe der Landwirtschaft, die Aufstellungsorte der einzelnen Trockner und die Verteilung sämtlicher Apparate in der Schweiz zweckmässig vorzunehmen. Die Auswahl der Aufstellungsorte bedingt auch die Mitarbeit der Elektrizitätswerke, da dafür nicht nur der Graswuchs massgebend ist, sondern auch die vorhandenen Anschlussmöglichkeiten. Es liegt im Interesse kleiner Anlagekosten, die Aufstellungsorte so auszusuchen, dass die nötigen Hochspannungsleitungen für den Anschluss des Trockners möglichst kurz ausfallen. Bei der Auswahl der Standorte wird speziell mit Rücksicht auf die elektrische Anschlussmöglichkeit wiederum der Trockner mit Wärmerückgewinnung im Vorteil sein.

Als Erweiterung des Verwendungszweckes der Graströckner besteht die Möglichkeit, die Apparate für das Trocknen von Gemüse, Obst, Kartoffeln, Trester und anderer landwirtschaftlicher Produkte zu verwenden. Dies bringt eine weitere Verbesserung der Wirtschaftlichkeit solcher Apparate, die jedoch im Rahmen der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht in Betracht gezogen werden.

Im Folgenden sollen nun die für die Graströcknung in Frage kommenden Apparate und Methoden kurz besprochen werden.

Der in konstruktiver Hinsicht einfachste unter den verschiedenen Trockenapparaten ist der *Hürdentrockner*. Das Trockengut wird bei diesem Apparat auf einer einzelnen oder mehreren übereinanderliegenden Hürden ausgebreitet, wo es vom Trockenluftstrom durchflossen wird. Die Beschickung solcher Trockner gestaltet sich jedoch ziemlich umständlich und erfordert umfangreiche manuelle Arbeit für die während des Trocknungsprozesses nötige Umschichtung und Wendung des Gutes. Die Verwendung dieses Trockners blieb daher auf kleinere Betriebe beschränkt.

Im Laufe der Entwicklung von Grosstrocknern ist man dazu übergegangen, die Förderung des Trockengutes durch den Trockenraum mechanisch zu gestalten. Es sind zu diesem Zwecke eine Reihe von Systemen ausgearbeitet worden, deren Beschreibung im Rahmen des vorliegenden Aufsatzes zu weit führen würde. Es sollen nur die wichtigsten, heute für den Transport des Gutes verwendeten Einrichtungen kurz erwähnt werden.

Beim *Bandtrockner* wird das Trockengut auf einem Transportband durch den Trockenraum befördert, wobei es in geeigneter Weise längs oder quer zur Fortbewegungsrichtung vom Trockenluftstrom durchflossen wird.

Im *Trommeltrockner* erfolgt die Fortbewegung des Trockengutes durch die Rotation der Trommeln. Im Trommelinnern sind dabei noch besondere Einbauten vorgesehen, welche eine Bewegung des Trockengutes in der Richtung der Trommelaxe erzeugen.

Beim *pneumatischen Trockner* wird der zur Trocknung nötige Luftstrom gleichzeitig für die

Fortbewegung des Trockengutes benützt. Bei diesem System ist es jedoch nötig, das Gras vor der Trocknung zu häckseln, da es nur in zerkleinerter Form ohne Störungen vom Luftstrom mitgenommen werden kann.

In Fig. 1 bis 3 sind die auf die erwähnten Trocknerkonstruktionen anwendbaren Trocknungsmethoden schematisch dargestellt.

Die einfachste und in ihrer Anwendung älteste Methode ist in Fig. 1 dargestellt; sie besteht darin,

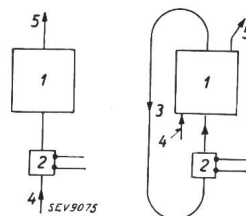


Fig. 1 (links).
Trockner
ohne Luftumwälzung.

- 1 Trockenraum.
- 2 Heizkörper.
- 3 Trockenluft-Umwälzung.
- 4 Frischlufteintritt.
- 5 Wasserdampf- und Luftaustritt.

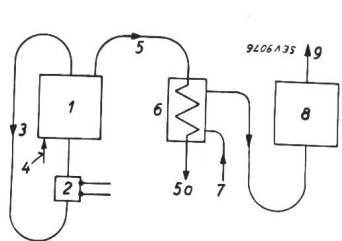
Fig. 2 (rechts).
Trockner
mit Luftumwälzung ohne
Wärmerückgewinnungen.

dass mittels eines Heizkörpers 2 vorgewärmte Luft durch das im Trockenraum 1 liegende Gut geschickt und nach einmaligem Durchgang direkt ins Freie ausgestossen wird. Dieses Verfahren war naturgemäss sehr verlustreich, da die Luft beim einmaligen Durchgang durch das Gut nur wenig Wasserdampf aufnehmen konnte und somit für die Verdampfung einer bestimmten Wassermenge eine relativ grosse unausgenützte Luftmenge aufgeheizt werden musste. Infolge des schlechten Wirkungsgrades kommt dasselbe für Grossapparate nicht in Anwendung.

Eine Verbesserung wurde bereits erreicht durch die Einführung der Luftumwälzung, d. h. durch den mehrmaligen Durchgang der Trockenluft durch das Trocknungsgut. In Fig. 2 ist das Prinzipschema eines solchen Trockners dargestellt. Das Trockengut befindet sich im Trockenraum 1 und wird dort vom Trockenluftstrom 3 durchflossen, welcher im Heizkörper 2 aufgeheizt wird. Der Trockenluftstrom bildet einen in sich geschlossenen Kreislauf, welcher die im Heizkörper erzeugte Wärme auf das Trocknungsgut überträgt und sich dabei mit Wasserdampf anreichert. Es muss nun dafür gesorgt werden, dass das im Trocknungsgut verdampfte Wasser aus dem Kreislauf weggeführt wird, was durch die mit 5 bezeichnete Abzugsstelle angedeutet sein soll. Die mit dem Wasserdampf zwangsläufig abgehende Luftmenge wird bei 4 in Form von Frischluft dem Kreislauf wieder zugefügt. Setzt man zur Vereinfachung des Problems voraus, dass der Trockenluftkreislauf sowie der Trocknungsraum und der Heizkörper eine unendlich gute Wärmeisolation besitzen, so würden diese Teile durch die Wandungen hindurch nach aussen keine Wärme verlieren. Die gesamte, im Heizkörper 2 aufgebrachte Wärmemenge würde somit mit dem bei 5 abziehenden Dampf-Luft-Gemisch ins Freie abgegeben. Im Gegensatz zu der Anordnung nach Fig. 1 ist in diesem Falle infolge der Umwälzung die bei 5 abziehende Luft bedeutend stärker mit Wasserdampf gesättigt, so dass der Wärmeverlust durch

die austretende Luft bedeutend kleiner ist. Die durch den Heizkörper erzeugte Wärme wird jedoch auf diese Weise nur einmal zur Verdampfung des Wassers im Trocknungsraum 1 ausgenützt.

Einen sehr grossen Fortschritt in der Trocknungstechnik bringt die in Fig. 3 schematisch dargestellte Wärmerückgewinnung.



1 Erster Trockenraum. 2 Heizkörper. 3 Trockenluftumwälzung. 4 Frischlufteintritt. 5 Wasserdampf + Luftaustritt. 5a Kondenswasser + Luftaustritt. 6 Wärmeaustauscher. 7 Frischlufteintritt für Rückgewinnungsstufe. 8 Zweiter Trockenraum (Rückgewinnungsstufe) 9 Trockenluft + Wasserdampfaustritt.

Fig. 3. Trockner mit Wärmerückgewinnung.

Die einzelnen Teile 1—5 sind wiederum in derselben Weise angeordnet, wie in Fig. 2. Anstatt bei 5 den Wasserdampf ins Freie abziehen zu lassen, wird dieser in einen Wärmeaustauscher 6 geleitet, in welchem er durch Abkühlung kondensiert wird. Die Kühlung im Wärmeaustauscher erfolgt durch den Frischluftstrom 7. Bei der Kondensation wird die für die Verdampfung des Wassers durch den Heizkörper 2 aufgebrachte Wärme wieder frei und heizt dabei den Frischluftstrom 7 auf, welcher einem zweiten Trocknungsraum 8 zugeführt wird und dort wieder zur Verdampfung von Wasser aus dem in diesem Raum liegenden Trocknungsgut dient. Die durch den Heizkörper 2 in den Trocknungsprozess eingeführte Wärme wird also über den Wärmeaustauscher im Trocknungsraum 8 zum zweiten Mal ausgenützt. Da nun der ganze Trocknungsprozess nicht, wie oben angenommen wurde, verlustlos durchgeführt werden kann, sondern auf dem Wege vom Heizkörper 2 bis zum Trocknungsraum 8 ein Teil der Wärme durch Abstrahlung, Leitung und Austrittsverluste beim Kondenswasseraustritt 5a verloren geht, kann im zweiten Trocknungsraum nur ein Teil der in den ersten Trocknungsraum eingeführten Wärme ausgenützt werden. Bei zweckmässiger Führung des Trocknungsprozesses kann im Trocknungsraum 8 mindestens 50% der in den Trocknungsraum 1 eingeführten Wärmemenge nochmals verwendet werden.

Für eine spätere Entwicklung wäre es ohne weiteres möglich, die Wärmerückgewinnung auch mehrstufig auszuführen, wodurch nochmals wesentliche Energieeinsparungen erzielt werden könnten.

Dazu muss noch ergänzend erwähnt werden, dass trotz künstlicher Trocknung auch die Natur bei allen genannten Trocknungsmethoden einen Beitrag zur Verbesserung der Wärmeökonomie leisten kann, indem das Gras nach dem Schnitt bei günstiger Witterung kurzzeitig auf der Wiese liegen gelassen wird. Während dieser Zeit wird bereits ein ansehnlicher Teil des Wassergehaltes verdunstet. Insofern diese Vorwelkung nicht zu lange ausgedehnt wird, erleidet das Gras dabei keine

wesentliche Einbusse an Nährgehalt, so dass dieses Geschenk der Natur in Form von Wärme-Einheiten ohne Bedenken entgegengenommen werden kann.

Die Auswirkung des Vorwelkens ist in Kurvenform in Fig. 4 dargestellt, wo die auf 100 kg Trockengras bezogenen Trocknungskosten für einen Trockner mit und einen Trockner ohne Wärmerückgewinnung in Abhängigkeit des Wassergehaltes im Frischgras aufgetragen sind. Dabei ist vorausgesetzt, dass die Trockner in bezug auf Wasserverdampfung immer voll ausgenützt werden. Aus den Kurven 1 und 2 geht hervor, dass die Trocknungskosten mit sinkendem Wassergehalt des Grases rasch abnehmen, während die Produktionsfähigkeit des Trockners nach Kurve 3 zunimmt. Es ist daher auch bei der künstlichen Trocknung von Vorteil, auf die Witterungsverhältnisse Rücksicht zu nehmen und das Gras möglichst bei schönem Wetter zu schneiden.

Zusammenfassend soll nochmals ausdrücklich betont werden, dass es sich bei dem für unsere Land- und Volkswirtschaft so überaus wichtigen Problem der künstlichen Grastrocknung in grösstem Ausmass um Wirtschaftlichkeitsfragen handelt, und dass deshalb die Wärmerückgewinnung für die Verwirklichung der künstlichen Grastrocknung von ausschlaggebender Bedeutung ist.

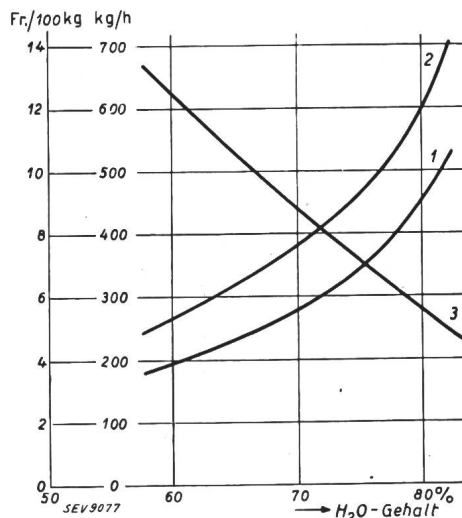


Fig. 4. Trockengras-Produktion und Trocknungskosten für 100 kg Trockengras in Abhängigkeit des Wassergehaltes im Frischgras.

1 Trocknungskosten für Trockner mit Wärmerückgewinnung, elektrisch beheizt, Energieverbrauch 550...650 kcal pro kg verdampftes Wasser. 2 Trocknungskosten für Trockner ohne Wärmerückgewinnung, elektrisch beheizt, Energieverbrauch 1000 bis 1200 kcal pro kg verdampftes Wasser. 3 Stündliche Trockengrasproduktion bei maximaler Ausnützung des Trockners. 1 und 2 Jährliche Betriebszeit 1500 Stunden.

Das Problem der Wärmerückgewinnung ist jedoch nicht so einfach, wie es aus den obigen elementaren Darlegungen erscheinen könnte. Die Verwirklichung der Wärmerückgewinnung in der Praxis stellt im Gegenteil grosse wissenschaftliche Anforderungen, welche nur erfüllt werden können durch engste Zusammenarbeit von guten Thermodynamikern und Maschinenbauern. Die Entwicklungsarbeiten gestalteten sich um so schwieriger, da auf diesem Gebiete, wie bereits betont, bisher keinerlei Unterlagen oder Erfahrungen vorlagen.

In Anbetracht der grossen Bedeutung dieses Problems glaubte sich die Firma Brown Boveri verpflichtet, mitzuhelfen, um zu einer wirtschaftlichen Lösung zu kommen. Nach einigen Vorstudien und Vorversuchen wurde zusammen mit der Maschinenfabrik U. Ammann A.G. in Langenthal, ohne die beträchtlichen Kosten zu scheuen und vollständig auf eigenes Risiko, ein Versuchsapparat gebaut, welcher im August 1940 auf dem Versuchshof der Centralschweizerischen Kraftwerke (CKW) in Emmen in Betrieb genommen wurde.

Die hochspannungsseitigen elektrischen Einrichtungen sowie die für die Versuche benötigte elektrische Energie wurde von den CKW, welche bereits seit Jahren Pionierarbeit auf dem Gebiete der künstlichen Grastrocknung geleistet haben, in verdankenswerter Weise gratis zur Verfügung gestellt.

Der Versuchsapparat arbeitet mit Wärmerückgewinnung entsprechend dem an Hand der Fig. 3 bereits erklärten Prinzip. Der Trockner ist zu diesem Zwecke in zwei getrennte Stufen unterteilt, eine Rückgewinnungsstufe und eine fremdbeheizte Stufe, welche nacheinander vom Trockengut durchwandert werden und je eine separate Luftumwälzung besitzen. Die Umwälzluft in der fremdbeheizten Stufe wird mit einem elektrischen Lufterhitzer aufgeheizt, dessen Leistung stufenweise reguliert werden kann.

Die Aufheizung der Trockenluft in der Rückgewinnungsstufe erfolgte in der bereits erwähnten Weise durch Kondensation des in der fremdbeheizten Stufe verdampften Wassers in einem Wärmeaustauscher.

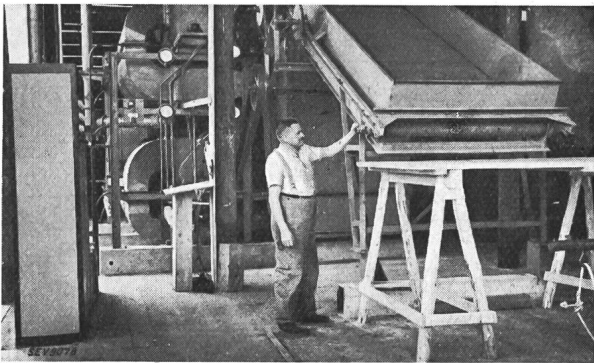


Fig. 5.

Versuchsgrastrockner mit elektrischer Heizung und Wärmerückgewinnung.
Ansicht der Grasaufgabeseite.

Für den Transport des Grases durch den Trockner werden Sieb-Bänder verwendet, da sich diese im Zusammenhang mit der Wärmerückgewinnung als besonders geeignet erweisen. Ueber diese Bänder wurden bezüglich der Betriebssicherheit von verschiedenen Seiten Bedenken geäussert. Tatsächlich bestanden bei früheren Versuchen mit Bandtrocknern in dieser Beziehung gewisse Schwierigkeiten, weil die Bänder die für den Transport des Trockengutes nötigen Zugkräfte aufnehmen mussten. Das Problem ist jedoch heute gelöst, indem für den vorliegenden Trockner eine neuartige

Bandkonstruktion entwickelt wurde, bei welcher die Bänder von den genannten Zugkräften entlastet werden.

In Fig. 5 bis 7 sind einige Photographien des Versuchsapparates wiedergegeben, in welchen der Trocknungskasten mit dem Graselevator sowie die seitlich am Trocknungskasten angebauten Ventilatoren für die Luftumwälzung sichtbar sind.

Die Leistungsfähigkeit des Versuchstrockners beträgt, bezogen auf Gras mit 80% Wassergehalt, 50 kg Trockengras pro Stunde mit 10% Wassergehalt. Da es sich um einen Versuchsapparat handelt, wurde die Wärmeisolation des Apparates nur teilweise ausgeführt. Es fehlte bei den Versuchen ferner eine richtige Ausschleusevorrichtung für das Trockengut beim Austritt aus dem Trockner, so dass die Entnahme von Trockengut jeweils mit grossen Dampfverlusten verbunden war, welche noch durch andere Undichtigkeiten des Trocknungskastens vermehrt wurden. Trotz der verhältnismässig primitiven Ausführung des Apparates betrug der Energieverbrauch dank der Wärmerückgewinnung nur noch etwa 58 bis 65% von andern bereits durchgebildeten, auf dem Markte erhältlichen Trocknungsapparaten. Die gemessenen Werte lagen in den Grenzen zwischen 640 und 720 kcal pro kg verdampftes Wasser, wobei die für den Antrieb der Ventilatoren nötige motorische Energie miteingerechnet ist.

Das Miteinbeziehen der motorischen Energie muss in diesem Zusammenhang speziell betont werden, da in den vorliegenden Energieverbrauchsangaben von Trocknern ohne Wärmerückgewinnung dieser Energieanteil, welcher in der Grössenordnung von 5...10% des totalen Energieverbrauches liegt, in der Regel nicht mit eingerechnet ist.

Die umfangreichen Untersuchungen an dem Versuchsapparat in Emmen haben gezeigt, dass das angewendete Prinzip der Wärmerückgewinnung sehr gut ist und dass sich damit eine bedeutende Energieersparnis erzielen lässt. Zu der bei dieser ersten Versuchsausführung erreichten gewaltigen Verbesserung des Energieverbrauches kommt noch hinzu, dass die nötigen Unterlagen geschaffen wurden für den Bau grösster Trocknungsapparate nach genau gleichem Prinzip wie der beschriebene Versuchsapparat, jedoch mit noch günstigerem Energieverbrauch.

Die Qualität des Trockengrases, welches der Versuchsapparat lieferte, wurde von zuständigen Persönlichkeiten allgemein als sehr gut anerkannt. Besonders auffallend war die grüne Farbe des Trockengrases und die gute Konservierung der Blattformen der einzelnen Gräser. Dieser letztere Umstand muss als spezifische Eigenschaft des Bandtrockners bewertet werden, bei welchem das Trocknungsgut keiner gewalttätigen Bewegung ausgesetzt wird.

Trotz diesen sehr günstigen Versuchsergebnissen sind Zweifel laut geworden, ob auf Grund dieser ersten Versuche der Bau von grossen Apparaten in Angriff genommen werden könne. Es ist jedoch im Maschinenbau allgemein üblich, bei neuen Ent-

wicklungen durch Versuche, welche durchaus nicht von vorneherein zum besten erreichbaren Resultat führen müssen, eine analytische Abklärung des Problems vorzunehmen, um an Hand der dabei gesammelten Erfahrungen die Entwicklung zu voll-

Nachdem nun die Unterlagen für den Bau eines grossen Trockners mit Wärmerückgewinnung vorliegen und sich daraus die Anschaffungskosten für eine solche Anlage übersehen lassen, soll noch eine Gegenüberstellung der gesamten Betriebskosten für einen Trockner mit und für einen ohne Wärmerückgewinnung angegeben werden. Die Leistung beider Trockner soll gleich gross sein und der früher festgelegten Einheitsleistung von 1000 kg Wasserverdampfung pro Stunde entsprechen, bezogen auf einen Wassergehalt im Frischgras von 82%.

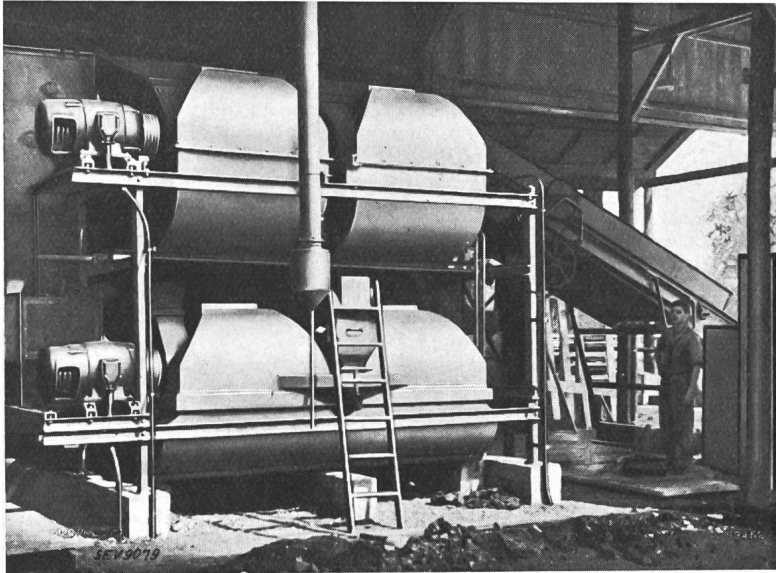


Fig. 6.
Versuchsgrastrockner mit elektrischer Heizung und Wärmerückgewinnung.
Ansicht der Ventilatorseite.

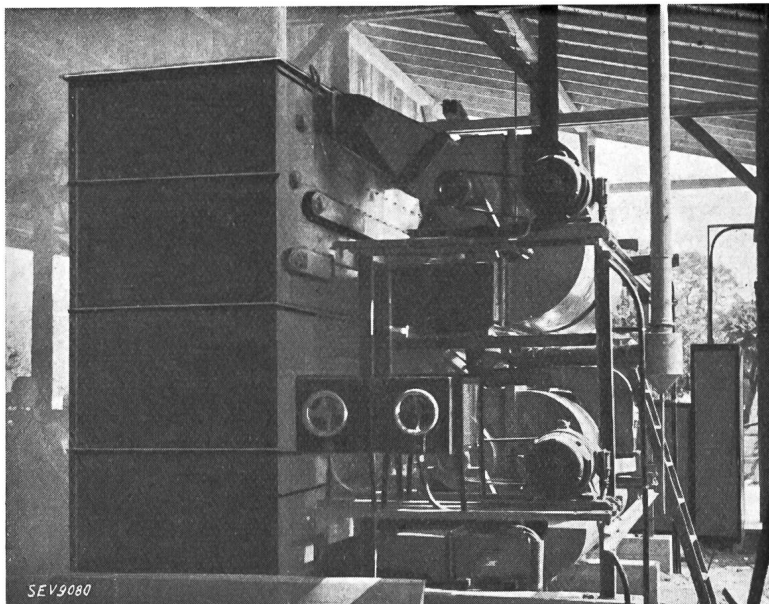


Fig. 7.
Versuchsgrastrockner mit elektrischer Heizung und Wärmerückgewinnung.
Ansicht der Trockengras-Austrittsseite.

enden. Da dieses Vorgehen für den schöpferisch tätigen Maschinenbauer gewissermassen das tägliche Brot bedeutet, darf mit aller Bestimmtheit nochmals betont werden, dass der neue Grossapparat die bereits mit dem Versuchstrockner erzielten Resultate übertreffen wird.

Trockner ohne Wärmerückgewinnung.

Nach vorliegenden Offerten über solche Trockner von der erwähnten Leistungsfähigkeit kann für eine solche Anlage einschliesslich elektrische Einrichtungen und inkl. Transformator mit einem Anschaffungspreis von rund Fr. 80 000.— gerechnet werden. Es soll angenommen werden, dass der Apparat jährlich während 1500 Stunden in Betrieb ist. Der kWh-Preis soll willkürlich zu 2 Rp. festgelegt werden.

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich:

| | |
|--|---------------------|
| a) Verzinsung, Amortisation, Unterhalt (15%) | Fr. 12 000.— |
| b) Energiekosten, 1220 kW Anschlusswert Energiepreis 2 Rp. kWh | » 36 600.— |
| c) Bedienung: Fr. 2.60 p. Stunde | » 3 900.— |
| Totale Betriebskosten pro Jahr | Fr. 52 500.— |

Trockner mit Wärmerückgewinnung.

Der Anschaffungspreis für eine solche Anlage ist entsprechend dem Mehraufwand an technischen Einrichtungen etwas grösser als für eine Anlage ohne Wärmerückgewinnung. Er kann inkl. elektrische Einrichtungen, also auch mit Transformator, zu Fr. 95 000.— angesetzt werden. Im übrigen sollen dieselben Voraussetzungen gelten wie für den Trockner ohne Wärmerückgewinnung.

| | |
|--|---------------------|
| a) Verzinsung, Amortisation, Unterhalt (15%) | Fr. 14 200.— |
| b) Energiekosten, 1220 kW Anschlusswert Energiepreis 2 Rp. kWh | » 21 000.— |
| c) Bedienung: Fr. 2.60 p. Stunde | » 3 900.— |
| Totale Betriebskosten pro Jahr | Fr. 39 100.— |

Die Betriebskosten sind in Fig. 8 in ihrer Zusammensetzung graphisch dargestellt. Es geht daraus deutlich hervor, dass die Energiekosten davon den überwiegenden Anteil ausmachen und daher Einsparungen in diesem Teil besonders wirksam sind.

Aus dieser Kostenberechnung geht hervor, dass bei einem Mehraufwand an Kapital von Franken 15 000.— die Anschaffung eines Trockners mit

Wärmerückgewinnung eine jährliche Ersparnis an Betriebskosten von Fr. 13 400.— einbringt. Durch die mit der Wärmerückgewinnung erzielte Ersparnis wird der Mehrbetrag an Anlagekosten schon nach etwas mehr als einem Jahre aufgewogen.

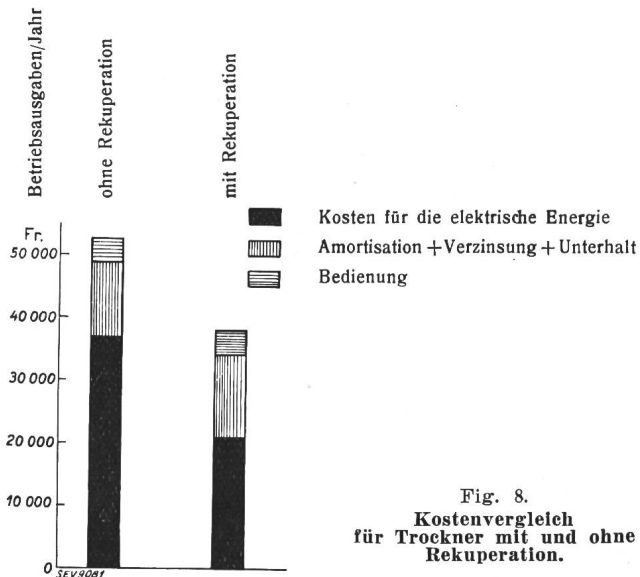


Fig. 8.
Kostenvergleich
für Trockner mit und ohne
Rekuperation.

Es ist direkt auffallend und fast beängstigend, wie wenig dieser bedeutenden wirtschaftlichen Seite im allgemeinen und auch in gewissen Fachkreisen *nutzbringende* Beachtung geschenkt wurde. In jedem Betrieb, sei er landwirtschaftlicher, gewerblicher oder industrieller Art, wird jede Neuerung zuerst auf die Rentabilität genauestens überprüft. Verbesserungen, welche Einsparungen an Betriebsausgaben von 5 und mehr Prozent einbringen, müssen, wenn man nicht zurückbleiben will, eingeführt werden. In der Praxis findet man selten so günstige Fälle zur Kleinhaltung der totalen Betriebsunkosten, wie bei der Einführung der künstlichen Graastrocknung mit Wärmerückgewinnung. Die totalen Betriebsunkosten der Graastrocknung *ohne* Wärmerückgewinnung sind ca. 34% höher als *mit* Wärmerückgewinnung. Man kann es tatsächlich kaum verstehen, dass man besonders auch unter Beachtung all der folgenden Punkte noch andere Lösungen daneben ernstlich verfolgen kann. Auch in normalen Zeiten wird es nur möglich sein, einen Trockner *mit* Wärmerückgewinnung elektrisch noch wirtschaftlich zu betreiben.

Zusammenfassend ergibt sich als Vergleich der beiden Trocknersysteme mit und ohne Wärme-

rückgewinnung bezogen auf einen Trockner für eine stündliche Wasserverdampfung von 1000 kg, folgende Gegenüberstellung:

1. *ohne* Wärmerückgewinnung totale Betriebskosten mindestens 34 % grösser;
2. *ohne* Wärmerückgewinnung Anschlusswert 1200 kW gegenüber 700 kW, d. h. ca. 72 % grösser;
3. *mit* Wärmerückgewinnung infolge des kleineren Anschlusswertes leichtere Anschlussmöglichkeit an die Netze der Elektrizitätswerke;
4. *mit* Wärmerückgewinnung billigere Anschlussleitungen (in den obigen Kostenberechnungen sind die Zuleitungen zum Trockner nicht inbegriffen);
5. auf Grund der unter 2—4 angeführten Punkte wird auch die Verteilung der Graastrockner *mit* Wärmerückgewinnung in unserem Lande nach rein landwirtschaftlichen Gründen bedeutend erleichtert;
6. nur das System *mit* Wärmerückgewinnung kann auch zu Friedenszeiten elektrisch auf wirtschaftlichster Basis betrieben werden.

Man wird vielleicht später erstaunt sein, dass, nachdem diese Vorteile erkannt sind, Trocknungsverfahren ohne Wärmerückgewinnung noch weiter in Berücksichtigung gezogen werden konnten.

Etwas Neues einzuführen ist schon immer sehr schwer gewesen und wird es vermutlich auch immer bleiben. Ohne Ueberwindung von Voreingenommenheiten ist dies kaum möglich. Wenn aber die Verhältnisse so vorteilhaft sind wie bei der künstlichen Graastrocknung mit Wärmerückgewinnung, dann ist man verpflichtet, im Interesse der Allgemeinheit mit aller Energie alles daran zu setzen, dem Fortschritt zum Erfolg zu verhelfen.

Dank der pionierhaften Einstellung prominenter Persönlichkeiten verschiedener Kreise (Direktor Ringwald, Oberst Ineichen, Dr. Feisst, Ing. Agr. Landis) und begünstigt durch die heutige schwierige Lage, in welche unser Land infolge des Krieges gekommen ist, kann nun die versuchsweise Einführung der künstlichen Graastrocknung in grösserem Umfang bereits für die nächste Erntezeit erwartet werden.

Die gegenwärtige bedrängte Lage unseres Landes verlangt nun ein rasches Handeln und es bleibt keine Zeit mehr für kleinliche Bedenken und Erwägungen. Die für die nächste Saison in Aussicht genommenen Grossversuche werden bald die Bedeutung und die Wirtschaftlichkeit dieser für unser Land so wichtigen Frage zur endgültigen Abklärung bringen. Zweifellos wird der Sache ein guter Erfolg beschieden sein, wenn sich die Landwirtschaft, die Elektrizitätswerke und die Industrie zu gemeinsamer und uneigennütziger, aufbauender Arbeit zusammenfinden.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Incendie causé par le dégel électrique d'une conduite d'eau.

621.364.6 : 621.646.974

Dans le Bulletin de l'ASE 1941, No. 1, nous avons traité la question du dégel des conduites d'eau au moyen du courant électrique et nous avons fait à ce sujet certaines recommandations. Nous avons entre autre attiré l'attention sur la nécessité de contrôler très attentivement la consommation de courant et particulièrement l'échauffement des conduites, non pas seulement au cours de l'opération mais aussi après le dégel. Il peut se produire, dans un joint ou un raccord mau-

vais conducteur, un échauffement local élevé capable de provoquer un incendie qui ne se déclare qu'après un certain temps seulement.

Le dégel électrique a déjà été pratiqué mille fois sans aucune suite fâcheuse, mais il suffit de circonstances anormales, inconnues à l'avance, pour provoquer un sinistre. En voici un exemple:

Dans la cave d'une villa construite il y a 40 ans environ se trouvait un distributeur d'eau, d'où partaient sept conduites montantes portant les numéros 1 à 7. L'eau étant gelée dans les deux conduites montantes extrêmes 1 et 7 partant