

Eine Analyse der sich aus der Spezialisierung ergebenden Auswirkungen zeigt, daß mit dem Größerwerden der Anbauflächen der einzelnen Pflanzenkulturen bzw. der Maschinen die selbstfahrenden Spezialmaschinen immer mehr in den Vordergrund treten, Bild 12.

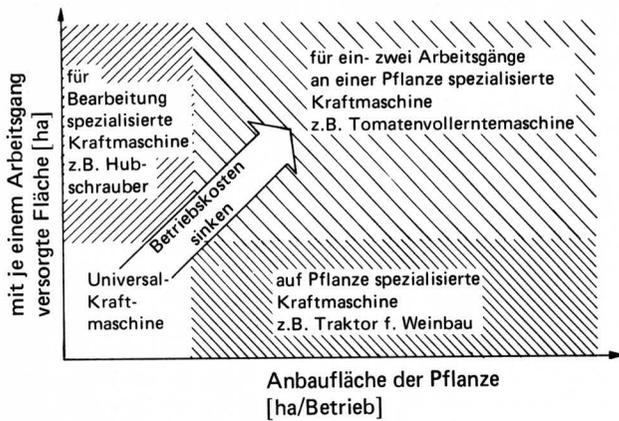


Bild 12. Bereiche für den Einsatz verschiedener Geräte in Abhängigkeit von der im Betrieb vorhandenen Anbaufläche.

Für die traditionelle, "mehrere Profile aufweisende" landwirtschaftliche Produktion war charakteristisch, daß viele Pflanzen in vielen Arbeitsgängen versorgt werden mußten. Unter solchen Bedingungen konnte ein Universal-Traktor gut ausgenutzt werden. Die neuerdings immer stärker in Erscheinung tretende Spezialisierung macht dagegen auf die jeweilige Kultur und die zu verrichtende Arbeit zugeschnittene spezialisierte Kraft- und Arbeitsmaschinen erforderlich. Die Theorie wird auch durch die Praxis bestätigt, zumal wir anhand der Untersuchung von mehreren Dutzend bereits im Einsatz befindlichen Erntemaschinen zwischen den mit Universal-Traktoren eingesetzten Maschinen und den selbstfahrenden Maschinen eine Verschiebung zugunsten dieser letzteren gemäß Bild 13 feststellen können.

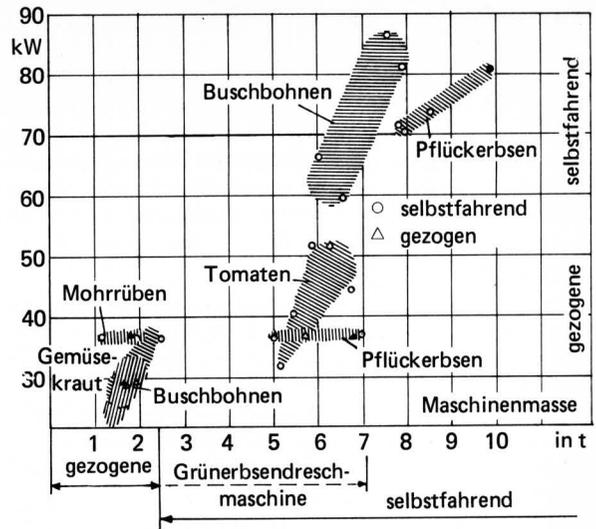


Bild 13. Antriebsleistung selbstfahrender und gezogener Erntemaschinen.

5. Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Mechanisierung der Intensivkulturen in den RGW-Ländern nicht nur eine zwingende Notwendigkeit, sondern auch in der Praxis ein immer mehr zur Geltung kommender Entwicklungsprozeß ist. Die wichtigsten Merkmale bei der Realisierung des Programmes sind: Eine grundlegende Veränderung der Anschauungsweise seitens der Hersteller und der Anwender der Maschinen, zunehmende Kooperation auf nationaler und internationaler Ebene sowie die langfristige gegenseitige Verpflichtung und Bindung der interessierten Länder.

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades der Sonneneinstrahlung bei der Bodenheutrocknung

Von Jens-Peter Ratschow, Göttingen*)

DK 551.52:631.552:664.8

Halmgut, das durch die Trocknung im Freiland konserviert werden soll, ist einer Konvektions- sowie Strahlungstrocknung ausgesetzt. Das Trocknungspotential der Konvektionstrocknung ist das isotherme Sättigungsdefizit der Luft, das der Strahlungstrocknung die absorbierte Strahlung der Sonne.

Der Wirkungsgrad der Strahlung wird bestimmt und die allein durch die Sonneneinstrahlung verdunsteten Wassermassen ermittelt.

*) Dr. sc. agr. Jens-Peter Ratschow ist wissenschaftlicher Assistent am Landmaschinen-Institut (Direktor: Prof. Dr.-Ing. F. Wieneke) der Georg-August-Universität Göttingen.

Aus der Kenntnis, daß die eingestrahlte Sonnenenergie den größten Einfluß über die Strahlungstrocknung ausübt, werden Hinweise zu ihrer Nutzung gegeben.

1. Aufgabenstellung

Bei der Bodenheutrocknung ist das Halmgut einer Strahlungs- sowie Konvektionstrocknung ausgesetzt. Eine differenzierte Aussage über den quantitativen Einfluß der Sonneneinstrahlung auf die Trocknung lag bisher nicht vor. Deshalb sollen in diesem Beitrag quantitative Ergebnisse über den Einfluß der Sonneneinstrahlung mitgeteilt und Hinweise zur optimalen Ausnutzung der Strahlungsenergie für die Heuwerbung abgeleitet werden.

2. Meteorologische Faktoren

Allgemein lassen sich für meteorologische Zustandsänderungen nicht funktionale, sondern nur stochastische Zusammenhänge angeben [1]. Einzelne Klimadaten lassen sich jedoch funktional einander zuordnen [2]. So ist die Lufttemperatur direkt von der Sonneneinstrahlung abhängig, also eine Funktion der Bruttostrahlung [2]. So erfolgt der Anstieg der Lufttemperatur etwa mit einer Stunde Differenz zum Anstieg der Sonneneinstrahlung. Auch das Maximum der Lufttemperatur wird mit einer Phasenverschiebung von etwa einer Stunde gegenüber der maximalen Strahlungsintensität erreicht.

Mit der Temperaturerhöhung vermag die Luft mehr Wasser aufzunehmen, d.h. die relative Luftfeuchte sinkt. Also ist auch die relative Luftfeuchte direkt von der Sonneneinstrahlung abhängig.

Diese beiden Größen, nämlich die Temperatur und die relative Feuchte, bestimmen das Sättigungsdefizit, das potentielle Wasseraufnahmevermögen der Luft. Als Maß für das Sättigungsdefizit kann die Wassermasse angegeben werden, die von der Volumeneinheit Luft bis zum Erreichen des Sättigungszustandes aufgenommen werden kann [g/m^3], oder die Druckdifferenz zwischen dem vorhandenen Dampfdruck und dem Sättigungsdampfdruck [mbar]. Die effektive Trocknungsleistung bezeichnet die tatsächlich von der Luft aufgenommene Wassermasse. Da die im Freiland für den Trocknungsvorgang zur Verfügung stehende Luftmenge als unbegrenzt angesehen werden kann, bewirkt der Wärme- und Stoffaustausch praktisch keine Veränderung der Lufttemperatur und -feuchte. Deshalb wird das Sättigungsdefizit in diesem offenen System als isotherm bezeichnet.

Das durch die Sonneneinstrahlung zur Verfügung stehende Trocknungspotential wird in $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ bzw. $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ angegeben. Doch ist für die Trocknungsintensität nicht die Bruttostrahlung, sondern nur die von dem Halmgut absorbierte Strahlung maßgeblich. Da grüne Blätter unter die optisch grauen Körper einzustufen sind, weisen sie einen relativ hohen Absorptionskoeffizienten auf [3].

3. Meßtechnik und Versuchsanstellung

Die Bruttostrahlung wurde mit einem Sternpyranometer und die vom Halmgut absorbierte Strahlung mit einem Strahlungsbilanzmesser ermittelt. Bei dieser Art der Messung wird die Wärmewirkung der Strahlung genutzt und in eine der Strahlung proportionale elektrische Spannung transformiert. Sie wird mittels eines Punktschreibers aufgezeichnet.

Der Strahlungsbilanzmesser, in welchem zwei Pyranometer angeordnet sind, mißt die Bruttostrahlung und die vom Untergrund reflektierte Strahlung, so daß als Differenz beider Strahlungsintensitäten die absorbierte Strahlung ausgewiesen wird.

Mit einem Thermofühler wurde die Temperatur und mit einem Lithiumchlorid-Feuchtemesser die relative Feuchte der Luft gemessen. Durch diese beiden Größen wurde das Sättigungsdefizit der Luft ermittelt.

Alle Meßgeräte waren in Bodennähe aufgestellt, um das tatsächlich auf das Halmgut einwirkende Sättigungsdefizit zu ermitteln. Diese Klimadaten unterschieden sich von meteorologischen Meßwerten in 2 m Höhe.

Unbewölkte Tage mit Niederschlägen $\leq 0,3$ mm, sogenannte Schönwettertage [5], wurden für die Versuche gewählt. Das zu trocknende Halmgut bestand vorwiegend aus Lieschgras und wurde, nachdem es geschnitten war, zu 50 oder 250 g in Maschendrahtkörbe eingewogen. Die Halmgutproben wurden in der Sonne und unter drei Versuchsständen getrocknet. Durch diese Anordnung waren die Halmgutproben bei jeweils gleichem isothermen Sättigungsdefizit einer unterschiedlichen Bruttostrahlung ausgesetzt.

Die Massenabnahme der Halmgutproben wurde anfänglich alle 15 min und schließlich bei abnehmender Trocknungsrate halbstündlich und stündlich bestimmt. Eine genauere Beschreibung wurde in einer umfassenderen Arbeit [8] gegeben.

4. Versuchsergebnisse

Die gemessenen Werte der Bruttostrahlung und des isothermen Sättigungsdefizits für den Raum Göttingen an Schönwettertagen in den Monaten Juni bis August sind in **Bild 1** wiedergegeben. Im langjährigen Mittel lagen die Werte etwas niedriger [5]. Während die maximale Strahlungsintensität mit dem höchsten Sonnenstand also gegen 12.30 Uhr erreicht wird, tritt der höchste Wert des Sättigungsdefizits etwa 1,5 Stunden später auf. Die durchschnittlichen Monatswerte weisen dagegen keine Phasenverschiebung auf. Die maximale Einstrahlung betrug $855 \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ($3578 \text{ kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) bei einem Einstrahlungswinkel von etwa 61° am 25. Juni. Das maximale isotherme Sättigungsdefizit erreichte etwa $18 \text{ g}/\text{m}^3$ Luft, was einer Temperatur von etwa 27°C und einer relativen Luftfeuchte von 37 % entspricht.

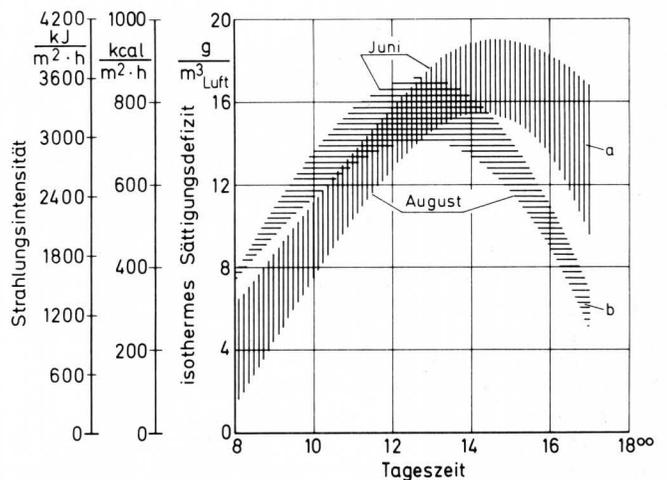


Bild 1. Bruttostrahlung und isothermes Sättigungsdefizit für den Raum Göttingen an Schönwettertagen in den Monaten Juni bis August.

- a isothermes Sättigungsdefizit
- b Strahlungsintensität

Als Beispiel für weitere Versuche sind in den **Bildern 2 bis 5** die Ergebnisse einer Meßreihe zusammengetragen. Der Anfangsfeuchtegehalt des Halmgutes betrug $U = 78 \%$, die eingewogene Halmgutmasse 50 g Frischgut entsprechend einer Belagstärke von $0,4 \text{ kg}/\text{m}^2$, also nahezu einer Einzelhalmlage.

Deutlich zeigt sich, daß die absolute Massenabnahme unter dem Einfluß der höchsten Strahlungsintensität am größten ist, **Bild 4**. Der Verlauf der Kurvenzüge der Trocknungsgeschwindigkeiten, **Bild 5**, zeigt, daß die anfänglich in der Sonne sehr hohe Trocknungsintensität nur über eine kurze Zeitspanne aufrechterhalten bleibt. Die Trocknungswiderstände steigen dann gegenüber den noch feuchteren Halmgutproben beträchtlich an, da das physikalisch gebundene Oberflächen- und Kapillarwasser bereits verdunstet ist und das nun zu verdunstende Wasser die engeren Kapillaren und die Kutikula passieren muß [6]. Dagegen können die Halmgutproben, die der verminderten Strahlungsintensität ausgesetzt waren und anfänglich also geringere Trocknungsgeschwindigkeiten erreichten, diese länger aufrechterhalten. Der Verlauf der einzelnen Kurvenzüge ist recht ähnlich. Weiterhin wird deutlich, daß über Nacht eine Wiederbefeuchtung eingesetzt hatte und wiederum die in der Sonne trocknende Halmgutprobe zunächst die höchste Trocknungsgeschwindigkeit aufweist.

Aus der Differenz der Trocknungsgeschwindigkeiten der in der Sonne und der im Schatten getrockneten Halmgutproben kann unmittelbar die durch den Einfluß der Sonneneinstrahlung bedingte Trocknungsgeschwindigkeit bestimmt werden. In **Bild 6** sind diese Werte ausgewiesen. Die Streuung ergibt sich, da die Absorption und Trocknungswirkung der Bruttostrahlung von der Farbe des

Halmgutes zum Schnittzeitpunkt, seiner Verfärbung und Schrumpfung während der Trocknung, seiner Schichtung und seiner botanischen Zusammensetzung abhängt.

Unterhalb eines Feuchtegehaltes von $U = 60\%$ ist der Einfluß der Strahlung auf den Trocknungserfolg gering, wenngleich auch, wie aus den Versuchen deutlich wurde, bei jedem Feuchtegehalt die Strahlung eine Erhöhung der Trocknungsgeschwindigkeit bewirkt.

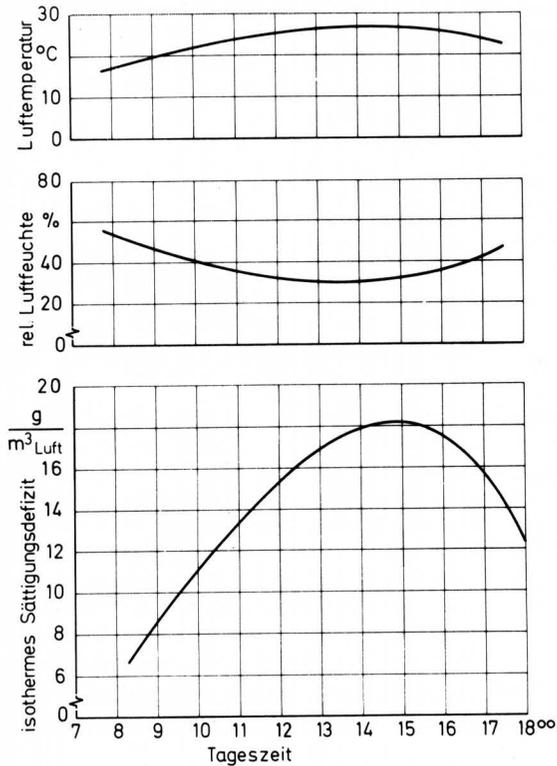


Bild 2. Verlauf des isothermen Sättigungsdefizites und von Lufttemperatur und rel. Luftfeuchte an einem Schönwettertag für den Raum Göttingen im Juli.

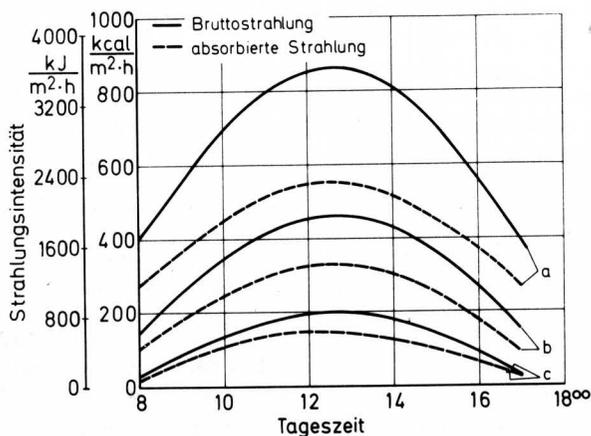


Bild 3. Bruttostrahlung und vom Halmgut absorbierte Strahlung für den Raum Göttingen im Juli.

- a Strahlung in der Sonne
- b Strahlung unter Maschendraht (5 mm Maschenweite, 1 mm Drahtstärke)
- c Strahlung unter Fliegendraht (1 mm Maschenweite, 0,3 mm Drahtstärke, doppelt gelegt)

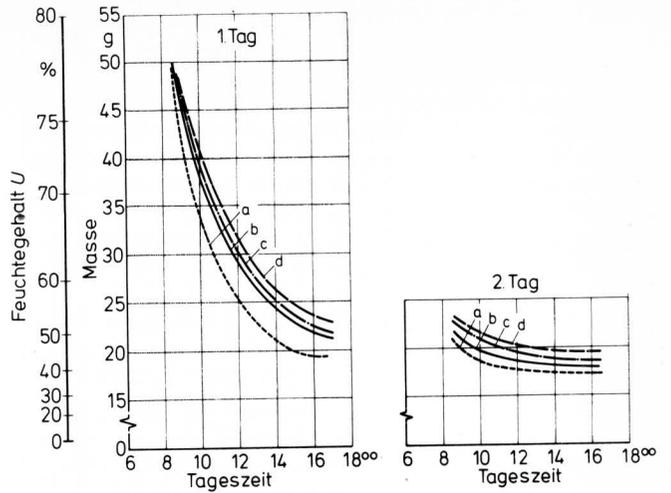


Bild 4. Trocknungsverlauf von Lieschgras bei gleichem isothermen Sättigungsdefizit und unterschiedlicher Strahlungsintensität.

- a Strahlung in der Sonne
- b Strahlung unter Maschendraht (5 mm Maschenweite, 1 mm Drahtstärke)
- c Strahlung unter Fliegendraht (1 mm Maschenweite, 0,3 mm Drahtstärke, doppelt gelegt)
- d Trocknungsverlauf im Schatten

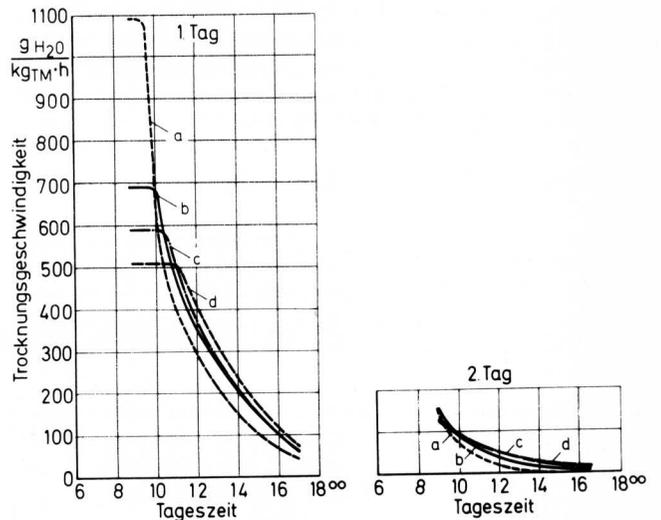


Bild 5. Trocknungsgeschwindigkeit von Lieschgras bei gleichem isothermen Sättigungsdefizit und unterschiedlicher Strahlungsintensität.

- a Strahlung in der Sonne
- b Strahlung unter Maschendraht (5 mm Maschenweite, 1 mm Drahtstärke)
- c Strahlung unter Fliegendraht (1 mm Maschenweite, 0,3 mm Drahtstärke, doppelt gelegt)
- d Trocknungsverlauf im Schatten

Zur Berechnung des Wirkungsgrades der Bruttostrahlung muß die Grasoberfläche und deren Schrumpfung bestimmt werden. Diese Versuche wurden in einem Klimaschrank bei einer Temperatur von $\vartheta = 24\text{ °C}$ und einer relativen Luftfeuchte von $\varphi = 60\%$ mit Liesch- und Knaulgras durchgeführt. Diese Klimadaten wurden gewählt, da sie in etwa den Mittelwerten der Schönwettertage entsprechen, in denen Versuche durchgeführt wurden. In Bild 7 sind diese Werte ausgewiesen.

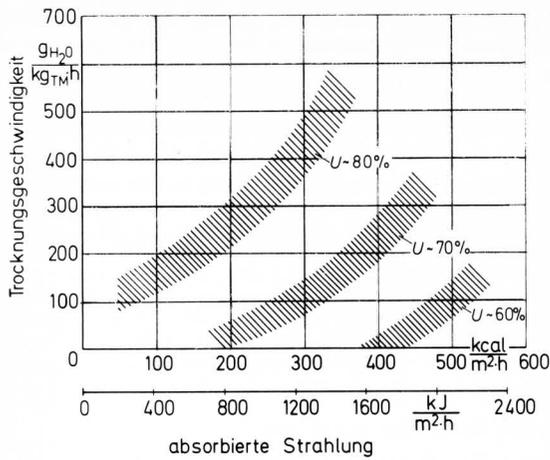


Bild 6. Einfluß der Strahlung auf die Trocknungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Feuchtegehalten des Halmgutes. Belagstärke 0,4 kg/m² Frischgut.

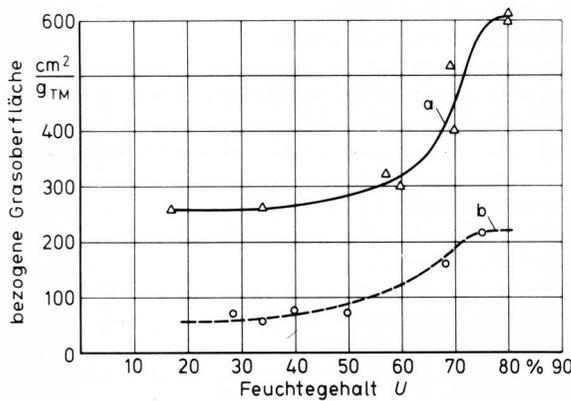


Bild 7. Auf die Trockenmasse bezogene Oberfläche von Lieschgras im Schossen in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt.

a nur Blätter; b ganze Pflanze
Lufttemperatur $\vartheta = 24 \text{ }^\circ\text{C}$
relative Luftfeuchte $\varphi = 60 \%$

Belagstärke, Frischgut (U = 80 %) 2 kg/m ² (4 bis 5 Halmlagen)	
Bruttostrahlung	670 kcal/m ² h
absorbierte Strahlung	450 kcal/m ² h
Absorptionskoeffizient	0,67
Bezugsgröße	600 kcal/kg _{H₂O} = 1
durch Strahlung effektiv verd. Wassermasse	267 g _{H₂O} /m ² h
durch Strahlung theor. zu verd. Wassermasse	750 g _{H₂O} /m ² h
Wirkungsgrad der absorbierten Strahlung	35 %
Wirkungsgrad der Bruttostrahlung	23 %

Tafel 1. Berechnung des Wirkungsgrades der Strahlung bei der Trocknung von Lieschgras.

Aus der Kenntnis der Grasoberfläche bei verschiedenen Feuchtegehalten, der Bruttostrahlung und der durch sie bewirkten Trocknungsgeschwindigkeit kann nunmehr der Wirkungsgrad der Strahlung berechnet werden. Das Ergebnis der Rechnung ist in **Bild 8** dargestellt. Deutlich zeigt sich, daß der Wirkungsgrad mit ansteigender Strahlungsintensität besser wird. Die Zunahme des Wirkungsgrades bei einem Feuchtegehalt von U = 80 % und geringer Strahlungsintensität ist darauf zurückzuführen, daß das Halmgut, als diese geringe Bruttostrahlung gemessen wurde, also am frühen Morgen, von Tau benetzt war. Dieses Haftwasser kann verständlicherweise sehr leicht abgeführt werden. Die gestrichelten Linienzüge geben den vermuteten Wirkungsgrad ohne den Einfluß der Benetzungsfeuchte an.

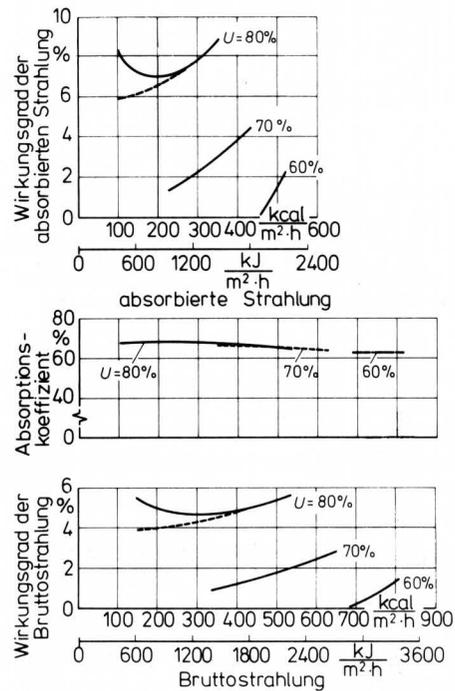


Bild 8. Wirkungsgrad der Bruttostrahlung und absorbierten Strahlung bei der Trocknung von Lieschgras. Belagstärke 0,4 kg/m² Frischgut.

Wird Halmgut in der Praxis auf dem Felde gemäht, so liegt es nicht in Einzelhalmlage, sondern etwa in vier bis fünf Schichten; diese entsprechen einer Belagstärke von 2 kg/m². Hier ist dann der Strahlungseinfluß anders zu bewerten. In **Tafel 1** ist die Berechnung des Wirkungsgrades für diesen Fall vorgenommen. Wie zu ersehen, liegt er deutlich höher, nämlich bei 23 % für die Bruttostrahlung. Offensichtlich durchdringt ein Teil der Strahlen das Halmgut der oberen Schichten und wird von den darunter liegenden erneut absorbiert.

Deshalb müssen die in **Bild 7** ausgewiesenen Kennlinien um einen der jeweiligen Belagstärke zugeordneten Faktor modifiziert werden.

Den Praktiker wird die direkt durch die Sonneneinstrahlung zu einem bestimmten Zeitpunkt verdunstete Wassermasse interessieren. Diese wurde aus der Differenz der in der Sonne und im Schatten verdunsteten Wassermassen bestimmt, **Bild 9**. Über den Tagesablauf betrachtet, also mit fortschreitender Tageszeit und sinkendem Feuchtegehalt fällt dieser Anteil. Betrachtet man den gesamten Trocknungstag, so weisen die durch Strahlung und Konvektion verdunsteten Wassermassen jedoch die gleiche Größe auf.

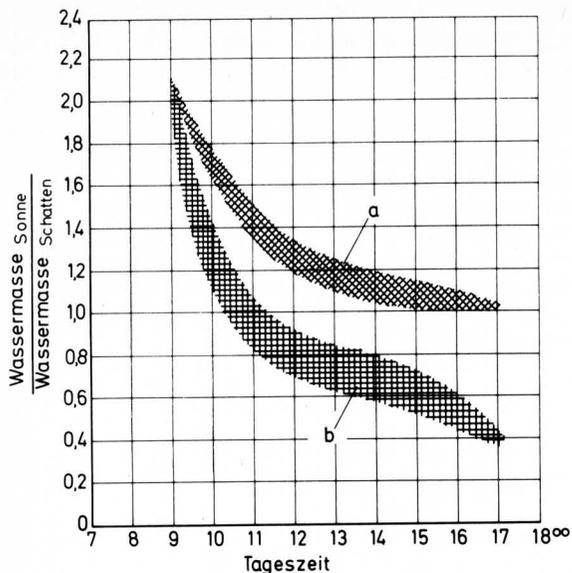


Bild 9. Anteil der durch Strahlung verdunsteten Wassermassen in Abhängigkeit von der Tageszeit.

Belagstärke 0,4 kg/m² Frischgut; Strahlungsverlauf nach Bild 3.

- a Mittelwerte vom Trocknungsbeginn bis zur jeweiligen Tageszeit
 b zur jeweiligen Tageszeit ausgewiesener Wert

Die angeführten Ergebnisse zeigen, daß versucht werden sollte, gerade im Bereich hoher Feuchtegehalte die Sonneneinstrahlung bei der Bodenheutrocknung besonders wirksam werden zu lassen. Deshalb gilt es, durch die Wahl eines optimalen Schnittzeitpunktes in Verbindung mit einem abgestimmten Wenderhythmus die Ausnutzung der Strahlungsenergie zu erhöhen.

1. Das Halmgut sollte frühmorgens, etwa gegen 8.00 Uhr an einem Schönwettertag geschnitten werden, da der Tau selbst bei geringer Strahlungsintensität schnell verdunstet wird. Ein späterer Schnittzeitpunkt vermindert den Trocknungserfolg und erhöht unnötig das Witterungsrisiko, wie auch von *Beckhoff* [7] bestätigt wurde.
2. Möglichst gleichzeitig oder kurz nach dem Schnitt sollte das Halmgut breit gestreut werden, um die potentielle Absorptionsfläche des Halmgutes für die Strahlung zu vergrößern.

3. Spätestens gegen Mittag sollte das Halmgut gewendet werden, da die oberen Halmgutlagen zu diesem Zeitpunkt nur noch einen Feuchtegehalt von 50 - 60 % aufweisen; auf diese Weise werden die noch feuchteren Stengel und Blätter der bodennahen Schichten der Strahlung ausgesetzt und damit der Trocknungserfolg erhöht.
4. Bei geringeren Feuchtegehalten sinkt der Wirkungsgrad der Strahlung. Häufigeres Wenden führt dann zu keinem schnelleren Abtrocknen, läßt aber die Bröckelverluste ansteigen [9].

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● *Baur, F.*: Langfristige Witterungsvorhersagen. Stuttgart: Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft mbH, 1972.
- [2] ● *Griffiths, J.F.*: Applied Climatology. Oxford: University Press, Reprint 1968.
- [3] *Raschke, K.*: Über die physikalischen Beziehungen zwischen Wärmeübergangszahl, Strahlungsaustausch, Temperatur und Transpiration eines Blattes. Planta Bd. 48 (1956) S. 200/38.
- [4] ● *Geiger, R.*: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Die Wissenschaft Bd. 78, Braunschweig: Friedr. Vieweg u. Sohn, 1961.
- [5] ● *Olfe, H.-C.*: Untersuchungen über die Korrespondenz der meteorologischen Daten mit den thermodynamischen Trocknungsmöglichkeiten von Halmfutter. KTBL Berichte über Landtechnik 141, Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1971.
- [6] ● *Wieneke, F.*: Technologische Grundlagen der Halmfuttrocknung. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 11, Düsseldorf: VDI-Verlag 1970.
- [7] *Beckhoff, J.*: Ist zum Anwelken oder Trocknen das Gras morgens oder nachmittags zu mähen? KALI-Briefe, Fachgebiet 4, 6. Folge (1975).
- [8] ● *Ratschow, J.-P.*: Der Einfluß der Sonneneinstrahlung auf das Trocknungsverhalten von Halmgut bei der Bodenheutrocknung. Diss. Göttingen 1974.
- [9] ● *Banthien, P.*: Versuche mit verschiedenen neuen Halmfutttaufbereitungsmaschinen in der Bodenheutrocknung. Diss. Göttingen 1969.

Auszüge aus wichtigen Patent-Auslegeschriften

Int. Cl. A 01 b, 65/06 Auslegeschrift 2 000 516
 Kl. 45 a, 65/06 Anmeldetag: 7. 1. 1970
 Auslegetag: 28. 12. 1972

Einrichtung zum Anbau von landwirtschaftlichen Arbeitsgeräten an einen mit seitlichen Schwenkarmen zur voneinander unabhängigen Höhenverstellung der Hinterräder ausgerüsteten Traktor
 Anmelder: Minskij ordena Lenina traktornij sawod, Minsk (Sowjetunion)

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Anbau von landwirtschaftlichen Arbeitsgeräten an einen mit seitlichen Schwenkarmen zur voneinander unabhängigen Höhenverstellung der Hinterräder ausgerüsteten Traktor, welche Einrichtung am Rumpf des Traktors angelenkte untere, zum Anbau der Arbeitsgeräte dienende Lenker sowie Hubarme enthält, welche mit den unteren Lenkern durch Hubstangen in Verbindung stehen und durch einen hydraulischen Kraftheber betätigt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterlenker (1) mit den seitlichen Schwenkarmen (4) durch ein Verbindungsgestänge (5, 7, 9) verbunden sind, welche die Schwenkbewegung der Schwenkarme (4) auf die Unterlenker (1) überträgt.

