

# Die Trocknung im Mähdrescher

Von Ing. W. BUCHMANN, ZKB Landmaschinen, Leipzig

DK 631.354 : 631.365:66.047.355

Seit der Landwirtschaftsausstellung Markkleeberg 1954, auf der ein Mähdrescher mit Infrarot-Trocknung ausgestellt war, werden die wirtschaftlichen Möglichkeiten einer solchen technischen Einrichtung lebhaft diskutiert. Der Autor des nachstehenden Aufsatzes unternimmt es nun, zur Klärung der teilweise recht verschwommenen Auffassungen beizusteuern, indem er die wirtschaftlichen Grenzen dieses Trocknungsverfahrens absteckt. Unseren Lesern wird dadurch die eigene Meinungsbildung zu diesem Problem wesentlich erleichtert. Die Redaktion

Das Trocknen des Getreideernteguts bildet eine wichtige Vorstufe auf dem Wege zur Lagerung und Weiterverarbeitung. Während die bisherigen Verfahren der Getreideernte aus den Arbeitsgängen Mähen, Binden, Aufstellen zum Trocknen, Einfahren, Dreschen und Einlagern bestanden, faßt der Mähdrescher die Arbeitsgänge Mähen und Dreschen zusammen und ermöglicht es, Korn, Spreu und Stroh sofort abzufahren. Der Feuchtigkeitsgehalt des vom Mähdrescher anfallenden Ernteguts

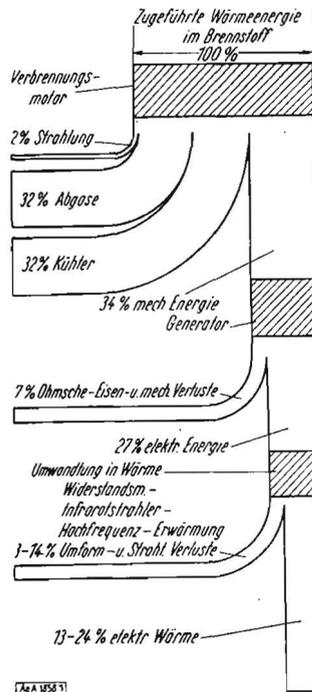


Bild 1. Wärmeverteilung bei Anwendung elektrischer Trocknung im Mähdrescher

## 1 Physikalische Probleme der Getreidetrocknung

Bei der Trocknung erfolgt die Feuchtigkeitsverminderung dadurch, daß das Wasser aus dem feuchten Getreide auf thermischem Wege verdunstet oder verdampft wird. Es ist möglich, mit Hilfe des Trockenprozesses jeden gewünschten Trockenheitsgrad des Getreides zu erreichen.

Die der Trocknungsanlage künstlich zugeführte Wärme liefert einerseits die Verdampfungswärme und erhöht andererseits durch die höhere Temperatur die Wasserdampfaufnahmefähigkeit der Umgebung des zu trocknenden Getreides. Die Verdunstung wird dabei also wesentlich beschleunigt.

Die Verdunstung des Wassers aus dem Getreide tritt dann ein, wenn der Dampfdruck über der Oberfläche des feuchten Getreides größer ist als der Druck des Wasserdampfes der ungesättigten Luft. Dicht über der verdunstenden Oberfläche befindet sich eine annähernd gesättigte Gasschicht. Durch Diffusion in die ungesättigte Umgebung wird ein Teil des Wassergehalts entfernt, und der Verdunstungsprozeß kann weiter fortschreiten. Eine Beschleunigung der Abführung des gebildeten Wasserdampfes kann dadurch erreicht werden, daß die ungesättigte Luft, die den Wasserdampf aufnehmen soll, mit größerer Geschwindigkeit über das zu trocknende Getreide

geleitet und damit eine größere Spülwirkung erzielt wird. Das geschieht dadurch, daß das Getreide die Trockenanlage in einer möglichst dünnen Schicht durchläuft oder durch Wendeleisten eine dauernde Umwälzung erfolgt, oder daß man das Getreide durch das den Trockner durchströmende Gas rieseln läßt. Die Verdunstungsgeschwindigkeit hängt also ganz allgemein einmal von der Temperatur und Größe des Sättigungsunterschieds der das Getreide umgebenden Luft ab, andererseits aber auch von der Geschwindigkeit, mit der der gebildete Wasserdampf aus dem Bereich der verdunstenden Oberfläche entfernt wird.

Die Verdunstung vollzieht sich an der Grenze zwischen der äußeren Oberfläche und dem Trockenmittel, die mit freier wirksamer Oberfläche bezeichnet wird. Zunächst verdunstet also bei feuchtem Getreide das Oberflächenwasser. Die Verdunstungszone schreitet dann in das Innere des Kornes fort. Das in den kapillaren Spalträumen vorhandene Wasser verdunstet am leichtesten, während das Innenkapillarwasser bedeutend langsamer verdunstet. Wird bei hohen Temperaturen getrocknet, so wird zunächst die äußere Schicht der einzelnen Getreidekörner erwärmt. Die Wärme dringt dann allmählich in das Innere des Kornes vor. Dabei wird der Wärmezufluß von dem Wärmeleitvermögen des Getreides, das wieder stark von seinem Wassergehalt beeinflusst wird, abhängig sein. Infolge dieses Temperaturunterschieds findet an der Oberfläche bereits eine lebhaft Verdunstung statt, während das Korninnere noch wenig erwärmt wird. Das Korninnere weist während des Trockenvorgangs eine größere Feuchtigkeit als die Kornoberfläche auf. Dieser Unterschied wird um so größer, je größer das Korn oder die Verdunstungsgeschwindigkeiten sind.

## 2 Wärmebedarf zur Trocknung im Mähdrescher

Wird der Hektarertrag mit 30 dz Korn und 45 dz Stroh mit einem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt von 18 bzw. 35 % angenommen, dann ergibt sich bei einer Trocknung auf 14 bzw. 22 % folgende zu entfernende Feuchtigkeitsmenge:

$$V_{\text{Korn}} = \frac{100(W - F)}{100 - F} = \frac{100(18 - 14)}{100 - 14} = 4,66 \%$$

$$G_{\text{Korn}} = \frac{3000 \cdot 4,66}{100} = 140 \text{ kg};$$

$$V_{\text{Stroh}} = \frac{100(35 - 22)}{100 - 22} = 16,67 \%$$

$$G_{\text{Stroh}} = \frac{4500 \cdot 16,67}{100} = 750 \text{ kg};$$

worin

$V$  der durch die Trocknung verursachte Gewichtsverlust in %,  
 $W$  der Feuchtigkeitsgehalt vor der Trocknung in %,  
 $F$  der Feuchtigkeitsgehalt nach der Trocknung in %,  
 $G$  Gewicht der Feuchtigkeitsmenge, die entfernt werden muß, ist.

Zur Verdampfung von 1 kg Wasser von 20° C sind rund 600 kcal erforderlich. Somit beträgt der theoretische Wärmebedarf für die Trocknung der Körner  $140 \times 600 = 84000$  kcal/ha und für die Trocknung des Strohs  $750 \times 600 = 450000$  kcal/ha. Der Gesamtbedarf beläuft sich auf  $84000 + 450000 = 534000$  kcal/ha. Legt man einen Mähdrescher, z. B. den S-4, mit einer Stundenleistung von 1 ha zugrunde, dann wäre das gleichzeitig der Wärmebedarf je Stunde. Der praktische Wert wird natürlich um ein beträchtliches höher liegen und richtet sich nach dem Wirkungsgrad der Trockenanlage.

### 3 Wärmetechnische Möglichkeiten der Trocknung

#### 3.1 Verwendung der Abwärme des Verbrennungsmotors

Die Ausnutzung der Abwärme des Verbrennungsmotors, insbesondere bei selbstfahrenden Mähreschern, wäre ohne große Schwierigkeiten möglich. Es kommt die Kühlerwärme, die etwa 32%, und die Abgaswärme, die etwa 30% der gesamten zugeführten Wärmemenge betragen, in Frage. Auf den 60-PS-Dieselmotor des Mähreschers S-4 bezogen, ergibt sich bei einer angenommenen Durchschnittsleistung von 50 PS und einem Treibstoffverbrauch von 200 g PSh ein Verbrauch von 10 kg/h mit rund  $10 \times 10000 = 100000$  kcal Heizwert. Die zur Verfügung stehende Kühlerwärme beträgt demnach günstigstenfalls  $32\% = 32000$  kcal/h, die Abgaswärme  $30\% = 30000$  kcal/h.

In einem englischen Mähreschermodell werden die heißen Auspuffgase bereits durch ein Röhrensystem über den Elevator geleitet und ein deutscher selbstfahrender Mährescher „Fahr“ wurde auf der finnischen Versuchsstation [4] mit Zusatzeinrichtung zur Ausnutzung der Kühlerwärme versehen und vorgeführt. Die Hinterseite des Kühlers des Dieselmotors war abgeschirmt und zwei elastische Schläuche angesetzt. Der eine führte nach dem unteren Teil des Elevators und der andere in den Sortierzylinder des Mähreschers. Es wurde festgestellt, daß die Trocknungsanlage keinen nachteiligen Einfluß auf den Motor hat. Allerdings lassen sich durch diese Methode kaum mehr als 1% Feuchtigkeit, auch nicht bei nassem Getreide, entfernen.

#### 3.2 Trocknung durch Beheizung mit festen oder flüssigen Brennstoffen

Die Verwendung fester Brennstoffe wird für den Mährescher kaum in Frage kommen, da sie eine umfangreiche Anlage erforderlich macht. Günstiger wären flüssige Brennstoffe, wie z. B. Heizöl. Der Heizwert liegt hier hoch, und die Anlage sowie die Bedienung wäre einfach. Legt man den theoretischen Wärmebedarf von  $534000$  kcal/ha zugrunde und verwendet ein Heizöl mit  $8000$  kcal/kg Heizwert, dann ergibt sich ein theoretischer Bedarf von  $534000 : 8000 \approx 67$  kg/ha.

#### 3.3 Trocknung durch elektrische Energie

Elektrische Energie kann im Mährescher durch einen vom Schlepper oder Aufbaumotor angetriebenen Generator erzeugt werden, wobei allerdings erhebliche Umformungsverluste eintreten. Durch die notwendige Umwandlung der im Treibstoff enthaltenen Wärmeenergie in mechanische durch den Verbrennungsmotor, in elektrische durch den Generator und zuletzt wieder in Wärmeenergie, beträgt diese nur ein Bruchteil der im Brennstoff zugeführten Wärmemenge (Bild 1). Der theoretische Bedarf an elektrischer Energie für die Trocknung von 1 ha Getreide ergibt sich unter Zugrundelegung der Äquivalenz  $1 \text{ kWh} \triangleq 860 \text{ kcal}$  aus  $534000 : 860 = 620 \text{ kWh}$ . Das heißt, es wären mindestens  $620 \times 1,36 = 845$  PS für den Antrieb eines solchen Generators nötig. Ein Wert, der sich im Mährescher niemals realisieren läßt.

Zur Umsetzung des elektrischen Stroms in Wärme sind eine Reihe von verschiedenen Verfahren anwendbar. Im allgemeinen wird die Widerstandsheizung verwendet (Wirkungsgrad etwa 80%). Doch gerade in der letzten Zeit wird sehr viel von der Infrarot-Strahlung — die sogar als Wunderstrahlen bezeichnet werden — und von der Hochfrequenzerwärmung gesprochen, ohne daß die Betreffenden sich in den meisten Fällen näher

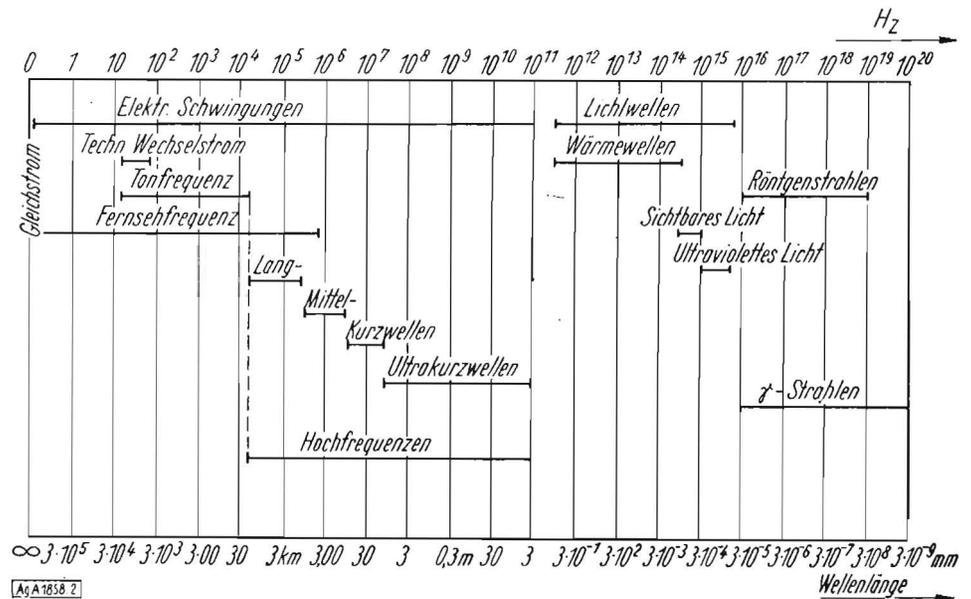


Bild 2. Übersicht über das Gebiet der Schwingungen, Wellen und Strahlen

mit der Eigenart dieser neuartigen Verfahren befaßt haben. Es sind darüber hinaus auf diesem Gebiet bereits Konstruktionen von Mähreschern mit Trocknung durch Infrarot-Strahlern bekanntgeworden, die kennzeichnend sind für die erschreckende Ahnungslosigkeit über die theoretisch und praktisch schwierigen Verhältnisse auf diesem Gebiet. Es soll deshalb an dieser Stelle näher auf die Infrarot-Strahlung und die Erwärmung mittels Hochfrequenz eingegangen werden.

#### 3.3.1 Trocknung durch Infrarot-Strahler

Bei der Infrarot- (Ultrarot-) Strahlung handelt es sich physikalisch gesehen um Schwingungen elektromagnetischer Wellen mit einer Länge von  $0,8$  bis  $400 \mu$ . Zur besseren Übersicht ist in Bild 2 [3] der gesamte von der Technik beherrschte Frequenzbereich mit den zugeordneten Wellenlängen dargestellt. Wegen der Wirkungen, die die infraroten Strahlen ausüben, bezeichnet man sie allgemein auch als Wärmestrahlen. Jeder Körper, der Wärme ausstrahlt (Ofen, Glühbirne usw.) sendet infrarote Strahlen in seine Umgebung. Eine Besonderheit der Infrarot-Strahlen ist, daß sie sich erst beim Auftreffen auf einen Körper in Wärme umsetzen. Dabei dringen die Strahlen je nach Art des Stoffes bis zu  $15$  mm ein. Die Luft absorbiert die infraroten Strahlen kaum, so daß die Wärmeentwicklung direkt an dem bestrahlten Körper stattfindet.

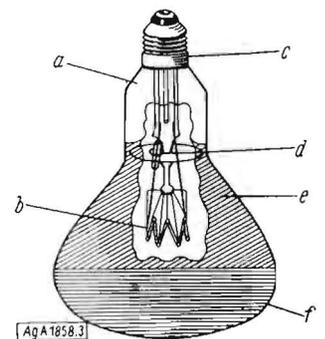


Bild 3. Aufbau des Infrarot-Hellstrahlers  
a Gesamtlänge 170 mm, größter Kolbendurchmesser 125 mm, Gewicht 150 g, b Strahlungskörper (Wolframdrahtwendel), c Edison-Sockel E 27, d Al-Scheibe, e innenverspiegelt, f außenmattiert

Die spezielle Erzeugung der infraroten Strahlen mittels elektrischer Energie erfolgt in Hell- oder Dunkelstrahlern. Der Aufbau des Hellstrahlers (Bild 3), hergestellt vom VEB Berliner Glühlampenwerk, ist ähnlich einer normalen Glühbirne. Er besitzt den Edison-Sockel E 27 und hat eine Leistung von 250 und 500 Watt. Ein Wendel aus Wolfram-Draht wird durch den elektrischen Strom auf etwa  $1927^\circ \text{C}$  erhitzt. Um ein Verbrennen des Drahtes zu vermeiden, ist er in einen Kolben eingeschmolzen, aus dem jeglicher Sauerstoff entfernt ist. Die Lebensdauer des Strahlers beträgt 3000 bis 5000 Brennstunden. Der Wolfram-Wendel strahlt nach allen Richtungen. Durch die parabolische Ausbildung des Kolbens und eine Innenver-

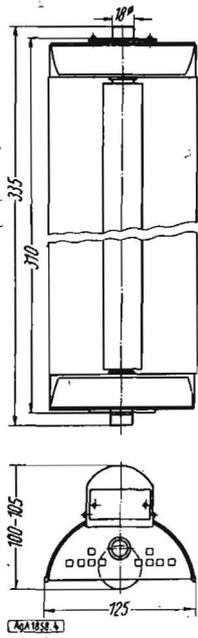


Bild 4. Infrarot-Dunkelstrahler

strahler dort, wo es auf eine Oberflächenwärmewirkung ankommt.

Das in einem auf der letzten landwirtschaftlichen Ausstellung in Markkleeberg gezeigten Mähdrescher zum Einbau vorgesehene Heizelement besteht aus rostartig angeordneten IKA-Rohrheizkörpern. Diese werden hauptsächlich zur direkten Flüssigkeitserhitzung, z. B. als Tauchsieder, als Heizelemente in Heißwasserspeichern usw. benutzt. In einem Eisen- bzw. Kupferrohr (Bild 5) von 8,5 mm Außendurchmesser ist der Heizleiter zentrisch in eine Isoliermasse eingebettet. Auf Grund des großen Wärmeleitvermögens, die die hochverdichtete Isoliermasse besitzt, bildet sich nur ein sehr geringes Temperaturgefälle zwischen Heizleiter und Rohrwandung. Das Heizrohr wird als Normalausführung in der in den meisten Anwendungsfällen geeigneten Haarnadelform geliefert, es läßt sich jedoch auch leicht in andere Formen biegen.

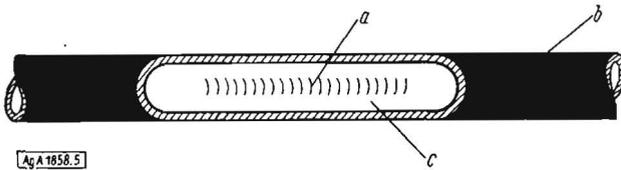


Bild 5. IKA-Rohrheizkörper

Das Heizelement wurde nachträglich in den gezeigten Mähdrescher eingebaut. Es besitzt die Größe von etwa  $1 \text{ m}^2$  und ist mit Rohrheizkörpern für einen Anschlußwert von etwa  $10 \text{ kW}$  versehen. Die in dieser Anlage erzeugte Wärmeenergie beträgt theoretisch  $10 \times 860 = 8600 \text{ kcal/h}$  und ist nicht ausreichend, um überhaupt einen nennenswerten Trockenerfolg zu erzielen.

#### Anwendung der Infrarot-Strahlen

Die Anwendung der Infrarot-Strahlen erfolgt auf den verschiedensten Gebieten der Fertigung, insbesondere dort, wo bisher umständliche teure und die Fließbandproduktion hemmende Trockenprozesse notwendig waren. Zu den wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten der Infrarot-Strahlung gehört das Trocknen und Einbrennen von Lacken. Da es sich dabei um besonders dünne Schichten handelt, haben die Strahlen mit ihrem guten Durchdringungsvermögen eine große Wirkung. Besonders dort, wo es sich um einfach gestaltete Blechkörper handelt, z. B. Autokarosserien, Badeöfen usw., ergeben sich bei der Trocknung mit Infrarot-Strahlen wesentliche Vorteile, besonders bei Verwendung von Kunstharzlacken. Die Bestrah-

lungszeiten auf dünnwandigen Blechen betragen meistens nur 2 bis 3 Minuten.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind in der Textilindustrie bei der Trocknung frisch gefärbter oder gewaschener Stoffe gegeben. Außerdem beim Abtöten der Puppe im Seidenbau, bei der Kokontrocknung, der Vernichtung von Parasiten in Nahrungsmitteln, zur Tieraufzucht, zum Backen von Kleingebäck, zur Raumheizung und zu medizinischen Zwecken.

Vorteile: Verkürzung der Erwärmungs- und Trockenzeiten, gute Anpassungsfähigkeit, leichte Regelbarkeit der gewünschten Temperaturhöhe und stete Betriebsbereitschaft.

Nachteile: Die Anwendbarkeit der Infrarot-Strahlen ist auf dünne Schichten begrenzt. Die Oberflächen müssen unmittelbar und möglichst senkrecht von den Strahlen getroffen werden, so daß eine mehrschichtige Lagerung des Trockenguts nicht möglich ist. Bei stark reflektierenden oder wenig absorbierenden Stoffen ist die Wirkung gering. Begrenzung auf mittelhohe Temperaturen bis etwa  $300^\circ \text{C}$ .

Die bisher durchgeführten Versuche in der stationären Getreidekorntrocknung mit Infrarot-Strahlen [7] haben gezeigt, daß der Stromverbrauch bei der Trocknung von gewaschenem oberflächenfeuchtem Korn  $1,4 \text{ kWh/kg}$ , bei erntefeuchtem Korn  $3,3 \text{ kWh/kg}$  Wasser beträgt.

Abschließend kann gesagt werden, daß die Strahlungserwärmung nur dann Vorteile gegenüber der Wärmeübertragung durch Konvektion oder Leitung bringt, wenn der durchzuführende Wärmeprozess durch sie schneller, rationeller, für das Gut schonender oder sauberer abläuft. Die Unterschiede der Hell- und Dunkelstrahler sind in ihrem Einfluß geringer als im allgemeinen angenommen wird.

#### 3.32 Erwärmung durch Hochfrequenz

Bei der Hochfrequenztechnik wird die elektrische Energie unmittelbar im Werkstück in Wärmeenergie umgesetzt. Die sonst erforderlichen Wärmeübertragungsmittel, wie Gase, Flüssigkeiten, feste Körper oder Strahlungen, kommen hierbei in Fortfall. Zu unterscheiden ist die Erwärmung von Nichtmetallen in elektrischen (kapazitiv) und von Metallen in magnetischen (induktiv) Hochfrequenzfeldern. Die Wärmeentwicklung in dem feuchten nichtmetallischen Körper im Kondensatorfeld ist hauptsächlich auf die *Joulesche Wärme* zurückzuführen. Die Ursache ist das Vorhandensein von Wasser, das die Wärmeentwicklung bestimmt. Die Hochfrequenz-erwärmung eignet sich deshalb besonders für die wirtschaftliche Beseitigung von wahllos über den ganzen Querschnitt verbreiteten Feuchtnestern.

Die Erzeugung des hochfrequenten Stroms erfolgt durch Röhrengeneratoren. Bei der kapazitiven Erwärmung ist von ausschlaggebendem Einfluß, daß der Arbeitskreis an den Generator richtig angepaßt wird. Nur so ist eine volle Leistungsübertragung an das zu erwärmende Material möglich. Die für den Hochfrequenzgenerator geltenden betrieblichen Voraussetzungen erfordern einen robusten Aufbau der Röhren, die gegen Erschütterung unempfindlich sein, eine hohe Lebensdauer und eine hohe Schaltfestigkeit haben müssen.

Durch die Vorteile dieser Wärmeerzeugung bietet sie vielseitige Anwendungsmöglichkeiten in der Industrie. Anwendungsgebiete sind die Holzverleimung, die Holztrocknung, die Bearbeitung von Kunststoffen und Erwärmung von Preßmassen, Verschweißung von Folien sowie Herstellung von Gießkernen, bei denen Kunstharze als Bindemittel verwendet werden, die nach Erreichen einer bestimmten Temperatur außerordentlich schnell abbinden. Das Backen im hochfrequenten Kondensatorfeld ist nicht nur für hochwertiges Gebäck, sondern auch für einfache Brotsorten durchgeführt worden. Dabei wird durch gleichzeitige Infrarot-Behandlung die bei dem hochfrequenten Gebäck fehlende bräunende Kruste erzeugt. Die Vernichtung von Parasiten ist ebenfalls durchgeführt worden. Voraussetzung ist dabei ein merklicher Unterschied der Durchgangswiderstände des befallenen Gutes und der Parasiten.

Als Nachteile sind zu nennen, daß die Erzeugung des hochfrequenten Stroms eine komplizierte und teure Anlage erforderlich macht. Die Röhren des Generators unterliegen ähnlich den Radoröhren einem verhältnismäßig hohen Verschleiß.

