

Bei der Konstruktion zukünftiger Traktoren wird man vorteilhafterweise von Anfang an auf eine optimale Anwendungsmöglichkeit für die verschiedenen Maßnahmen — insbesondere der Kapselung — achten, da diese Maßnahmen dann wesentlich einfacher und daher billiger verwirklicht werden können.

Dem zweiten Konzept, **Bild 6**, liegt das bekannte Prinzip der Rahmenbauweise zugrunde. Bei diesem Konzept sind, wie z.B. bei Lastkraftwagen, Motor und Schaltgetriebe als Einheit elastisch in dem die Fahrwerkskräfte aufnehmenden Rahmen gelagert.

An diesem Rahmen ist die Vorderachse und das Hinterachsgetriebe starr befestigt, die Kraftübertragung zwischen Schalt- und Hinterachsgetriebe erfolgt mittels Gelenkwelle.

Die Maßnahmen zur Reduzierung des Geräusches von Ansaug-, Auspuff- und Kühlsystem sind mit denen des vorher beschriebenen Traktorkonzeptes identisch. Motor und Schaltgetriebe werden in der erwähnten Art mit einer schalldämmenden Kapsel versehen. Hinterachsgetriebe ergeben im Gegensatz zum Schaltgetriebe im allgemeinen wenig Eigengeräusch, so daß eine Kapselung des Hinterachsgetriebes unter Umständen entfallen kann.

Die Kabine und sonstige Aufbauten werden vorteilhafterweise an dem gegenüber dem Motor körperschallisolierten Fahrzeugrahmen abgestützt. Auch wird man zweckmäßigerweise die früher genannten Zusatzeinrichtungen nicht am Motor, sondern am Fahrzeugrahmen befestigen, wodurch komplizierte Durchführungen durch

die Verschalung entfallen. Die Vorteile dieser Bauweise sind aber nicht so groß, daß man zwingend von der heutigen Blockbauweise auf die Rahmenbauweise übergehen müßte.

Bei beiden Konzepten erstreckt sich die geräuschmindernde Wirkung naturgemäß außer auf die Umgebung auch auf den Fahrer, so daß der Aufwand zur Geräuschdämmung der Kabine wesentlich kleiner gehalten werden kann als dies derzeit der Fall ist.

#### Schrifttum

- [ 1 ] *Thien, G.E. u. H. Fachbach*: Geräuscharme Dieselmotoren in neuartiger Bauweise. MTZ Motortechn.Z. Bd. 35 (1974) Nr. 8, S. 237/46.
- [ 2 ] *Thien, G.E.*: Möglichkeiten zur Senkung des Geräuschpegels von Dieselmotoren, ATZ Automobiltechn.Z. Bd. 74 (1972) Nr. 7, S. 261/69.
- [ 3 ] *Thien, G.E. u. H. Fachbach*: Geräuschverminderung an Dieselmotoren durch Änderung äußerer Bauteile und schalldämmendes Verkleiden. MTZ Motortechn.Z. Bd. 32 (1971) Nr. 5, S. 145/52.

## Eine Betrachtung der Trocknung landwirtschaftlicher Produkte anhand charakteristischer Diagramme

Von Dietrich Lehmann, Göttingen\*)

DK 664.8.047:536.717

Trocknen bedeutet das Annähern an ein thermodynamisches Gleichgewicht zwischen behandeltem Gut und Trocknungsmedium. Ausgehend vom Zustand der Außenluft läßt sich für jedes Verfahren landwirtschaftlicher Trocknung ein spezifischer Gleichgewichtszustand definieren und anhand charakteristischer Diagramme, wie *i,x*-Diagramm und Sorptionsisothermen darstellen. Dabei wird deutlich, in wie engen Grenzen diese Werte zu suchen sind. Die Betrachtung läßt Rückschlüsse auf die Wahl und die Handhabung von Trocknungsverfahren zu.

Unter dem Begriff Trocknung versteht man im allgemeinen den thermischen Entzug von Feuchtigkeit aus einem Produkt. Dazu ist es notwendig, daß zwischen der Oberfläche am oder im Gut und dem Trocknungsmedium, im allgemeinen Luft oder Heizgas, ein Dampfdruckgefälle besteht, das die Gutsfeuchtigkeit veranlaßt, an dieser Oberfläche zu verdampfen und in den trocknenden Gasstrom überzutreten.

Ein solches Dampfdruckgefälle kann bei gleicher Temperatur von Material und Trocknungsluft herrschen, wie es bei der Kaltbelüftung vorkommt, oder infolge einer Temperaturdifferenz, wie bei der Warm- und Heißlufttrocknung, aufgebaut werden. Seine waserentziehende Wirkung wird aufgehoben, wenn sich die Luft soweit mit Dampf sättigt, daß ihr Dampfdruck dem entspricht, der am oder im Produkt herrscht und der seinerseits durch die Bindungskräfte zwischen dem biologischen Stoff und der Feuchtigkeit bestimmt wird.

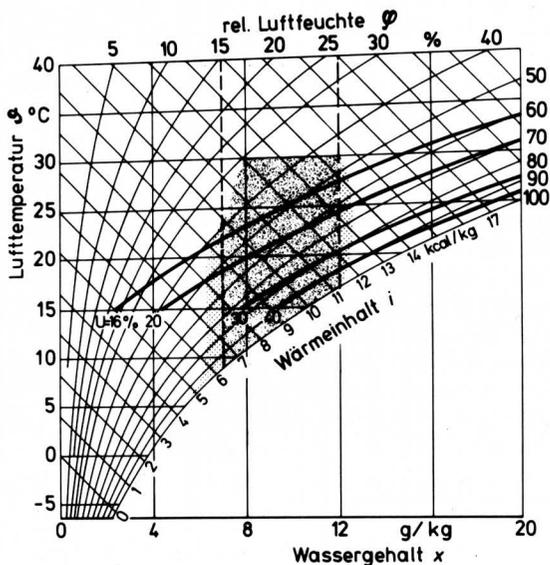
Das bedeutet, daß im Verlauf eines Trocknungsvorganges immer ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Trocknungsmedium und dem zu entfeuchtenden Material angestrebt wird, und zwar sowohl in bezug auf die Temperatur als auch auf den Dampfdruck.

### 1. Trocknung mit Außenluft

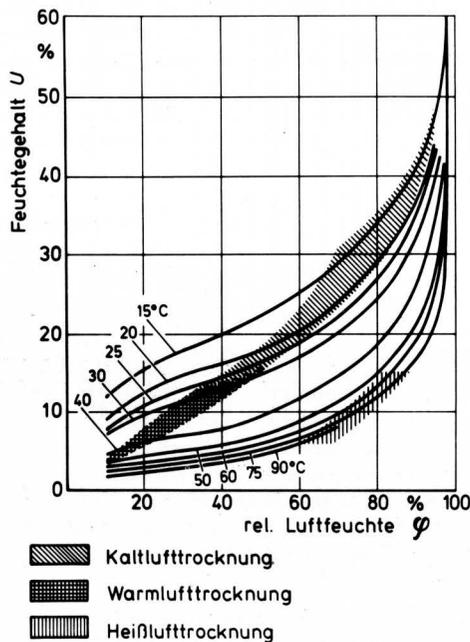
Ausgangsbasis für den jeweiligen Zustand der Trocknungsluft bei den unterschiedlichen Verfahren ist immer die Außenluft, die z.B. bei der Bodenheubereitung oder Kaltbelüftung direkt auf das Gut einwirkt oder die, durch Wärmezufuhr auf ein höheres Energiepotential gebracht, wie bei der Warm- und Heißlufttrocknung eingesetzt wird. Der Luftzustand kann eindeutig mit Hilfe des *i,x*-Diagramms für feuchte Luft beschrieben werden.

\*) *Dipl.-Ing. Dr.sc.agr. Dietrich Lehmann ist am Landmaschinen-Institut der Universität Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. F. Wierneke) tätig.*

Trägt man die aus zahlreichen Klimamessungen im Zusammenhang mit der Bodenheutrocknung gewonnenen Werte des Außenluftzustandes während der Ernteperiode als charakteristisch für den norddeutschen Raum einmal im  $i,x$ -Diagramm, **Bild 1**, ein, so kann man feststellen, daß sie nur einen engen Bereich zwischen den Kurven des Luftfeuchtegehaltes  $x = 7$  und  $x = 12$  g/kg trockene Luft und der Temperatur  $\vartheta = 10$  und  $\vartheta = 30$  °C bedecken.



**Bild 1.** Mollier- $i,x$ -Diagramm für feuchte Luft mit eingezeichnetem Bereich des Außenluftzustandes und Kurven des Gleichgewichtsfeuchtegehaltes  $U$  von Gras nach [1].



**Bild 2.** Sorptionsisothermen von Gras nach [1] mit Bereichen der Gleichgewichtszustände für Kalt-, Warm- und Heißlufttrocknung. Wassergehalt der Außenluft:  $x = 7$  bis  $x = 12$  g/kg trockene Luft.

Bei Verfahren, in denen die Luft ohne zusätzliche Erwärmung auf das feuchte Gut einwirkt, wird dieses einem Gleichgewichtszustand zustreben, der im Hinblick auf Temperatur und Feuchtegehalt des Stoffes den angegebenen Werten der Luft entspricht. Dabei werden die Gleichgewichtswerte für den Feuchtegehalt des biologischen Materials und den Dampfdruck bzw. die relative

Feuchte der Luft bei bestimmter Temperatur durch die Sorptionsisothermen wiedergegeben, wie sie **Bild 2** für Gras zeigt. Aus diesen Kurven kann man entnehmen, bis zu welchem Feuchtegehalt das Gras durch Luft eines bestimmten Zustandes getrocknet werden kann.

Überträgt man aus **Bild 1** den Bereich möglicher Klimabedingungen in die Schar der Sorptionsisothermen, so wird dort das schmale Band der Gleichgewichtswerte deutlich, die sich bei genügend langer Behandlung mit Außenluft einstellen. Gleichzeitig erlaubt diese Darstellung Rückschlüsse auf die Witterungsbedingungen, die herrschen müssen, will man Feuchtegehalte von  $U = 20$  oder  $U = 16$  % erreichen, die notwendig sind, um das Halmgut lagerfähig zu machen und vor Verderb zu schützen.

Die Klimagrenzen zum Erreichen der Werte  $U = 20$  und  $U = 16$  % lassen sich auch im  $i,x$ -Diagramm eintragen, so daß man die entsprechenden Werte für Temperatur und Feuchte der Trocknungsluft dort ablesen kann. Gleichartige Überlegungen lassen sich auch für alle anderen Arten landwirtschaftlicher Produkte anstellen, die einem Belüftungs- oder Trocknungsprozeß unterzogen werden, sofern ihre Sorptionsisothermen vorliegen.

## 2. Trocknung mit erwärmter Luft

Erwärmt man die Außenluft, um sie in einer Satztrocknungsanlage durch eine Schüttung landwirtschaftlichen Materials zu leiten, so ändert sich ihr Wassergehalt  $x$  nicht. Im  $i,x$ -Diagramm sind also die Werte für die entstehende Warmluft entsprechend der erreichten Temperatur nach wie vor zwischen den Grenzen  $x = 7$  und  $x = 12$  g/kg trockene Luft oberhalb des Bereiches für Außenluft zu suchen.

Das zu entfeuchtende Gut wird wiederum nach genügend langer Einwirkzeit einen Gleichgewichtszustand aufweisen, der dem der Warmluft entspricht. Im Diagramm der Sorptionsisothermen lassen sich die Grenzen des Gleichgewichtsbereiches demzufolge zu höheren Temperaturen hin verlängern und ein daraus entstehendes Band angeben, **Bild 2**.

Allgemein betrachtet kann also festgestellt werden, daß für den Trocknungszustand in der Bodenheugewinnung, der Kalt- und Warmluftsatztrocknung landwirtschaftlicher Produkte bei Erreichen eines Gleichgewichtes nur die Werte im Bereich zwischen den angegebenen Grenzen gelten können.

Wie wirkungsvoll das Trocknungspotential der Außenluft durch natürliche oder gar künstliche Erwärmung gesteigert werden kann, mögen folgende Zahlen verdeutlichen: Bei einem mittleren Feuchtegehalt der Luft von  $x = 9,5$  g/kg trockene Luft beträgt die relative Luftfeuchte:

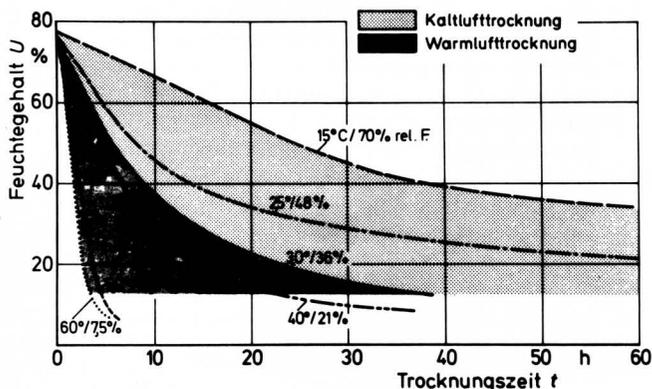
$$\begin{aligned} \text{bei } \vartheta = 15 \text{ }^\circ\text{C}; \varphi &\approx 90 \text{ \%} \\ \vartheta = 30 \text{ }^\circ\text{C}; \varphi &\approx 36 \text{ \%} \\ \vartheta = 60 \text{ }^\circ\text{C}; \varphi &\approx 7,5 \text{ \%} \end{aligned}$$

Entsprechend steigt die Fähigkeit, Wasser zu entziehen, stark an, wie an der Trocknung von Gras in dünnen Schichten, **Bild 3**, gezeigt werden kann. Auch in der Satztrocknung bringt die Temperatursteigerung eine spürbare Verkürzung der Behandlungsdauer.

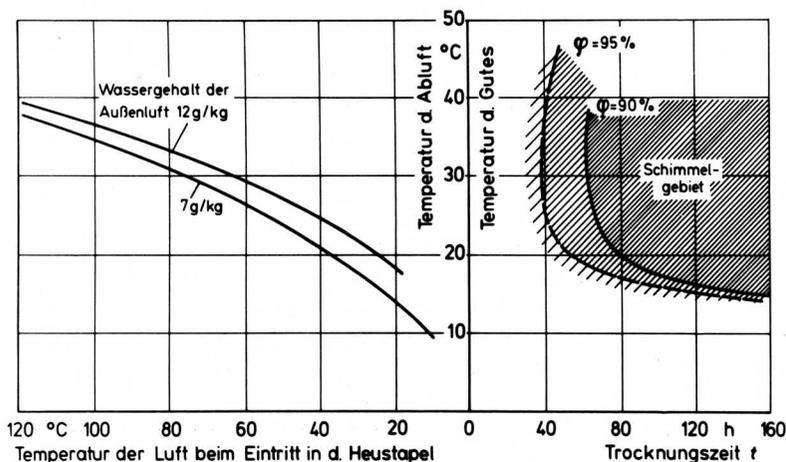
Ein Vergleich dieser für reine Konvektionstrocknung geltenden Kurven mit solchen, die für Bodenheutrocknung unter Sonneneinstrahlung ermittelt wurden, macht deutlich, daß der Strahlungseinfluß eine Vergrößerung des Dampfdruckgefälles durch Erwärmung des Gutes bewirkt, die zu einem steileren Kurvenverlauf führt, als er den Luftdaten entspricht. Auch der angestrebte Gleichgewichtsfeuchtegehalt liegt bei entsprechend niedrigeren Werten [2, 3].

Bei allen bisher besprochenen Verfahren tritt ein zweiter Gleichgewichtszustand ein, wenn sehr feuchte, kalte Luft auf noch ungetrocknetes Material trifft, wie es bei der Bodenheuerhebung bei ungünstiger Witterung, bei der Satztrocknung in den noch nicht vom Entfeuchtungsprozeß erfaßten Schichten vorkommt. Sowohl in der Luft als auch am Gut herrscht hoher, evtl. sogar Sättigungsdampfdruck; es findet kein Stoffaustausch statt. Jedoch kann es unter solchen Umständen zu hohen Verlusten und zum Auftreten von Schimmel kommen.

In Warmluft-Satztrocknungsanlagen können dabei das feuchte Produkt und die dampfgesättigte Luft je nach dem Grad der Lufterwärmung Temperaturen zwischen 20 °C und 35 °C annehmen, die die Schimmelbildung schon nach kurzer Zeit begünstigen, wie Bild 4 veranschaulicht. Auch hier sind wieder die Grenzen für den Luftzustand am Trocknereintritt  $x = 7$  und  $x = 12$  g/kg trockene Luft eingetragen, so daß man direkt vom Warmluftzustand auf die Schimmelmengenzunahme schließen kann. Mit Rücksicht auf diese zeitlichen Grenzen muß die Satz Trocknung gehandhabt werden, was Einlagehöhe, Temperatur und Durchsatz der Trocknungsluft betrifft, will man Verderb sicher vermeiden.



**Bild 3.** Dünnschichttrocknung von Gras bei konstantem Klima nach [1].  
Wassergehalt der Luft:  $x \approx 9,5$  g/kg trockene Luft.



**Bild 4.** Zeitliche Grenze für Schimmelbildung bei Gras in feuchter Atmosphäre nach [4].  
Umrechnung auf die eintretende Luft bei adiabatischer Warmlufttrocknung in den Grenzen der Außenluft  $x = 7$  und  $x = 12$  g/kg trockene Luft.

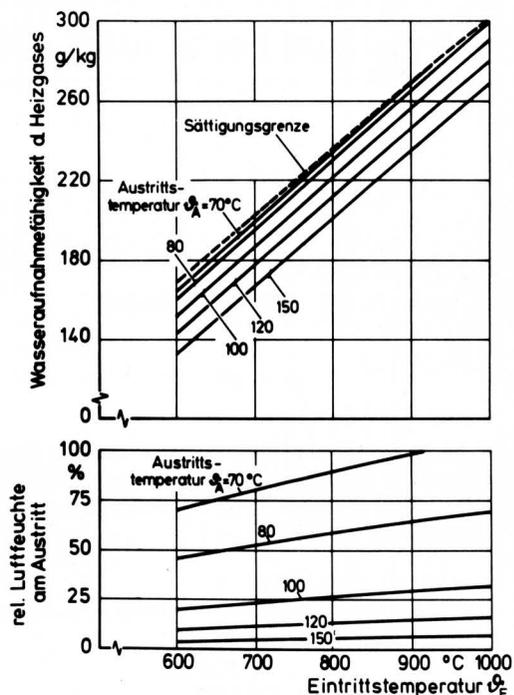
### 3. Heißlufttrocknung

Betrachtet man zum Abschluß noch das Verfahren der Heißluft-Trommeltrocknung, so muß man von geänderten Vorstellungen ausgehen. Ein heißes Luft-Heizgasgemisch trifft auf kaltes, nasses Trocknungsgut und bewegt sich mit diesem im Gleichstrom durch die Anlage, wobei sich das Gas abkühlt und mit Wasserdampf anreichert, der vom Material bei gleichzeitiger Erwärmung abgegeben wird. Auch hier strebt das System einem Gleichgewicht zu, und zwar jenem, das dem Zustand der feuchtebeladenen Luft am Trocknereintritt entspricht, im Gegensatz zu den bisher besprochenen Verfahren, bei denen der Zustand der Luft am Trocknereintritt die Gleichgewichtsbedingungen bestimmt.

Das Gleichgewicht wird jedoch nicht erreicht; der Trocknungsvorgang wird zuvor am Trommelende abgebrochen. Das Gas verläßt die Anlage mit einer höheren Temperatur als das Gut, sein Dampfdruck ist geringer als der des Gutes.

Da das Material infolge der intensiven Trocknung bereits sehr niedrige Feuchtegehaltswerte aufweist, liegt sein Gleichgewichtsdampfdruck, durch stärker wirkende Bindungskräfte bedingt, schon deutlich unter dem Sättigungsdampfdruck bei entsprechender Temperatur. Das bedeutet, daß, auch wenn ein Gleichgewicht erreicht würde, sich die Luft nur noch unvollkommen mit Wasserdampf sättigen könnte; im Bereich von 60 bis 90 °C, mit dieser Temperatur verläßt das Trockengut die Trommel, müssen die Werte der relativen Luftfeuchte für Gras gemäß den Sorptionsisothermen in Bild 2 bei  $\varphi = 70$  bis  $\varphi = 80$  % gesucht werden. Unterbricht man jedoch den Prozeß vorher, so bleibt das Heizgas-Luftgemisch trotz der großen Wasserbeladung, die es aufzunehmen in der Lage ist, stark ungesättigt, insbesondere, wenn es mit Temperaturen über 100 °C austritt.

Am Beispiel einer Heißlufttrocknungsanlage für Gras, die mit einem sehr günstigen Wärmeverbrauch von 800 kcal/kg verdampftes Wasser angenommen wird, sollen in Bild 5 die Wasseraufnahmefähigkeit



**Bild 5.** Wasseraufnahmefähigkeit und relative Feuchte der Heißluft am Ausgang einer Trommeltrocknungsanlage für Halmgut in Abhängigkeit von den Temperaturverhältnissen.  
Wärmeverbrauch: 800 kcal/kg verdampftes Wasser.

Beispiel:

Heizgas-Luftgemisch am Trommleintritt:

$$\vartheta_E = 800 \text{ °C}$$

$$x_E = 10 \text{ g/kg trockene Luft}$$

Wärmeverbrauch bei der Trocknung:

$$\Delta i / \Delta x = 800 \text{ kcal/kg verdampftes Wasser}$$

$$= 3350 \text{ kJ/kg}$$

Heizgas-Luftgemisch am Trommelaustritt:

$$\vartheta_A = 100 \text{ °C}$$

$$x_A = 241 \text{ g/kg trockene Luft}$$

Aus  $i, x$ -Diagramm:

$$\Delta x = x_A - x_E = 231 \text{ g/kg trockene Luft}$$

Wasseraufnahmefähigkeit: Sättigungsdampfdruck bei 100 °C:

$$p_S = 1013 \text{ mbar} = \text{Außenluftdruck } p_0$$

$$PDA = \frac{x_A p_0}{(0,622 + x_A)} = 283 \text{ mbar}$$

Teildampfdruck am Austritt:

$$\varphi_A = \frac{PDA}{p_S} = 27,9 \text{ \%}$$

Relative Feuchte:

des Gases und seine relative Feuchte in Abhängigkeit von den Temperaturen am Eintritt in die Trommel und an deren Austritt dargestellt werden. Auch diese Werte lassen sich dem  $i, x$ -Diagramm in einer geeigneten Form entnehmen oder mit seiner Hilfe berechnen.

Läßt man eine hohe Austrittstemperatur zu, so verläßt das Trocknungsmedium trotz der beachtlichen Wasserdampfaufnahme mit nur geringer relativer Feuchte die Anlage. Andererseits sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, daß eine große Temperaturdifferenz zwischen Gas und Material eine große Dampfdruckdifferenz und damit eine hohe Trocknungsintensität bewirkt, wenn erforderlich auch bis zum Trommelende. Es gilt also, zwischen der Ausnutzung der Wasseraufnahmefähigkeit des Gases und damit des sparsamen Energieeinsatzes einerseits und der Trocknungsintensität und damit einer hohen Auslastung der Anlage andererseits abzuwägen.

Vorstehende Betrachtung der Trocknung als Annäherung an einen Gleichgewichtszustand zwischen Trocknungsmedium und zu entfeuchtendem Gut sollte zum Verständnis und zur Vorherbestimmbarkeit der einzelnen Vorgänge in den unterschiedlichen Verfahren landwirtschaftlicher Trocknungstechnik beitragen.

#### Schrifttum

- [ 1 ] *Tuncer, I.K., F. Wieneke u. D. Lehmann*: Das Trocknungsverhalten einiger Futtergräser. Grundl. Landtechnik Bd. 20 (1970) Nr. 2, S. 38/44.
- [ 2 ] *Banthen, P.*: Versuche mit verschiedenen neuen Halmfutteraufbereitungsmaschinen in der Bodenheutrocknung. Diss. Univ. Göttingen 1969.
- [ 3 ] *Ratschow, J.P.*: Zur Bestimmung des Wirkungsgrades der Sonneneinstrahlung bei der Bodenheutrocknung. Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 3, S. 90/94.
- [ 4 ] *Lehmann, D.*: Verlustvorgänge und Schimmelbildung bei der Trocknung und Lagerung von Halmfutter. Landtechnische Forschung Bd. 19 (1971) H. 5/6, S. 180/87.

---

## Notizen aus Forschung, Lehre, Industrie und Wirtschaft

---

### Jahrestagung Landtechnik

vom 22. bis 24. Okt. 1975 in Braunschweig

Die Jahrestagung findet in diesem Jahr wieder in der Stadthalle zu Braunschweig statt. Im Programm sind neben den Plenarvorträgen für zwei Halbtage drei parallele Vortragsreihen vorgesehen:

Mittwoch, 22. Okt. nachmittags

Besichtigung landtechnischer Institute und landwirtschaftlicher Großbetriebe.

Donnerstag, 23. Okt. vormittags

Begrüßung und Eröffnung  
Prof.Dr.-Ing. *E.E. Schilling*, Köln  
Vorsitzender der VDI-Fachgruppe Landtechnik

### Plenarvorträge

Diskussionsleiter: Prof.Dr.-Ing. *G. Segler*, Stuttgart-Hohenheim

Das Problem der Welternährung und Wege zu seiner Lösung  
Prof.Dr. *O. Fischnich*, Braunschweig  
Biologische Verfahrenstechnik-Technik bei der Stoffumwandlung  
Prof.Dr.-Ing. *W. Batel*, Braunschweig  
Energieaufwand im Bereich ortsfester Anlagen  
Prof.Dr.-Ing. *Chr. von Zabeltitz*, Hannover  
Fahrerplatzgestaltung  
Dipl.-Ing. *L. Muncke*, Steyr/Österreich

Donnerstag, 23. Okt. nachmittags

### Gruppe A: Biologische Verfahrenstechnik

Diskussionsleiter: Prof.Dr.-Ing. *W. Batel*, Braunschweig

Populationsdynamik als eine Grundlage zur Steuerung und Regelung biotechnischer Prozesse  
Dr.-Ing. *W. Paul*, Braunschweig

Herstellung mikrobiellen Proteins aus Abfallstoffen von Molkereien

Prof.Dr.Dr. *A. Lembke*, Kiel

Erfassen und Bewerten der bei biologischen Produktionsprozessen emittierten geruchsintensiven Stoffe  
Dipl.-Ing.Dr. *F. Schoedder*, Braunschweig

Abluftbehandlung bei biologischen Produktionsprozessen

Dipl.-Ing. *G. Wächter*, Braunschweig

Flüssigmistfermentation mit Selbsterwärmung

Dipl.-Ing.Dr. *R. Thaeer* u. Dr. *K. Grabbe*, Braunschweig

Aerob-biologische Dungaufbereitung im Oxydationsgraben

Dipl.-Ing.agr. *J. Habelt* u. Dr. *W. Rüprich*, Stuttgart-Hohenheim

### Gruppe B: Energieeinsparung

Diskussionsleiter: Prof.Dr.-Ing. *Chr. von Zabeltitz*, Hannover

Modelluntersuchung zur Energieeinsparung in Gewächshäusern

Dipl.-Ing.agr. *H.J. Tantau*, Hannover

Möglichkeiten der Energiefreisetzung aus organischen Reststoffen der pflanzlichen und tierischen Produktion

Prof.Dr.-Ing. *W. Baader*, Braunschweig

Wärmegewinnung durch gesteuerte Verbrennung von Stroh

Dipl.-Ing. *H.W. Orth*, Braunschweig

Wärmedämmung von Stallgebäuden mit modernen Baustoffen

Dipl.Phys.Dr. *G. Englert*, Weihenstephan

Möglichkeiten der Wärmedämmung an Gewächshäusern

Prof.Dr.-Ing. *Chr. von Zabeltitz*, Hannover