

Verbesserte Belüftungsanlagen zur Energieaufwandsenkung bei der Heubelüftung

Dipl.-Ing. H. Kellner, KDT/Ing. M. Dera, KDT, Institut für Futterproduktion Paulinenaue der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

C		Einflußfaktor für Gutart, Feuchte, Hohlräume usw.
h	m	Höhe des Erntegutstapels
m		Exponent der Dichte
n		Exponent der Luftgeschwindigkeit
Δp_{Heu}	Pa	Druckwiderstand des Heus
Δp_G	Pa	Gesamtdruckerhöhung
Δp_{st}	Pa	statischer Druck
P_w	kW	elektrischer Leistungsbedarf
v	$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$	spezifische Strömungsgeschwindigkeit
\dot{V}	m^3/s	Volumenstrom
ρ	kg/m^3	Lagerdichte von Heu
η	%	Wirkungsgrad

1. Einleitung

Die Produktion von Heu ist aufgrund des großen Witterungsrisikos das verlustreichste Verfahren der Grobfutterkonservierung. Dennoch wird Heu aus ernährungsphysiologischen Gründen von den Tierernährern als notwendiger Bestandteil in den Rationen der Wiederkäuer angesehen [1]. Bereits in den 50er und 60er Jahren wurde in der DDR mit der Kaltbelüftung von Heu auf Teilkanalrostanlagen begonnen, wodurch die Feldliegezeit wesentlich verkürzt und damit das Witterungsrisiko in der Heuproduktion eingeschränkt wurde. Anfang der 80er Jahre wurde das Verfahren der Heuproduktion wesentlich verbessert. Das betraf vor allem die Mechanisierung der Feldarbeiten und des Umschlags von Heu in Bergeräumen. Darin eingeschlossen war auch der Übergang von der Oberflur- zur Unterflurbelüftung. Hierfür wurden leistungsstarke Ventilatoren und neue Rostsysteme entwickelt.

Bei der Erprobung von Unterflurbelüftungsanlagen wurde festgestellt, daß sie große Vorteile bei der Bewirtschaftung von Bergeräumen bieten, aber mit einem fast unverträglich hohen Elektroenergieverbrauch für die Trocknung des Heus verbunden waren. Nachfolgend wird eine Lösung zum reduzierten Elektroenergieaufwand bei der Heubelüftung vorgestellt, die als Patent angemeldet wurde.

2. Problem

Mit der Einführung leistungsstarker Ernte-technik entstand die Forderung, große Heumengen in kurzer Zeit einzulagern. Dazu wurden mobile Maschinen erprobt, die befahrbare Belüftungsanlagen voraussetzen und gleichzeitig die Umstellung von der Schicht- zur Stapeltrocknung erforderten. Dies wiederum bedeutete, daß wesentlich größere Erntegutpartien von der Trocknungsluft zu durchströmen waren, um größere Trocknungsverluste zu vermeiden. Die Folgen waren der Einsatz von Ventilatoren mit hohem Volumenstrom und eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit, die aufgrund des exponentiellen Einflusses nach Gl. (1) den Druckverlust des Heustapels wesentlich vergrößerte [2]:

$$\Delta p_{\text{Heu}} = C \rho^m h v^n \quad (1)$$

Dieser negative Einfluß wurde insofern noch verstärkt, daß die schmale Rostfläche (Bild 1 und 2) zu einer Verringerung der Luftdurchtrittsfläche und zu einer weiteren Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit führte. Um den erforderlichen Radlasten von 23 kN gerecht zu werden, wurden die Unterflurkanäle mit nur 2 m breiten Rosten abgedeckt. Die Luftdurchtrittsfläche, gemessen an der Belüftungsgrundfläche, betrug so nur 5 bis 13%. Nach theoretischen Berechnungen ergab sich bei nicht beschickten Anlagen ein Strömungswiderstand der Belüftungsroste entsprechend Bild 3. Zur Erhöhung des Volumenstroms mußte deshalb entsprechend Gl. (2) der leistungsstarke Ventilator LANV 1000-2,5°/50-4-15 für die Belüftung eingesetzt werden [3]:

$$P_w = \frac{\dot{V} \Delta p_G}{\eta \cdot 100} \quad (2)$$

Da dieser Ventilator einen Elektromotor mit einer Leistung von 15 kW erfordert, war eine größere Anlage (BRG 4750, Elektroanschluß 150 kW; BRG 7 100, Elektroanschluß 225 kW) meist nicht möglich bzw. erforderte einen größeren Transformator im Energienetz. Des

weiteren war beim Einsatz mobiler Einlagerungstechnik mit einem spezifischen Energieaufwand von 82 kWh/t Heu (TS = 70%) bei der Einlagerung zu rechnen. Dieser Wert wurde bei unsachgemäßer Einlagerung und Belüftung wesentlich überschritten [1].

3. Lösung des Problems

Für jedes Bauteil der Belüftungsanlage wurden theoretische Berechnungen zum Druckverlust durchgeführt. Die hierbei nach [4, 5, 6, 7, 8] ermittelten Einzelverluste wurden summiert und mit dem gemessenen Druckverlust verglichen. Dabei wurde festgestellt, daß die in der Praxis tatsächlich auftretenden Druckverluste weit höher sind, als die theoretisch ermittelten. Vergleichsmessungen an Oberflur- (Teilkanalrostsystem) und Unterflurbelüftungsanlagen (mit unterschiedlichen Luftdurchtrittsflächen) ergaben, daß der größte Druckverlust in der untersten Lager-schicht des Haufwerks unmittelbar über dem Rost entsteht. Nach Bickel [9] ist die Ursache hierfür die radiale Strömung der Luft aus dem Rost in den Stapel (Bild 4). Da Heustapel stets einen rechteckigen Querschnitt aufweisen, muß die Radialströmung in eine Parallelströmung umgewandelt werden. Demzufolge sind die Druckverluste auch für beide Strömungen getrennt zu berechnen. Dabei zeigte sich, daß Radialströmungen im Heustapel möglichst zu vermeiden sind. Praktisch wird das dadurch erreicht, indem die Rostfläche gegenüber der Grundfläche vergrößert wird. Dazu wurden an 2 Belüftungsanlagen der LPG(T) Brädikow, Bezirk Potsdam, Untersuchungen durchgeführt, die unterschiedliche Rostflächen/Luftdurchtrittsflächen aufwiesen (Variante A: 60 m²/22 m², Bild 5, Variante B: 30 m²/11 m², Bild 6). Für den Vergleich kam jeweils der Axialventilator LANV 1000-2,5°/50 zum Einsatz. Um mehrere Varianten der Strömungsgeschwindigkeit zu erreichen, wurde ein polumschaltbarer Motor (Dahlanderschaltung) Typ YMR 160 M 6-4 AL mit 980 U/min (5,2 kW) 1460 U/min (15 kW) verwendet (Tafel 1).

Bild 1. Unterflurrostkanal mit Profilstahlrost

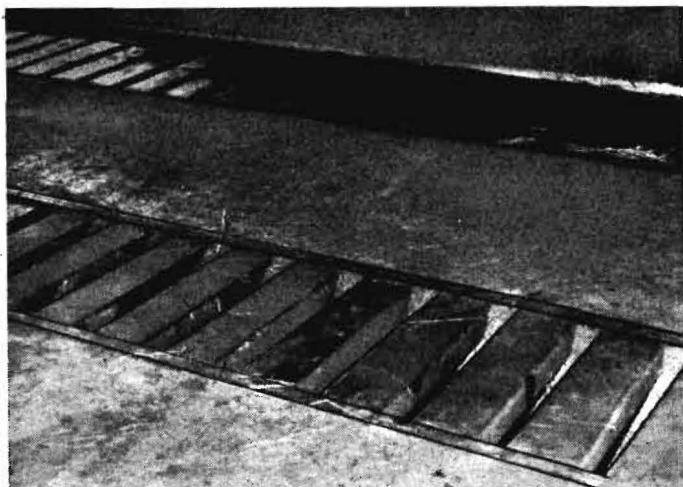
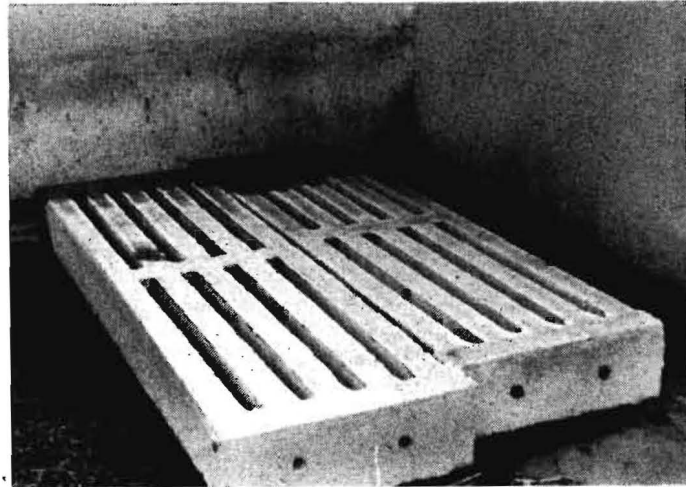


Bild 2. Stahlbetonspaltenbodenelement KLZF für Unterflurkanal



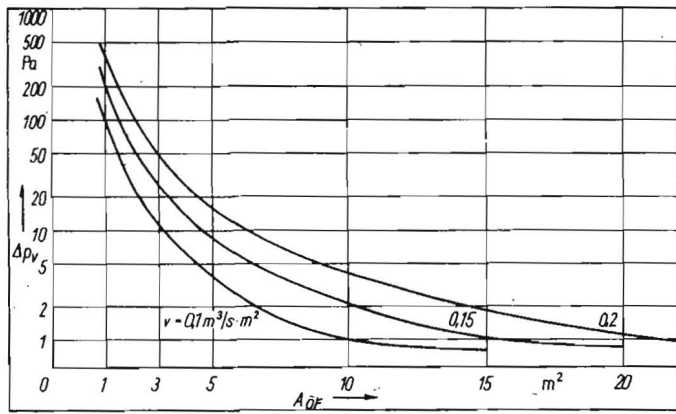


Bild 3. Druckverlust Δp_v bei unterschiedlichen spezifischen Strömungsgeschwindigkeiten v und Rostdurchtrittsflächen A_{0F}

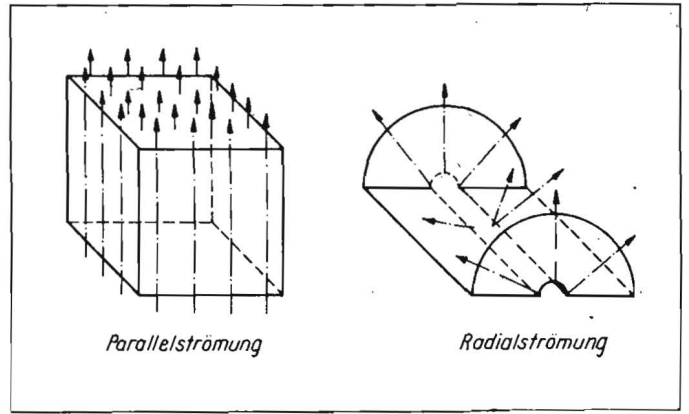


Bild 4. Schematische Darstellung von Parallel- und Radialströmung

4. Ergebnisse

Im Bild 7 sind die Versuchsanlagen mit angelegter Luftdurchströmung schematisch dargestellt. Beschickt wurde mit Halbheu, das von der Hochdruckpresse im ungebundenen Zustand geerntet wurde (Gramineenheu aus dem ersten Schnitt). Die Einlagerung erfolgte mit der Bergeraubeschickungsanlage BBA, wodurch eine maximale Stapelhöhe gesichert werden konnte. Die Meßergebnisse bestätigten die theoretischen Betrachtungen, wonach die Radialströmung weitestgehend durch Rostvergrößerung unterbunden wird. Der Volumenstrom und der Gesamtdruckverlust während der Trocknungsphase sind in Tafel 2 zusammengestellt. Daraus ist deutlich abzulesen, daß der Volumenstrom des Ventilators bei konstanter Elektroenergieauf-

nahme durch Vermeidung der Radialströmung wesentlich vergrößert wird. Hauptursache ist hierfür der geringe Übertrittswiderstand der Belüftungsluft in das Heu, wie dies aus den Anlagenkennlinien (Bild 8, Tafel 2) erkennbar ist. Die Ergebnisse zeigen ferner, daß mit größerer Rostfläche leistungsschwächere Ventilatoren eingesetzt werden können. Vergleicht man die Volumenströme beim alten und neuen Rostsystem, so ergibt sich bei 1460 U/min im alten

Rostsystem gegenüber dem neuen Rostsystem bei 980 U/min nur eine Differenz von 850 m³/h. Hierbei ist die Elektroenergieeinsparung jedoch beträchtlich. Daraus folgt eine etwa gleiche Verweildauer der Luft im Stapel, gleichfalls kann eine konstante Feuchtaufnahme der Luft unterstellt werden. Dies bedeutet, daß bei unterschiedlichem Elektroanschluß fast dieselbe Trocknungszeit benötigt wird, d. h. der spezifische Elektroenergieaufwand sinkt auf rd. 30 %.

Bild 7 Darstellung der Strömungsverhältnisse

Tafel 1. Technische Daten des Axialventilators LANV 1000-2,5°/50 mit polumschaltbarem Motor YMR 160 M 6-4 AL (980/1460 U/min)

Parameter	980 U/min	1 460 U/min
Gesamtdruck- erhöhung	Pa 451...230	1 000,1...510
Volumenstrom erforderlicher Leistungsbedarf	m³/h 25 500...37 900	38 000 ...56 500
Leistung des E-Motors	kW 3,9	12,8
Lärmpegel max.	dB(A) 93	115
Wirkungsgrad	% 80	80

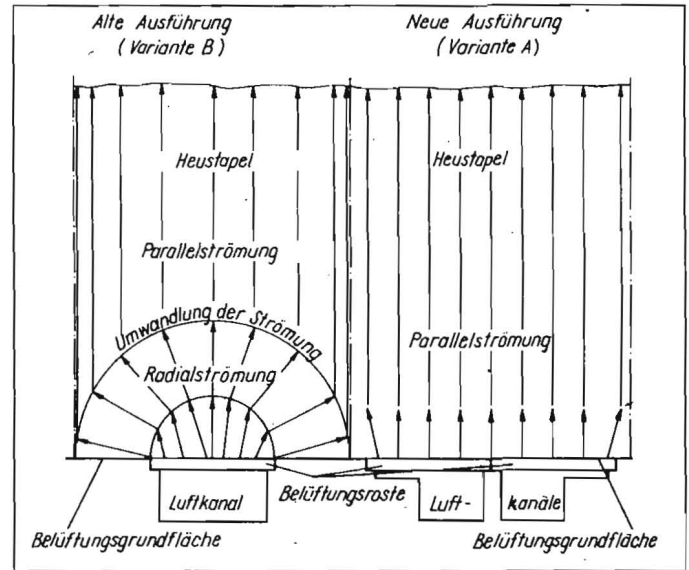
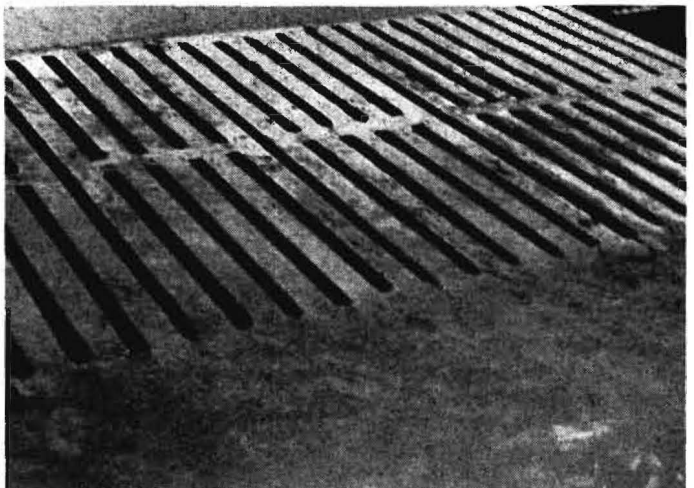
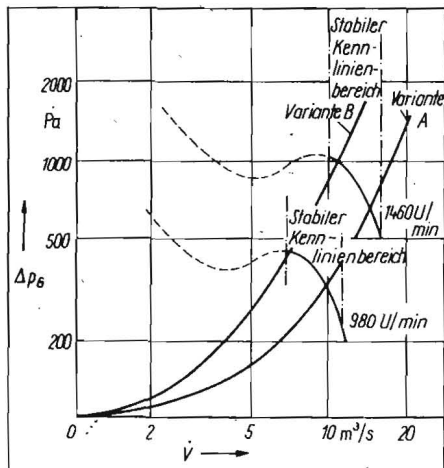


Bild 5. Vergrößerte Rostfläche auf Doppelkanalanlage



Bild 6. Einfache Rostfläche auf Einzelkanal





Tafel 2. Ergebnisse der Volumenstrom- und Druckmessungen bei den unterschiedlichen Rostvarianten in der LPG(T) Brädikow im Jahr 1986

Datum	Rostvariante A (60 m ²) Ventilatorumdrehzahl 900 U/min				Rostvariante B (30 m ²) Ventilatorumdrehzahl 900 U/min			
	\dot{V} m ³ /h	Δp_{st} Pa	\dot{V} m ³ /h	Δp_{st} Pa	\dot{V} m ³ /h	Δp_{st} Pa	\dot{V} m ³ /h	Δp_{st} Pa
23. 6.	36 400	310	58 600	650	26 000	440	37 000	850
24. 6.	36 200	320	52 400	650	26 200	440	36 800	850
25. 6.	35 600	345	48 000	700	25 000	460	36 500	860
11. 7.	35 600	336	51 000	680	25 800	450	36 500	850
12. 7.	36 800	320	49 200	700	26 000	440	36 800	850
13. 7.	36 000	320	51 500	664	26 400	435	37 000	840
\bar{x}	35 966	325	50 766	674	25 900	444	36 800	850

Bild 8. Lüfter- und Anlagenkennlinien

Verbunden mit der Senkung des spezifischen Elektroenergieaufwands ist auch ein geringerer Elektroanschlußwert des Bergesraumes (BRG 4750 um 98 kW, BRG 7100 um 147 kW). Dadurch reduzieren sich die technologischen Kosten der Heuproduktion um rd. 4 bis 6%.

Ein weiterer Vorteil der neuen Lösung besteht darin, daß der Betriebspunkt der Lüfter (vgl. Bild 8) im stabilen Kennlinienbereich liegt. Damit wird eine Überlastung des Ventilators ausgeschlossen. Werden die Rostvarianten A und B bei 1460 U/min verglichen, so beträgt die Volumenstromdifferenz rd. 14000 m³/h. Dies deutet an, daß nicht nur Elektroenergie eingespart wird, sondern auch eingelagertes Erntegut mit einem Trockensubstanzgehalt von weniger als 70% sicher getrocknet werden kann.

5. Zusammenfassung

Die Autoren stellen eine experimentell nachgewiesene Lösung zur weiteren Reduzierung

des Energieaufwands bei der Belüftungstrocknung von Halbheu mit Hilfe veränderter Rostflächen vor. Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse sind:

- Verringerung des Gesamtdruckverlustes und damit Erhöhung des Volumenstroms entsprechend der Kennlinie des Ventilators
- Senkung des spezifischen Elektroenergieaufwands bei der Trocknung von Halbheu
- Senkung des erforderlichen Elektroenergieanschlußwertes für Ventilatoren in Anlagen mit Stapeltrocknung
- Verringerung der Trocknungszeit und somit der Qualitäts- und Trockensubstanzverluste während der Belüftungstrocknung
- sichere Vermeidung des instabilen Arbeitsbereichs beim Ventilator LANV 1000.

Literatur

- [1] Berg, F., u. a.: Weiterentwicklung des Verfahrens der Heuproduktion bei größtmöglicher

Nutzung der Sonnenenergie zur Feld- und Belüftungstrocknung. Institut für Futterproduktion Paulinenaue, 1984 (unveröffentlicht).

- [2] Kellner, H.; Dera, M.: Heubelüftung mit dem neuen Ventilator VAN900/505. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 8, S. 363-365.
- [3] Vogel, J.: Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen. Berlin: VEB Verlag Technik 1977.
- [4] Autorenkollektiv: Taschenbuch Maschinenbau, Band 1/1. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
- [5] Kraft, G.: Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik. Dresden: Th.-Steinkopf-Verlag 1976.
- [6] Matthies, H.-J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forschungshäfte, Düsseldorf (1956) 454.
- [7] Holze, H.: Untersuchungen über den Strömungswiderstand landwirtschaftlicher Halmgüter. VDI-Forschungshäfte, Düsseldorf (1971) 545.
- [8] Bohl, W.: Technische Strömungslehre. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1984.
- [9] Bickel, H.: Der Strömungswiderstand von Dürrfutter in Abhängigkeit von der Strömungsrichtung. Landtechnische Forschung, Frankfurt (Main) 13 (1963) 4, S. 24-26. A 4976

Verwaltungsrat von „Agromasch“ tagte in der DDR

Göhren-Lebbin im Bezirk Neubrandenburg war vom 21. bis zum 24. April 1987 Veranstaltungsort der 47. Tagung des Verwaltungsrates der Internationalen Gesellschaft für Maschinen der Gemüse-, Obst-, Wein- und Tabakproduktion „Agromasch“. Dieses oberste Organ der Gesellschaft tritt regelmäßig zweimal jährlich zusammen, um die erreichten Ergebnisse zu bewerten und die weiteren Aufgaben festzulegen. Dabei befaßt sich die Frühjahrstagung vorrangig mit der Abrechnung des im vergangenen Jahr Erreichten sowie mit den Aufgaben auf dem Gebiet der Maschinenprüfungen und gegenseitigen Lieferungen. Den Herbsttagungen ist die Beratung der Pläne für das kommende Jahr und der Probleme in Forschung und Entwicklung vorbehalten. Die nationalen Teile des Verwaltungsrates stehen unter der Leitung von Stellvertretern der Minister der Bereiche, denen in den jeweiligen Ländern der Maschinenbau für die Gemüse- und Obstproduktion zugeordnet ist. Gleichzeitig sind im Verwaltungsrat die Vertreter der Planungsorgane und der Außenhandelsbetriebe sowie der

wichtigsten Forschungseinrichtungen und Produktionsbetriebe vertreten.

Entsprechend dieser Aufgabenverteilung bestrafte die 47. Tagung den Bericht über die Tätigkeit der Gesellschaft im Jahr 1986, wobei die Ergebnisse auf dem Gebiet der Forschung und Entwicklung, Prüfung und gegenseitigen Lieferungen kritisch bewertet wurden.

Eine wichtige Schlußfolgerung bestand darin, die Bemühungen um eine höhere Effektivität der Zusammenarbeit zu verstärken, um der Landwirtschaft der Mitgliedsländer schneller mehr dringend benötigte Maschinen und Ausrüstungen zur Verfügung zu stellen. Um die Arbeit zu verbessern, soll die gemeinsame Forschungs- und Entwicklungstätigkeit schrittweise auf vertragliche Grundlagen gestellt werden. Direktbeziehungen zwischen Betrieben der Mitgliedsländer werden aufgenommen, um die Kooperation schneller zu entwickeln, Reserven zu erschließen und unproduktiven Verwaltungsaufwand zu vermeiden. Besonders die UdSSR sieht in dieser Form der Zusammen-

arbeit erfolgversprechende Perspektiven. Der Plan der Maschinenprüfungen für das Jahr 1987 wurde präzisiert. Danach testet die DDR in diesem Jahr u. a. die Eignung der Tomatenerntemaschine PBF-20, der Erntemaschine für Gemüseerbsen BK-3F und der Zwiebelerntemaschine TRIO I und II aus der Ungarischen VR, der Substratbefüllmaschine SA 4-004 aus der ČSSR sowie eines Maschinenkomplexes für die Tabakproduktion, einschließlich der Erntemaschine „Hebr“, aus der VR Bulgariens. Aus der DDR werden die Rosenkohlerntemaschine E 804 A 04 und die Entrosungsfräse K 101 in der ČSSR und die Porreeerntemaschine E 808 in der VR Polen geprüft.

In Übereinstimmung mit dem Statut der Internationalen Gesellschaft „Agromasch“ erfolgt im dreijährigen Rhythmus der Wechsel des Vorsitzenden des Verwaltungsrates und des Direktors des Büros der Gesellschaft in Budapest. Die 47. Tagung bestätigte für diese Funktionen entsprechend der festgelegten Reihenfolge Vertreter der VRB bzw. der UdSSR. Dipl.-Ing. A. Haschker