

Messung der Teilchengeschwindigkeit in pneumatischen und in Wurfförderanlagen mit Hilfe von Isotopen

Von Hinrich Petersen, Braunschweig *)

DK 621.867:631.363:621.384.2

Zur Bestimmung der Teilchengeschwindigkeit gibt es unterschiedliche Methoden, von denen hier die radiometrische vorgestellt wird. Das Prinzip dieser Methode, die Auswahl der Isotopen und die Berechnung der notwendigen Aktivität der Isotopen werden näher erläutert. Anhand der Bestimmung der Gutgeschwindigkeit in Krümmern von Wurfförderanlagen wird auf die besonderen Einsatzbedingungen dieser Methode eingegangen. Die Registrierung der von den Isotopen ausgesandten Impulse erfolgt über Geiger-Müller-Zählrohre auf einem Bandgerät und einem nachgeschalteten UV-Schreiber. Für die Förderung von Maishäcksel durch einen 90°-Krümmer werden einige Meßergebnisse gezeigt.

1. Einleitung

Die Methode der radiometrischen Bestimmung der Teilchengeschwindigkeit, d.h. der Ermittlung der Geschwindigkeit mit Hilfe von Isotopen, ist nicht neu. Sie wird schon seit etwa 20 Jahren in der Verfahrenstechnik, der Hydrologie und Hydraulik angewendet [1 bis 10] und soll hier anhand der Bestimmung der Gutgeschwindigkeit in Krümmern von Wurfförderanlagen näher erläutert werden.

Die Kenntnis der Gutgeschwindigkeit ist unerlässlich zur Beurteilung der physikalischen Vorgänge in Zweiphasenströmungen. Eine theoretische Ermittlung läßt sich aber oft wegen der vielen Einflußfaktoren kaum durchführen. Für die experimentelle Bestimmung gibt es verschiedene Möglichkeiten. So läßt sich mit Hilfe der Hochgeschwindigkeitsfotografie die Gutgeschwindigkeit sehr genau messen. Dieses Verfahren erfordert aber neben den hohen Anschaffungskosten und der zeitraubenden Auswertung ein durchsichtiges Rohr, so daß man wegen der veränderten Reibungsverhältnisse bei der Krümmerströmung mit Abweichungen von den praktischen Verhältnissen rechnen muß. Ähnlich sieht es bei der Anwendung von Fotozellen aus. Es wurde deshalb die radiometrische Methode gewählt, bei der mit Hilfe der Impulsauslösung durch radioaktive Strahlen die Geschwindigkeit bestimmt werden kann, ohne daß der Fördervorgang beeinflusst wird und die Förderanlage selbst geändert werden muß.

2. Meßmethode

Das Prinzip der radiometrischen Methode ist recht einfach: Entlang der Rohrleitung sind in vorgegebenen Abständen Meßstationen aufgebaut; fliegt ein radioaktives Teilchen an diesen Meßstationen vorbei, so werden in diesen durch die vom radioaktiven Teilchen ausgesandten Strahlen Impulse ausgelöst, deren zeitliche Folge ein Maß für die Geschwindigkeit des radioaktiven Teilchens ist. Als Detektoren in den Meßstationen lassen sich z.B. Geiger-Müller-Zählrohre (GM-Zählrohre) oder Szintillationszähler verwenden.

GM-Zählrohre sind recht preiswert in der Anschaffung, haben aber nur ein geringes Auflösungsvermögen von ca. 1 %, d.h. nur 1 % der auftretenden Quanten werden in Impulse umgewandelt. Szintillationszähler besitzen ein Auflösungsvermögen von ungefähr 20 %, haben also den großen Vorteil, daß man schwächere Strahler einsetzen kann, sind dafür aber um ein Vielfaches teurer.

Als Strahler können nur γ -Strahler mit genügend hoher Quantenenergie verwendet werden. β -Strahler und γ -Strahler mit niedriger Quantenenergie sind wegen des geringen Durchdringungsvermögens ungeeignet. Die Frage, welchen γ -Strahler man wählen sollte, läßt sich nicht generell beantworten, da neben dem Preis auch die Halbwertszeit der Strahler, der Standort der Untersuchungen und die Zustimmung des Gewerbeaufsichtsamtes von Einfluß sind. Als gebräuchlichste Strahler sind ^{60}Co , ^{137}Cs und ^{192}Ir , zu nennen, die eine lange Halbwertszeit besitzen, in Stäbchen- oder Kugelform erhältlich sind und in Teilchen, deren Geschwindigkeit gemessen werden soll, eingelegt werden können. Daneben werden ^{131}I und ^{198}Au oft verwendet, die eine kurze Halbwertszeit haben und vorwiegend in Form von Lösungen angeboten werden. Hier taucht man das zu markierende Teilchen in die radioaktive Lösung ein, so daß es eine radioaktive Oberfläche erhält, die durch nochmaliges Eintauchen z.B. in eine Kunstharzlösung vor Abrieb geschützt werden sollte.

Als Sonderfall ist noch ^{24}Na zu erwähnen, das als Mineral in den landwirtschaftlichen Erntegütern enthalten ist und durch Neutronenbeschuß im Gut selbst aktiviert werden kann. In diesem Fall besteht also der große Vorteil, daß ohne Änderung der physikalischen Eigenschaften der markierten Teilchen die Gutgeschwindigkeit bestimmt werden kann. Voraussetzung ist aber wegen der kurzen Halbwertszeit von 15 h die Nähe eines Forschungsreaktors.

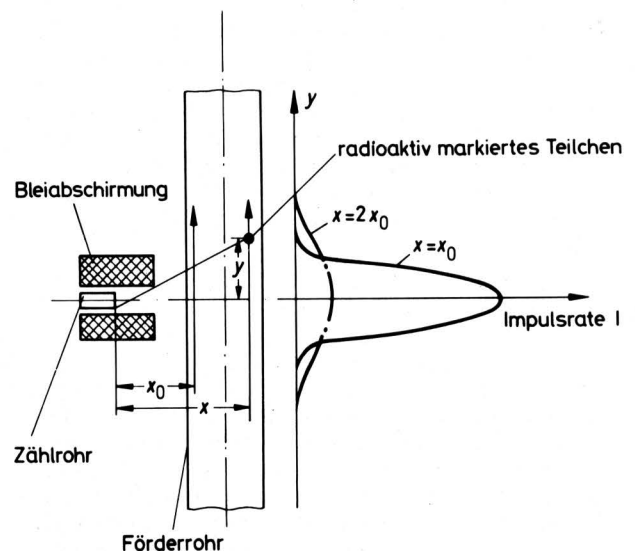


Bild 1. Im Zählrohr ausgelöste Impulsrate I.

*) Dipl.-Ing. Hinrich Petersen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies) der TU Braunschweig.

Die wichtigste Eigenschaft neben der Quantenenergie ist die Aktivität der radioaktiven Strahler; sie wird in der Einheit Curie gemessen und gibt an, wieviel Quanten pro Zeiteinheit ausgesendet werden. Im Interesse des Strahlenschutzes sollte die Aktivität möglichst niedrig gewählt werden, um eine Strahlengefährdung zu vermeiden. Bild 1 zeigt nach Helbig u. Scherping [11] die von einem Zählrohr aufgenommene Impulsrate I beim Vorbeiflug eines radioaktiven Teilchens im Förderrohr. Bei einem Abstand $2x_0$ des markierten Teilchens vom Zählrohr ist bereits eine deutliche Abnahme der Impulsrate zu verzeichnen. Die Meßgenauigkeit ist natürlich um so besser, je deutlicher das Maximum der Impulsrate ausgeprägt ist. Dies kann man einmal erreichen durch Abschirmung des Zählrohrs mit Bleikörpern parallel zur Achse des Zählrohrs, wie auf dem Bild links gezeigt, so daß nur dann γ -Quanten das Zählrohr treffen, wenn sich das markierte Teilchen in dessen Höhe befindet. Eine zweite Möglichkeit ist dadurch gegeben, daß man 2 oder 3 Zählrohre über den Umfang des Förderrohres verteilt und parallschaltet.

Der Nachweis der markierten Teilchen muß beim Vorbeiflug am Zählrohr innerhalb einer Zeitspanne von 10 ms erfolgen, wenn man Fördergeschwindigkeiten bis 30 m/s voraussetzt. Innerhalb dieses Zeitintervalls muß eine ausreichende Zahl von γ -Quanten im Zählrohr Impulse auslösen, damit eine Registrierung möglich ist. Berücksichtigt man, daß das Zählrohr, von der Strahlenquelle aus gesehen, nur 1/1000 des gesamten Raumwinkels einnimmt und daß nur 1 % der auftreffenden Quanten in Impulse umgewandelt werden, dann muß die Strahlenquelle mindestens 10^5 mal mehr Quanten aussenden, als Impulse zur Registrierung notwendig sind. Sollen für die Registrierung mindestens 10 Impulse im Zeitintervall vorhanden sein, so muß das markierte Teilchen $(2 \div 4) \cdot 10^8$ γ -Quanten pro Sekunde emittieren. Hierbei sind der statistische Charakter des radioaktiven Zerfalls und die Absorption der Strahlung bereits berücksichtigt. Es ist mithin eine Aktivität des Strahlers von $(2 \div 4) \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$ (ca. 10 mCi) erforderlich. Der Umgang mit diesen Aktivitäten erfordert bereits bestimmte Sicherheitsvorkehrungen und bedarf der Zustimmung des zuständigen Gewerbeaufsichtsamtes. Die Versuche müssen in einem abgeschlossenen Bereich, dem sogenannten Kontrollbereich, stattfinden und die durchführenden Personen müssen hinsichtlich der aufgenommenen Strahlendosis mit Strahlendosimeter und Filmplakette überwacht werden. Die zu beachtenden Vorschriften sind in der 1. Strahlenschutzverordnung des Bundes vom 15.10.65 festgelegt.

3. Versuchsdurchführung

Wie bereits erwähnt, wurde die radiometrische Methode bei der Bestimmung des Verlaufs der Gutgeschwindigkeit in 90°-Krümmern von Wurfförderanlagen praktisch angewendet. In Bild 2 ist ein Schema der Versuchsanlage wiedergegeben: Ein Förderband führt das Gut einem Wurfgebläse zu, das es durch ein Vertikalrohr und einen anschließenden Krümmer fördert, in dem der Geschwindigkeitsverlauf und -verlust des Gutes bestimmt werden sollen. Am Krümmer selbst sind 5 Meßstellen mit je 3 GM-Zählrohren angeordnet. Rechts im Bild ist das Wurfgebläse, um 90° gedreht, nochmals dargestellt.

Als Isotop wurde ^{192}Ir gewählt, das eine Halbwertszeit von 74 Tagen hat und im Handel in Form von Stäbchen mit 0,8 mm Durchmesser und 2,5 mm Länge erhältlich ist. Beim Einsatz von Isotopen muß man aus Sicherheitsgründen darauf achten, daß die Isotope nicht beschädigt werden oder verlorengehen. Diese Gefahr besteht beim Wurfgebläse einmal im Gehäuse selbst dadurch, daß Teilchen zwischen Wurfchaufeln und Gehäusewand zerrieben werden können, zum anderen bei Stoßvorgängen im Krümmer. Deshalb wurde darauf verzichtet, ein Grüngutteilchen selbst zu markieren; es wurde vielmehr ein Kunststoffteilchen aus Polyäthylen verwendet, das in der Form einem Grüngutteilchen entspricht. Das Iridium-Stäbchen wurde in eine Bohrung des Kunststoffteilchens hineingelegt, die dann anschließend mit einem Klebstoff wieder verschlossen wurde.

Dieses markierte Teilchen wurde nicht dem Gutstrom auf dem Förderband beigelegt, sondern seitlich am Wurfgebläse, auf dem Bild rechts zu erkennen, durch einen kurzen Preßluftstoß in den Fördergutstrom hineingeschossen. Vorversuche ergaben, daß dieser Preßluftstoß die Strömungsverhältnisse im Förderrohr kaum beeinflusst. Das Verfahren ist aber nur dann möglich, wenn das hineingeschossene Teilchen vom Gutstrom im Vertikalrohr aufgefangen und daran gehindert wird, gegenüber dem Gutstrom eine Relativbewegung auszuführen.

Ist das Gut mit dem markierten Teilchen im Auffangbehälter angelangt, entsteht natürlich das Problem, dieses Teilchen aus dem Guthaufen herauszufinden. Dazu wird das Gut über eine Dosiervorrichtung am unteren Ende des Auffangbehälters wieder dem Förderband zugeführt, das dann mit entgegengesetztem Drehsinn umläuft. Wenn das markierte Teilchen auf das Förderband gefallen ist, wird es durch zwei über dem Förderband angebrachte GM-Zählrohre akustisch angezeigt. Es dauert dann nur noch Sekunden, um es aus dem Fördergut herauszuholen.

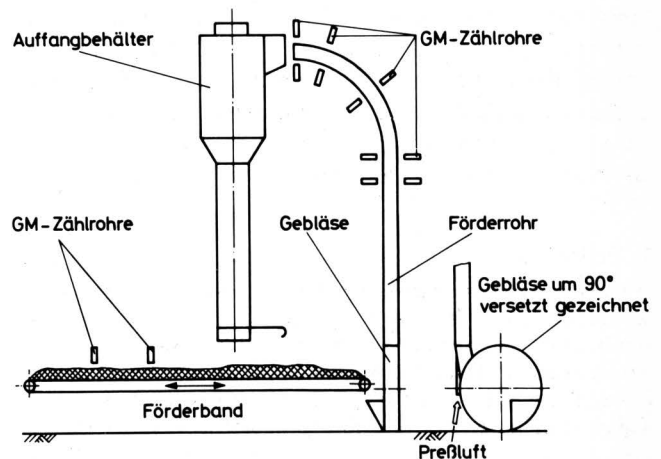


Bild 2. Schema der Versuchsanlage.

4. Versuchsauswertung und Ergebnisse

Die Registrierung der Impulse ist auf Bild 3 veranschaulicht, auf dem links die GM-Zählrohre zweier Meßstellen dargestellt sind. Die in den Zählrohren erzeugten Impulse werden verstärkt und zeitlich gedehnt, damit sie mit einem Bandgerät aufgezeichnet werden können. Dieses Bandgerät besitzt 7 Spuren, die je einen Versuchsablauf registrieren können, und wird vor allem deswegen eingesetzt, um Papier am nachgeschalteten UV-Schreiber zu sparen. Sind die 7 Spuren belegt, werden die Aufzeichnungen der 7 Versuchsabläufe auf den UV-Schreiber übertragen, wobei die Bandgeschwindigkeit reduziert wird, um eine Dehnung des Versuchsablaufs zu erreichen. Einen Schrieb des UV-Schreibers zeigt Bild 4. Wegen der 5 Meßstellen am Krümmer sind pro Spur auch 5 Impulsanhäufungen, gekennzeichnet mit a bis e, zu erkennen. Aus dem Abstand Δs_{UV} dieser Impulsanhäufungen und dem der Meßstationen am Krümmer läßt sich somit die Geschwindigkeit des Gutstromes schnell ermitteln. Es ist offensichtlich, daß die Genauigkeit des Verfahrens davon abhängt, wie genau der Abstand der Impulsanhäufungen bestimmt werden kann. Nach den bisherigen Erfahrungen ist mit Abweichungen bis zu 5 % zu rechnen.

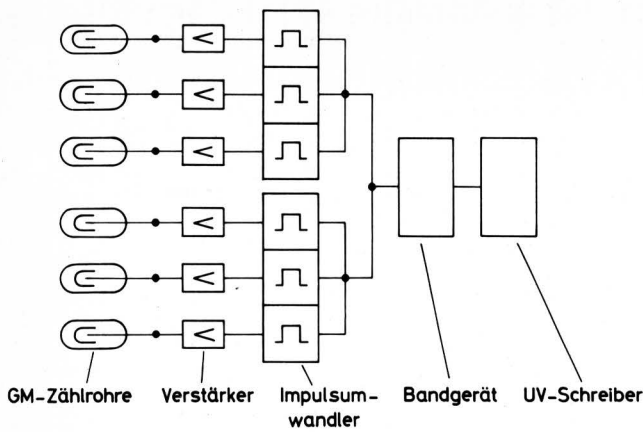


Bild 3. Registrierung der Meßdaten.

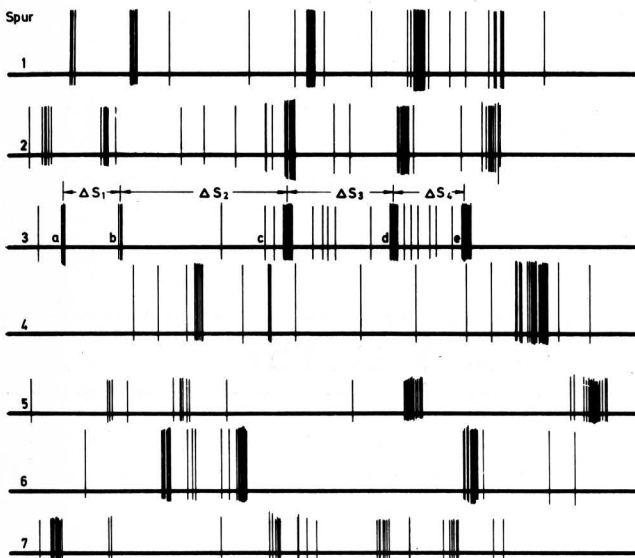


Bild 4. Meßschrieb des UV-Schreibers.

Als Ergebnis ist in Bild 5 der Geschwindigkeitsverlauf von Maishäcksel in einem 90°-Krümmer mit einem Mittenradius gleich dem sechsfachen Rohrdurchmesser ($R = 6d_R$) dargestellt. Für verschiedene Eintrittsgeschwindigkeiten ist der experimentell ermittelte Verlauf der Gutgeschwindigkeit über der abgewickelten Krümmertlänge aufgetragen. Erstaunlich ist, daß auch bei niedrigen Eintrittsgeschwindigkeiten die Gutgeschwindigkeit bis auf 1/3 des Anfangswertes abfällt. In Bild 6 ist wiederum für Maishäcksel über der Gutgeschwindigkeit am Krümmeranfang die Geschwindigkeit am Ende des Krümmers eingezeichnet. Durch die Meßpunkte ist eine Ausgleichsgerade gezogen. Die Streuung der Meßpunkte ist darauf zurückzuführen, daß, bedingt durch einen nicht gleichförmigen Gutstrom, immer Relativbewegungen der einzelnen Teilchen gegenüber dem Hauptteil des Gutstromes möglich sind. Aus dem Verlauf der Geraden sollte man jedoch nicht die Schlußfolgerung ziehen, daß Verstopfungen im Krümmer erst bei einer Endgeschwindigkeit Null auftreten. Ablagerungen im Krümmer, die Verstopfungen verursachen, beobachtet man bereits bei Anfangsgeschwindigkeiten von 10 m/s.

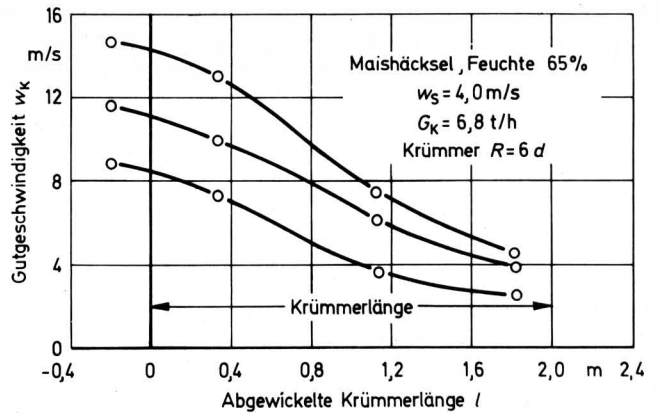


Bild 5. Experimentell ermittelte Gutgeschwindigkeit im Krümmer.

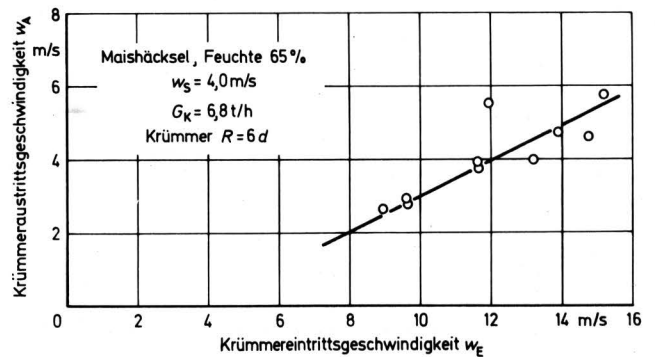


Bild 6. Gutaustrittsgeschwindigkeit w_A als Funktion der Eintrittsgeschwindigkeit w_E am Krümmer.

5. Zusammenfassung

Die radiometrische Geschwindigkeitsmessung erweist sich als eine geeignete Methode, die Gutgeschwindigkeit in pneumatischen und in Wurfförderanlagen zu bestimmen, ohne daß die Förderanlage selbst geändert werden muß. Für die Förderung von Maishäcksel wurde der Geschwindigkeitsverlauf in einem 90°-Krümmer einer Wurfförderanlage ermittelt. Dabei zeigte sich, daß die Gutgeschwindigkeit am Eingang des Krümmers den Betrag von 10 m/s nicht unterschreiten sollte, wenn man eine verstopfungsfreie Förderung erreichen will. Bei den auftretenden Fördergeschwindigkeiten ist die notwendige Aktivität der Isotope so gering, daß eine Strahlengefährdung bei Beachtung der Sicherheitsvorschriften ausgeschlossen ist. Die während der Förderversuche gemessene Strahlendosis lag immer beträchtlich unterhalb der zulässigen Rate.

Schrifttum

- [1] Ehret, R., H. Vogg u. Y. Dedegil: Radiometrische Bestimmung der Geschwindigkeiten verschiedener Feststoffe im Rohrleitungssystem einer hydraulischen Förderanlage. VDI-Z. Bd. 113 (1971) Nr. 4, S. 261/64.

- [2] *Sauerwein, K. u. R. Hossner*: Investigations of pneumatic and hydraulic conveying of fine coal by tracer methods. Proc. Second United Nations internat. Conf. on the peaceful Uses of Atomic Energy 19 (1958), S. 338/41.
- [3] *Keller, D.L., A.F. El-Saiedi, R.M. Rubin u. H.H. Converse*: Measuring corn-kernel velocities in a pneumatic conveyor by a radioactive tracer technique. Trans. ASAE, Bd. 15 (1972), S. 932/34.
- [4] *Rall, W. u. O. Riedel*: Geschwindigkeitsmessungen an feststoffbeladenen Gasströmen mit brutto-radioaktivierten Testteilchen. Chem.-Ing.-Techn. 37 (1965) Nr. 4, S. 418/22.
- [5] *Montens, A.*: Die Verwendung von Radioisotopen in der Hydrologie und Hydraulik — Teil 1 und 2. Atompraxis 5 (1959) S. 91/93 und 182/87.
- [6] *Gauvin, W.H., I.S. Pasternak, L.B. Torobin u. L. Xaffe*: A radioactive tracer technique for particle velocity measurement in solids — gas systems. The Canadian Journal of Chem.Engng., 1959, June, S. 95/98.
- [7] *Barthels, H.*: Meßverfahren für Zweiphasenströmungen. Chem.-Ing.-Techn. Bd. 40 (1968) Nr. 11, S. 530/37.
- [8] *Vávra, A.*: Geschwindigkeit der Teilchen bei der pneumatischen Förderung — II — Experimentelle Untersuchungen (tschech.). Zemědělská technika Bd. 12 (1966) Nr. 5, S. 251/72.
- [9] *Zabeltitz, Chr. von*: Über die Trennung von Körpern verschiedener Dichte in einem Fließbett. Fortschr.-Ber. VDI-Z., Reihe 14, Nr. 3. Düsseldorf: VDI-Verlag 1966.
- [10] *Beer, M., W. Helbig u. H. Rettig*: Bewegungsuntersuchungen mit radioaktiv markierten Stoffen. Dt. Agrartechnik Bd. 18 (1968) Nr. 6, S. 304/05.
- [11] *Helbig, W. u. E. Scherping*: Messung der Teilchengeschwindigkeit in Rohrleitungen von Fördergebläsen. Dt. Agrartechnik Bd. 20 (1970) Nr. 10, S. 469/71.

Notizen aus Forschung, Lehre, Industrie und Wirtschaft

Persönliches

Drei Tage nach Vollendung seines 60. Lebensjahres verstarb am 2. Februar 1974 *Alois Mengele*, Günzburg. Der Verstorbene trat schon früh in die elterliche Landmaschinenfabrik ein, leitete sie seit 1958 als alleiniger Geschäftsführer und entwickelte die Firma Mengele von der reinen Landmaschinenfabrik zu einem vielseitigen Unternehmen.

Über den Rahmen der Firma Mengele hinaus wirkend, erwarb sich *Alois Mengele* Verdienste durch die Arbeit in deutschen und europäischen Gremien der Landmaschinenindustrie u.a. als Präsident der Landmaschinen- und Ackerschlepper-Vereinigung und als zweimaliger Präsident des Europäischen Komitees der Verbände der Landmaschinenhersteller, C E M A.

Professor Walter G. Brenner †

Am 8. Dezember 1973 verstarb Prof. Dr.-Ing. Dr. agr. h.c. *Walter Gustav Brenner*, em. Ordinarius für angewandte Landmaschinentechnik, früherer Direktor des Institutes für Landtechnik der Technischen Hochschule München in Weihenstephan und Vorstand der angeschlossenen Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik.

Prof. *Brenner*, geboren am 28. Juli 1899 in Münchberg (Oberfranken) wurde in besonderem Maße bekannt durch die Arbeiten zur Entwicklung von für europäische Verhältnisse geeigneten Mähreschern und durch den Aufbau eines landtechnischen Zentrums,

der < Landtechnik Weihenstephan >. Die Arbeiten zur Mährescherentwicklung begannen im Rahmen der RKTL - Mährescher-Karawane im Sommer 1929, manifestierten sich in seiner Habilitationsschrift: "Untersuchungen an Dreschtrommeln u.b.B. der Entwicklung von Kleinmähreschern", Bonn-Poppelsdorf 1932, und wurden besonders fruchtbar während seiner Konstrukteurtätigkeit bei der Maschinenfabrik Gebr. Claas, Harsewinkel, in den Jahren 1933/49 und 1952/55. Die Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn zeichnete 1960 Prof. *Brenner* aus durch die Verleihung der Würde eines Dr. agr.h.c. für "von zielklarer und unbeirrbarer Folgerichtigkeit getragene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete der Landtechnik".

Eine umfassende Würdigung der Arbeiten von Prof. *Brenner* erschien anlässlich seines 70. Geburtstages in den Grundlagen der Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 3. Dieses Heft berichtete zu Ehren von Prof. *Brenner* ausschließlich von den Arbeiten des Institutes und der Landesanstalt für Landtechnik in Weihenstephan.

Dipl.-Ing. *Helmut Fahr*, Vorsitzender des Vorstandes der Maschinenfabrik Fahr AG, Gottmadingen, trat zum 31. Dezember 1973 in den Ruhestand. Zu seinem Nachfolger wurde vom Aufsichtsrat des Unternehmens der seit mehr als fünf Jahren im Vorstand tätige Dipl.-Kaufmann *Manfred Hopf* gewählt.