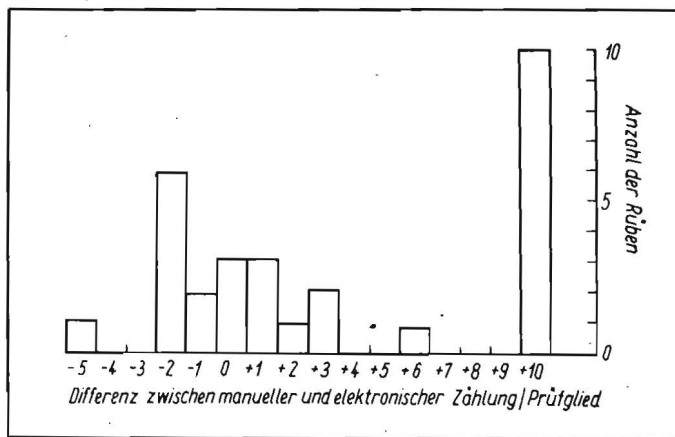


Bild 2. Schema der Meßanordnung für die Zuckerrübenzählung beim Köpfladervorgang mit induktivem Geber bzw. Halbleiter-Dehnungsmeßstreifen

Bild 3. Häufigkeitsverteilung der Differenzen zwischen der parallelen manuellen und elektronischen Zählung der Zuckerrüben im Jahr 1982 (n = 20 Prüfglieder); manuelle Zählung:  $\bar{x} = 40,05$  Rüben, Streuung  $s = 9,18$ ; elektronische Zählung:  $\bar{x} = 40,45$  Rüben (Differenz 0,40), Streuung  $s = 9,44$



manuell und mit der beschriebenen Meßeinrichtung gezählt. Nachdem der Köpflader sachgerecht eingestellt worden war – ansonsten war keine exakte elektronische Zählung möglich –, wurden insgesamt 20 hintereinander folgende Zählungen ausgewertet (Bild 3).

Wie die Ergebnisse zeigen, gab es keine bedeutenden Abweichungen zwischen der manuellen und der elektronischen Zählung. Bei der manuellen Zählung wurden durchschnittlich 40,05 ( $s = 9,18$ ) und bei der elektronischen Zählung 40,45 ( $s = 9,44$ ) Zuckerrüben je Reihe ermittelt. Die Streuung der Meßwerte der Differenzen zwischen der manuellen und elektronischen Zählung betrug  $s = 3,32$ .

Die Wahrscheinlichkeit, daß Abweichungen größer als 10 % auftreten, beträgt 10 % und liegt damit noch im geforderten Bereich.

Bei dem oben beschriebenen Versuchsaufbau erwies es sich als vorteilhaft, daß anhand der Meßstreifen auch eine Klassierung der Zuckerrüben in „kleine Rüben“ (Durchmesser  $\leq 5$  cm) und „große Rüben“ (Durchmesser  $> 5$  cm) vorgenommen werden konnte. Voraussetzung für eine einwandfreie Klassierung der Zuckerrüben ist u. a. das Fahren mit einer annähernd konstanten Geschwindigkeit.

### 5. Schlußbemerkungen

Aus den bisher vorliegenden ersten Ergebnissen kann der Schluß gezogen werden, daß die erprobte Zählung der Zuckerrüben mit Halbleiter-Dehnungsmeßstreifen prinzipiell möglich ist. Entscheidend für eine exakte Zählung der Zuckerrüben ist ein gut eingestellter und funktionierender Köpflader, da die aufgetretenen Fehler bei der Zählung in

erster Linie durch zu hohe Köpflader bzw. durch Verstopfungen am Köpflader auftraten.

### Literatur

- [1] Berndt, K.: Stand und Möglichkeiten der Rationalisierung der Meßwerterfassung und -verarbeitung ausgewählter Etappen der Arbeit in der Zuckerrübenzüchtung im Institut für Rübenforschung Klein Wanzleben. Institut für Rübenforschung Klein Wanzleben, Dissertation B 1982.
- [2] Berndt, K.; Paul, H.-J.; Salzwedel, K.: Vorrichtung zur Zählung von Beta-Rüben. Patentschrift WP 152045 A 01 D/222.708 vom 18. Juli 1980.
- [3] Paul, H.-J.; Henkel, W.: Vorrichtung zur Zählung von Beta-Rüben. Institut für Rübenforschung Klein Wanzleben, Prüfbericht 1982 (unveröffentlicht).

A 3719

## Erprobung eines Laser-Doppler-Anemometers für Strömungsmessungen in der landtechnischen Forschung

Dipl.-Ing. G. Harfensteller, KDT/Dipl.-Ing. E. Voß, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik  
Dipl.-Ing. W. Kröger, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik

### 1. Problem- und Aufgabenstellung

Eine Vielzahl von Förderprozessen in der Landwirtschaft realisiert den Stofftransport durch Wechselwirkungen zwischen strömender Luft und einem Fördergut. Beispiele für deren Anwendung sind Gebläse- und Wurfgebläseanordnungen. Diese zeichnen sich durch folgende Vorteile aus:

- kompakte Bauweise
- hohe mögliche Durchsätze
- variable Linienführung der Förderleitung
- hohe technische Verfügbarkeit.

Demgegenüber ist aber der im Vergleich zu rein mechanischen Förderprinzipien hohe Energieverbrauch als nachteilig zu bewerten. Diesen besonders bei der gegenwärtigen Energiesituation gewichtigen Parameter gilt es zu verbessern.

Es wird eingeschätzt, daß durch die konstruktive Weiterentwicklung der bestehenden Gebläse – wie auch Wurfgebläsekonzeptionen – wesentliche Energieeinsparungen möglich werden [1]. Diese Weiterentwicklung ist empirisch nur begrenzt und kostenaufwendig möglich. Dagegen würde die mathematisch-theoretische Durchdringung

der entsprechenden Fördermechanismen bei einmaligem Aufwand für unterschiedliche Einrichtungen Ansatzpunkte zu deren energetischer Optimierung liefern. Das Beschreiten dieses Weges wurde bislang dadurch erschwert, daß die Charakterisierung der Strömungsverhältnisse meßtechnisch kaum möglich war.

Eine wichtige Meßgröße ist die Luft- und Gutgeschwindigkeit. Dafür eingesetzte Meßverfahren, z. B. bei Kampf [2] und Gluth [3], ermöglichen nur eine grobe räumliche und zeitliche Auflösung in einem relativ großen Geschwindigkeitsbereich. Außerdem wird die Messung der Luftgeschwindigkeit dadurch erschwert, daß das Fördergut für diese Gerätesysteme eine permanente Verschmutzungsgefahr darstellt. Auch neuere Meßverfahren, wie die Hitzdrahtmeßtechnik, können deshalb kaum eingesetzt werden.

Ein anderes indirekt arbeitendes Meßverfahren nutzt gerade die in strömenden Medien vorhandenen oder erst injizierten Verunreinigungen zur Geschwindigkeitsbestimmung aus. Es trägt die Bezeichnung Laser-Doppler-

Anemometer (LDA). Ein derartiges Gerätesystem wurde von der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik, vor allem für Belange der Hydrodynamik (Einsatz im schiffbautechnischen Versuchswesen) entwickelt. In der vorliegenden Arbeit wird über eine Versuchsserie berichtet, die die Einsatzmöglichkeiten dieses Gerätesystems für Messungen von Gut- und Luftgeschwindigkeiten ermitteln sollte.

Einleitend dazu wird das Meßprinzip kurz erläutert, wobei auf die Veröffentlichungen [4, 5, 6] hingewiesen wird.

### 2. Funktionsweise des Laser-Doppler-Anemometers

Das LDA ermöglicht in optisch transparenten Medien eine vektorielle Geschwindigkeitsmessung mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung.

Der Meßeffect wird durch die Lichtstreuung an Teilchen, die sich in der Strömung befinden, erzielt. Das gestreute Licht weicht in seiner Frequenz von der Frequenz des das Teilchen bestrahlenden Laserlichtes ab. Dieser Frequenzunterschied ist auf den Dopp-

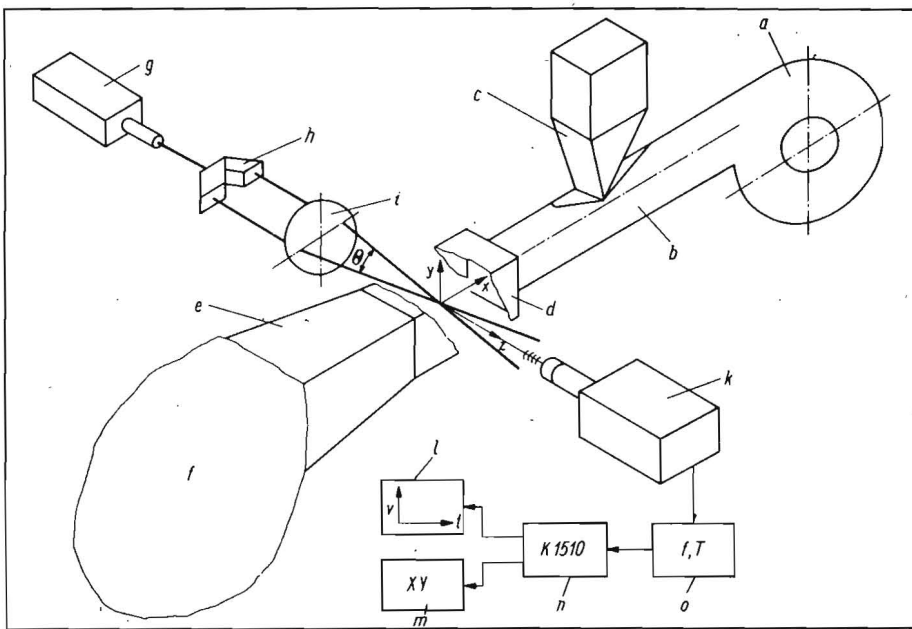


Bild 1. Aufbau des Laser-Doppler-Anemometer-Meßplatzes; a Radialgebläse, b Förderleitung, c Injektorschleuse mit Gutvorratsbehälter, d Meßraum, e Diffusor, f Gutabscheider, g Laser, h Strahlteiler, i Sendeoptik, k Empfänger, l Bildschirmeinheit, m x-y-Schreiber, n Mikrorechner K 1510, o Periodendauermesser

ler-Effekt zurückzuführen und ist damit der Geschwindigkeit des Streuteilchens direkt proportional.

Der grundlegende Aufbau des verwendeten LDA-Meßplatzes ist im Bild 1 dargestellt. Dieses LDA arbeitet nach dem Zweistrahlprinzip (bzw. Differenzstrahlprinzip). Hierbei kann der Meßeffect mit einem Interferenzmodell anschaulich erklärt werden [6].

Ein Laserstrahl wird durch Strahlteiler in zwei Strahlen aufgeteilt. Diese schneiden sich nach Durchtritt der Sendeoptik und bilden mit ihrem Schnittvolumen einen Sensor (Meßvolumen). Durch die Interferenz entstehen innerhalb dieses Volumens Interferenzflächen parallel zur x-y-Ebene in Form von Energiedichteschwankungen. Der Abstand dieser Interferenzflächen  $\Delta x$  hängt nur von der Laserwellenlänge  $\lambda_0$  und dem Schnittwinkel der Laserstrahlen  $\Theta$  ab:

$$\Delta x = \frac{\lambda_0}{2 \sin \frac{\Theta}{2}} \quad (1)$$

Die sich durch dieses Meßvolumen bewegendenden Streuteilchen erzeugen ein Meßsignal (Streulicht), dessen Frequenz  $f_E$  nur vom Abstand der Interferenzflächen und von der x-Komponente der Geschwindigkeit  $V_x$  abhängt:

$$f_E = \frac{2 V_x \sin \frac{\Theta}{2}}{\lambda_0} = \frac{V_x}{\Delta x} \quad (2)$$

Diese durch einen Fotoempfänger aufgenommenen Signale müssen elektronisch erkannt, bezüglich ihrer Verwendbarkeit bewertet und ausgewertet werden. Dazu schließt sich an den Fotoempfänger ein Periodendauermesser und ein speziell für die Meßaufgabe programmierter Mikrorechner K 1510 an. Die x-Komponente der Geschwindigkeit ergibt sich aus der Multiplikation des nach Gl. (2) ermittelten Abstands der Interferenzflächen (vor Versuchsbeginn in den K 1510 als Kalibrierfaktor gespeichert) mit der gemessenen Frequenz  $f_E$ :

$$V_x = \Delta x f_E \quad (3)$$

Der Mikrorechner K 1510 ist mit einer Bildschirmeinheit und einem x-y-Schreiber kopplbar. Er realisiert innerhalb des Gerätesystems folgende Aufgaben:

- zyklische Abfrage des Periodendauermessers
- Darstellung einer Statistik der Periodenzahlen (Anzahl der durch ein Streuteilchen geschnittenen Interferenzflächen)
- Darstellung der Dichtefunktion der Geschwindigkeiten
- Darstellung des Zeitverlaufs der Geschwindigkeiten
- Berechnung des Mittelwerts  $\bar{V}_x$  und der Standardabweichung  $\sigma_{V_x}$  der Geschwindigkeit
- Darstellung der Ergebnisse ( $\bar{V}_x$ ,  $\sigma_{V_x}$ ) einer Meßreihe, z. B. als  $\bar{V}_x(y)$ .

Bisher wurde dieses Gerätesystem hauptsächlich zur Ermittlung von Strömungsgeschwindigkeiten in Einphasenströmungen eingesetzt. Prinzipiell ist aber auch ein Einsatz in Mehrphasenströmungen möglich, da die Amplitude der Meßsignale signifikant von der Größe der Streuteilchen abhängt. So kann ein bestimmter Amplitudenbereich einer Phase zugeordnet werden. Das gilt hauptsächlich dann, wenn die Phasen sich nur durch ihre Teilchengröße unterscheiden.

So folgen kleinste Streuteilchen (Durchmesser von 0,5 bis 50  $\mu\text{m}$ ) der Strömung nur mit geringem Schlupf oder praktisch schlupflos. Deren Meßsignale mit geringer Amplitude ergeben bei nur geringem systematischen Fehler die Geschwindigkeit des umgebenden Mediums (z. B. Luft, Wasser). Wird eine zweite Phase der Strömung durch große Streuteilchen gebildet, so wird deren Geschwindigkeit aufgrund der wesentlich größeren Signalamplitude ermittelbar.

### 3. Versuchsaufbau

Ziel der experimentellen Untersuchungen war es, in Testversuchen die Anwendbarkeit des LDA-Gerätesystems für Luftströmungen

und speziell für Zweiphasenströmungen nachzuweisen. Dementsprechend wurde eine Versuchsanlage erstellt (Bild 1). Sie besteht aus einem Radialgebläse, der Förderleitung mit Injektorschleuse und Gutvorratsbehälter, einem beidseitig verglasten Meßraum, dem Diffusor und einem Gutabscheider. Der Antrieb des Radialgebläses erfolgte wahlweise durch einen Wechselstrom-Doppelschlußmotor oder einen Gleichstrommotor. Letztere Antriebsart ermöglichte in Verbindung mit einem Stellgleichrichter unterschiedliche Lüfterdrehzahlen und damit verschiedene Luftgeschwindigkeiten im Meßraum. Die optische Strecke des LDA-Gerätesystems ruhte auf einer Trapezführung, die auf zwei Stützen unterhalb des Meßraums angebracht wurde. Parallel zur bereits erläuterten LDA-Meßtechnik wurde die Strömungsgeschwindigkeit der Luft mit Hilfe eines Prandtl'schen Staurohrs bestimmt.

Um Zweiphasenströmungen zu erzeugen, wurden der Luftströmung durch die Injektorschleuse während einer Versuchsreihe verkleinerte Pellets und während weiterer Versuche angewelltes Wiesengras zugegeben.

### 4. Auswertung der experimentellen Untersuchung

Zu Beginn der Untersuchungen wurden mit dem LDA-Gerätesystem bei reiner Luftförderung die Strömungsgeschwindigkeiten ermittelt. Anfangs reichte die Streuteilchenkonzentration der Umgebungsluft nicht aus, um eine genügend große Signalarate zu erzielen. Nach leichter Beladung der Luft mit Kreidestaub ( $\text{CaCO}_3$ ) wurde diese wesentlich erhöht. Eine weiteres Problem stellte der Meßbereich dar. Ausgelegt bis maximal 10 m/s, konnte dieser durch Auswechseln des Strahlenteilers bis auf 20 m/s erweitert werden. Der Vergleich mit den Geschwindigkeitswerten, die mit einem Prandtl'schen Staurohr ermittelt wurden, zeigt Übereinstimmung. So konnte mit den durchgeführten Versuchen die Eignung des Gerätesystems für Luftströmungen nachgewiesen werden. Daraufhin erfolgten Messungen in Zweiphasenströmungen. Für das verwendete Gerätesystem war noch keine Trennung der Meßsignale nach der Größe der Amplitude realisiert worden. So konnte eine für jede Phase separate Signalauswertung nicht erfolgen (s. Abschn. 3). Es wurde deshalb versucht, durch Vergrößerung der Wichtung höherer Signalamplituden (Verringerung der Verstärkung am Fotoempfänger) besonders die Geschwindigkeit der zweiten Phase (Halmgut) zu messen. Aufgrund des diskontinuierlichen Betriebs des Fördersystems der Versuchseinrichtung stellten sich keine quasistationären Bedingungen ein, wodurch die Gewährleistung wiederholbarer quantitativer Ergebnisse unmöglich wurde. Weiterhin reichten die durch die Injektorschleuse zugeführten Halmgutmengen nicht aus, um eine große Anzahl von Meßwerten der Halmgutgeschwindigkeit zu erzielen. Das beruhte hauptsächlich auf Mängeln im Versuchsaufbau.

Bei kontinuierlich hohen Gutdurchsätzen wäre aus der Darstellung der Dichtefunktion der gemessenen Werte die Geschwindigkeitsermittlung für beide Phasen möglich. Es zeigen sich dann in der z. B. mit Hilfe des x-y-Schreibers aufgezeichneten Dichtefunktion zwei Maxima, woraus grafisch oder

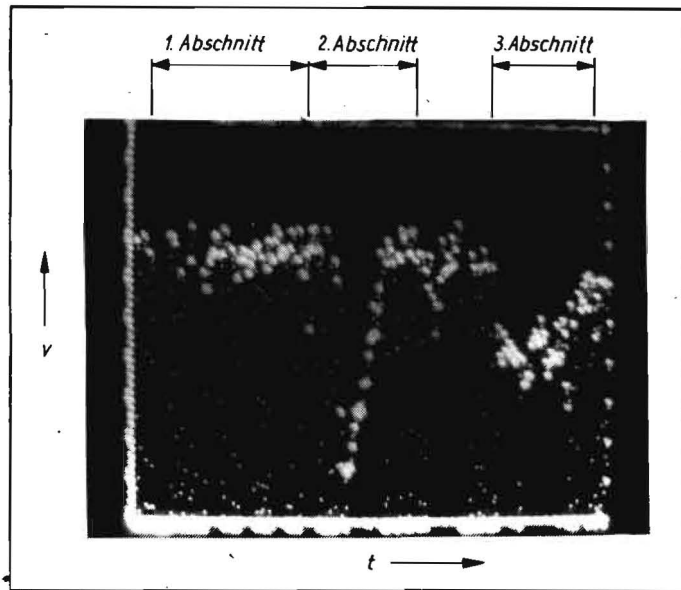


Bild 2  
Zeitverlauf der Geschwindigkeitswerte der Gutwolkenförderung (Aufnahme vom Bildschirm des LDA-Gerätesystems)

barkeit der LDA-Meßtechnik sowohl für die reine Luftströmung wie auch für komplizierte Zweiphasenströmungen innerhalb der landtechnischen Forschung nachgewiesen werden.

## 5. Zusammenfassung

Einen begrenzenden Faktor bei der mathematisch-theoretischen Durchdringung der Fördermechanismen in Gebläse- und Wurfgebläsekonzeptionen stellt das Fehlen geeigneter Meßverfahren zur Charakterisierung der Strömungsverhältnisse dar. Mit dem Laser-Doppler-Anemometer wird deshalb ein Meßverfahren vorgestellt, das potentiell Geschwindigkeiten bei komplizierten Strömungsverhältnissen meßbar macht. Nach der Erläuterung von in ersten Versuchen gewonnenen Erfahrungen werden notwendige Entwicklungsrichtungen für eine weitere verbesserte Anwendung diskutiert.

## Literatur

- [1] Harfensteller, G.: Theoretische Untersuchungen zur Wurf Förderung von gehäckseltem Halmgut. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1983 (unveröffentlicht).
- [2] Kampf, G.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Wurfgebläsen. VDI-Forschungsheft 466, Düsseldorf 1958.
- [3] Gluth, M.: Untersuchungen zur Wurfgebläseförderung. VDI-Forschungsheft 544, Düsseldorf 1971.
- [4] Albrecht, H.-E.; Boeck, E.; Kröger, W.: Berührungslose Strömungsmessung mit dem Laser-Doppler-Interferometer-Meßprinzip und Signalstrahler. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 28 (1979) 10, S. 1021-1025.
- [5] Kröger, W.; Albrecht, H.-E.; Fuchs, W.: LDA-Meßplatz zur seriellen Mehrkomponentenmessung mit mikrorechnergekoppeltem Periodendauermesser. messen-steuern-regeln, Berlin 26 (1983) 3, S. 1027-1030.
- [6] Albrecht, H.-E.; Fuchs, W.; Kröger, W.; El-Dandousk, S.; Puls, D.: Entwicklung, Erprobung und Anwendung eines Laser-Doppler-Anemometers für Strömungsmessungen im Kavitationskanal. Schiffbau Forschung, Rostock 22 (1983) 2, S. 75-86 A 3853

rechnerisch die Mittelwerte für die einzelnen Geschwindigkeiten ermittelbar werden. Tendenziell ergaben das auch die Versuche. Ausnahmslos enthalten alle aus den Messungen in Zweiphasenströmungen hervorgegangenen Dichtefunktionen kein ausgeprägtes Maximum entsprechend einer Gaußschen Normalverteilung wie bei reiner Luftströmung. Um das zeitliche Auflösungsvermögen und die Wirkung kurzzeitig auftretender hoher Halmgutdurchsätze zu untersuchen, wurde durch stoßweise Zufuhr von Halmgut eine Gutwolkenförderung simuliert. Bild 2 zeigt den Zeitverlauf eines derartigen Versuchs. In die Ordinate des Koordinatensystems geht die momentane Geschwindigkeit und in die Abszisse die Zeit ein. Meßpunkte in diesem Bild sind nur die großen hellen Punkte, wobei die zahlreichen sehr kleinen Punkte eine durch die Arbeitsweise des Bildschirms entstehende Randerscheinung darstellen.

Der erste Abschnitt des Zeitverlaufs zeigt das breite Meßband einer Zweiphasenströmung. Im zweiten Abschnitt wird stoßweise eine

größere Gutmenge zugeführt, so daß sich zunächst eine Art Pfropfen bildet. Die Strömung wird dadurch gedrosselt. Daraufhin wird der Pfropfen (Gutwolke) stark beschleunigt und nähert sich unter ständiger Ablösung einzelner Bestandteile dem Meßraum. Dabei kann eine fast vollständige Auflösung erfolgen, die für diesen Abschnitt des Zeitverlaufs angenommen wird. Hingegen wird für den dritten Abschnitt angenommen, daß die Punktwolke unterhalb der vorherigen mittleren Geschwindigkeit den Durchgang einer kaum aufgelösten Gutwolke signalisiert. Das sind natürlich vorerst Hypothesen über die Geschwindigkeitsverläufe bei Gutwolkenförderung, die durch wiederholte Messungen und eventuell parallele Filmaufnahmen mit einer Hochfrequenzkamera bestätigt oder abgelehnt werden müssen. Damit ergibt sich nicht nur für die Weiterentwicklung des LDA-Gerätesystems, sondern auch für die wissenschaftliche Begründung der Auswertung seiner Meßergebnisse ein breites Betätigungsfeld. Prinzipiell konnte aber durch die ersten Versuche die Anwend-

## Erste Pilotanlage zur Unterflurbewässerung in Betrieb

Eine vollautomatisierte Anlage zur Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen wurde an der Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock in Zusammenarbeit mit anderen Sektionen entwickelt. Bei der Anlage erfolgt die Wasserzuführung durch erdgestützte dehnbare Druckrohre oder durch direkt im Erdboden verlegte Röhren (Unterflurbewässerung). Kernstück der Anlage sind Mikroprozessoren, die die erforderliche Wassermenge nach einem vorgegebenen Programm - welche Flächen in welcher Reihenfolge wie oft und wie stark bewässert werden müssen - automatisch regulieren. Die gefundenen neuen technischen Lösungswege zur Bodenwasserregulierung sollen nicht nur für die intensive DDR-Landwirtschaft von großer Bedeutung sein, sondern

auch für Länder des Nahen und Fernen Ostens sowie Südamerikas, wo eine Erweiterung der Ackerfläche weitgehend von der Bewässerung des Bodens abhängt, und das wenn möglich, mit geringstem Aufwand an Technik und Energie.

In der DDR sind z. Z. zwei Pilotanlagen zur Unterflurbewässerung in Betrieb, eine in der LPG Lütten Klein und eine in der Obstversuchstation Kringelhof des Instituts für Obstforschung der AdL der DDR. Beide Anlagen haben sich in den beiden heißen, trockenen Sommern 1982 und 1983 bereits gut bewährt und zu Ertragssteigerungen geführt. Weitere derartige Pilotanlagen wurden 1983 auch in Szarvas (UVR) aufgebaut, eine weitere soll 1984 in Kuwait entstehen.

(ADN)