

# Wirkungsweise von Fluidiks und ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Landtechnik

Von Hermann Reuschenbach, München \*)

DK 62 - 52:62 - 525:631.3

Die Entwicklung der Fluidik und Pneumatik bei industriellen Anwendungen läßt diese Technik auch für landwirtschaftliche Aufgaben interessant erscheinen. Am Beispiel der Wandstrahlelemente ist gezeigt, daß mit ihnen alle bekannten Schaltungs- und Logikfunktionen realisiert werden können. Wichtig sind dabei die peripheren Geräte, für die zahlreiche Ausführungsformen zur Verfügung stehen. Als berührungslose Fühler insbesondere für Pflanzen können Luft- und Ultraschallschranken geeignet sein. Ein digitales hydropneumatisches Positioniersystem, eine pneumatische Steuerung für Rübenvereinzelmaschinen und ein Fluidik-gesteuerter Pulsator für Melkanlagen sind weitere Beispiele, an denen die Anwendung von Fluidiks in der Landtechnik demonstriert werden kann.

## 1. Allgemeines

Der Begriff < Fluidik > umfaßt im weitesten Sinne das ganze Gebiet der logischen Schaltungen und Signalverarbeitung mit Hilfe von pneumatischen und hydraulischen Geräten einschließlich der Ein- und Ausgabe von Signalen. Von besonderer Bedeutung sind dabei luftbetriebene Elemente mit digitalem Schaltverhalten, die seit etwa zehn Jahren die pneumatische Steuerungstechnik weitgehend beeinflußt haben.

In der industriellen Fertigung und Verfahrenstechnik wird Druckluft als Energie- und Informationsträger in vielen Bereichen unter härtesten Bedingungen erfolgreich eingesetzt. Dabei ist der Anteil der Fluidiks am Gesamtumsatz von pneumatischen und hydraulischen Anlagen in den letzten Jahren ständig gestiegen. Es lag also nahe, diese neue Technik auch auf ihre Brauchbarkeit für die landwirtschaftliche Produktion zu untersuchen, vor allem in Hinblick auf zukünftige Automatisierungsaufgaben. Wegen der unterschiedlichen Betriebsverhältnisse und Aufgabenstellungen lassen sich aber Systeme, die sich auf anderen Gebieten bewährt haben, nicht immer ohne weiteres in die Landtechnik übertragen, sondern müssen von Fall zu Fall den jeweiligen Anforderungen angepaßt werden. Insbesondere sind Umgebungseinflüsse zu berücksichtigen, wie extreme Temperaturen, Feuchtigkeit, Verschmutzungsgefahr und dgl.

\*) Dipl.-Ing. Hermann Reuschenbach ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landmaschinen (Direktor: o. Prof. Dr.-Ing. W. Söhne) der Technischen Universität München.

## 2. Grundlagen und Funktion

### 2.1 Logikbausteine

Die Vielzahl von Bauarten und unterschiedlichen Wirkungsmechanismen von pneumatischen Logikelementen läßt sich in zwei Gruppen aufteilen [1]:

- Statische Elemente, die bewegte Teile wie Kolben, Folien oder Membranen enthalten und teilweise miniaturisierten konventionellen Ventilen entsprechen.
- Dynamische Elemente, die auf der gegenseitigen Beeinflussung von Luftstrahlen basieren und daher einen ständigen Durchfluß benötigen.

An einem Beispiel aus der zweiten Gruppe, dem Wandstrahlelement, soll zunächst das strömungsmechanische Prinzip sowie der prinzipielle Aufbau zur Erzielung der verschiedenen logischen Funktionen dargestellt werden. Dabei wird der sog. "Coanda-Effekt" benutzt, der in Bild 1 verdeutlicht wird [2]:

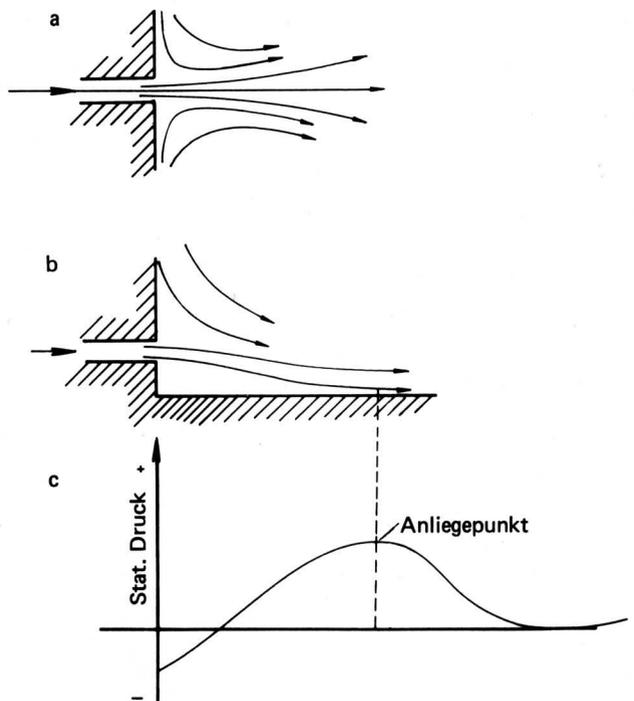


Bild 1. Coanda-Effekt.

Bei einem frei austretenden turbulenten Strahl werden aus der Umgebung Luftteilchen angesaugt und stromabwärts mitgerissen (a). Wenn parallel zum Strahl eine Wand angebracht ist, wird diese Luftzufuhr behindert und eine Unterdruckzone gebildet, so daß der Strahl zur Wand hin abgelenkt wird und daran haften bleibt (b). Bei (c) ist der Verlauf des statischen Drucks entlang der Wand dargestellt. Auf diesem Effekt beruht die Wirkungsweise der Wandstrahlelemente, **Bild 2**. Auf der rechten Seite sind die Strömungskanäle schematisch abgebildet und links die tatsächlichen Konturen, die meist auf fotomechanischem Wege – ähnlich wie gedruckte Schaltungen – in Kunststoff oder Metallplatten eingearbeitet werden. Beim OR/NOR-Element (Bild 2 oben) sind die Kanäle so ausgebildet, daß der turbulente Luftstrahl, der von außen unter dem statischen Druck  $p_s$  zugeführt wird, sich an der rechten Wand (in Strömungsrichtung gesehen) anlegt und am Ausgang  $O_2$  ein Druck- oder Durchflußsignal erzeugt. Wird einer der Steuerkanäle  $C_1$  oder  $C_2$  mit einem Steuerdruck beaufschlagt, verschwindet der im Bild 1 c gezeigte Unterdruck an der Wand. Dadurch wird die Wandhaftung aufgehoben und der Luftstrahl erscheint im Ausgang  $O_1$ . Damit ist die logische ODER-Bedingung erfüllt, d.h. ein Signal am Ausgang  $O_1$  erscheint dann, wenn  $C_1$  oder  $C_2$  oder beide Eingangssignale vorhanden sind. Der Ausgang  $O_2$  liefert die NOR-Funktion (= NICHT-ODER), weil hier nur dann ein Signal erscheint, wenn weder  $C_1$  noch  $C_2$  einen Steuerdruck führen. Wenn nur einer der beiden Steuereingänge, z.B.  $C_2$ , benutzt wird, ist am Ausgang  $O_2$  die NICHT-Bedingung erfüllt, d.h.  $O_2$  wird nur dann wirksam, wenn  $C_2$  nicht vorhanden ist, und umgekehrt. Druck und Durchfluß an den Steuereingängen können wesentlich kleiner sein als die Ausgangssignale; damit wird also immer eine Signalverstärkung erzielt. Je nach Bauart des Elements können bis zu sieben verschiedene Eingangssignale verknüpft werden.

Die mittlere Abbildung in Bild 2 zeigt das Schema eines UND-Elements: Der Ausgang  $O_1$  führt nur dann ein Signal, wenn beide Eingänge  $C_1$  und  $C_2$  gleichzeitig beaufschlagt sind. Andernfalls können die Steuerströme ins Freie abblasen. Entsprechend erfüllt der Ausgang  $O_2$  die NAND-Bedingung (= NICHT-UND). Die nachfolgende "Wahrheitstabelle" zeigt für die einzelnen Elemente die verschiedenen Eingangskombinationen mit den zugehörigen Ausgangswerten; dabei bedeutet: "0" = nicht vorhanden; "1" = vorhanden

OR:	$C_1$	$C_2$	$O_2$	NOR:	$C_1$	$C_2$	$O_1$
	0	0	0		0	0	1
	0	1	1		0	1	0
	1	0	1		1	0	0
	1	1	1		1	1	0

AND:	$C_1$	$C_2$	$O_2$	NAND:	$C_1$	$C_2$	$O_1$
	0	0	0		0	0	1
	0	1	0		0	1	1
	1	0	0		1	0	1
	1	1	1		1	1	0

Die beiden unteren Abbildungen in Bild 2 zeigen ein bistabiles Schaltelement mit Speicher-Funktion, in der Fluidik-Sprache meist Flip-Flop genannt. Wegen des symmetrischen Aufbaus bleibt der jeweilige Schaltzustand auch ohne Eingangssignal erhalten. Wenn z.B. der Ausgang  $O_1$  belegt ist und am Eingang  $C_1$  ein Steuerimpuls erscheint, wird der Ausgang auf  $O_2$  geschaltet und bleibt dort weiterhin stehen, auch wenn  $C_1$  wieder Null wird. Über einen Steuerimpuls am Eingang  $C_2$  kann das Ausgangssignal auf dieselbe Art wieder zurückgeschaltet werden. Mit diesem Element lassen sich also kurzzeitige Signale beliebig lange speichern.

Dazu noch einige wichtige Daten von Wandstrahlelementen:

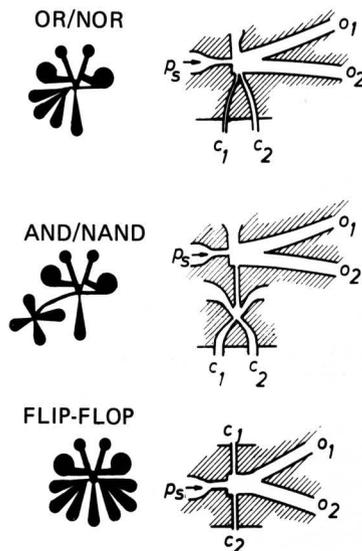
Versorgungsdruck:  $p_s = 30 \div 700$  mbar  
 Steuerdruck:  $p_c = 0,08 \cdot p_s$   
 Umschaltzeit:  $t_s = 0,8 \div 1,5$  ms  
 fan out:  $2 \div 4$

(= Anzahl von nachfolgenden Elementen, die von einem Ausgangssignal gleichzeitig ohne Zwischenverstärkung angesteuert werden können)

maximale Eingangsfrequenz  
 bei Zählstufen: ca. 300 Impulse/s  
 Luftverbrauch:  $0,4 \div 1,5$  l/min

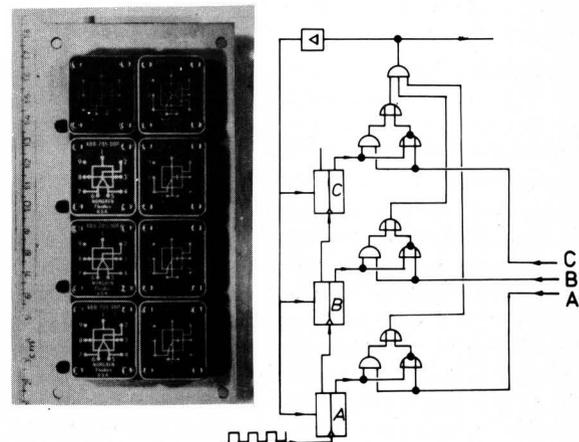
## 2.2 Schaltungen

Mit den oben beschriebenen Grundelementen können alle logischen Verknüpfungen realisiert werden, sofern die Eingangsbedingungen in Form eines Druckes vorliegen. Es lassen sich darüber hinaus weitere komplexe Schaltungsfunktionen mit diesen Grundelementen aufbauen, wie z.B. Impulsgeneratoren, binäre Zähl-schaltungen, Zeit- und Verzögerungsglieder, Schieberegister, Dekodierungssysteme und dgl. Bei verschiedenen Herstellern sind die wichtigsten Grundsaltungen jeweils in einem Baustein integriert.



**Bild 2.** Wandstrahl-Elemente.

links: Silhouetten  
 rechts: Schema der Strömungskanäle



**Bild 3.** Zähl- und Vergleichsschaltung.

rechts: Logikschaltplan  
 links: tatsächlicher Aufbau

Die einzelnen Bauelemente sind üblicherweise auf festen Trägerplatten montiert und werden entweder durch Kanalplatten oder dünne Schlauchleitungen miteinander verknüpft. Bild 3 zeigt als Beispiel eine Zähl- und Vergleichsschaltung, die Eingangssignale in Form von Druckimpulsen registriert und bei Erreichen einer beliebig einzustellenden Binärzahl ABC ein Ausgangssignal abgibt. Links im Bild ist der tatsächliche Aufbau mit Elementbausteinen zu sehen, rechts der zugehörige Logikschaltplan.

### 2.3 Sensoren und Verstärker

Von entscheidender Bedeutung für die Anwendung und Funktion fluidischer Schaltungen sind die Peripherie-Geräte, also alle Systeme für die Ein- und Ausgabe, Anzeige, Umwandlung und Verstärkung von Signalen. Dazu ist für die verschiedensten Einsatzgebiete eine ständig wachsende Auswahl an neuentwickelten Bauelementen vorhanden, wie etwa berührungslose Näherungsfühler, Luftschranken, pneumatische Ultraschallsensoren, Drehzahl- und Temperaturegeber, Lochstreifenlesegeräte, Grenzwertschalter, Verstärker, elektro-pneumatische Wandler und dgl. [3]. Bild 4 zeigt als Beispiel die schematische Anordnung und das Schnittbild eines Druck- und Durchflußverstärkers mit einer Ansprechzeit von etwa  $10 \div 20$  ms und einem Verstärkungsfaktor von etwa 1000. Das Gerät besteht aus einem Membranverstärker nach dem Düse-Prallplatte-Prinzip und einem vorgesteuerten 3/2-Wegeventil. Für die Kombination von Fluidik-Schaltungen mit hydraulischen Steuerungen stehen fluidisch betätigte Hydroventile zur Verfügung.

Am Institut für Landmaschinen der TU München wurden einige der genannten Geräte speziell für landwirtschaftliche Anwendungsfälle untersucht und weiterentwickelt und sind bei den folgenden Beispielen näher beschrieben [4, 5].

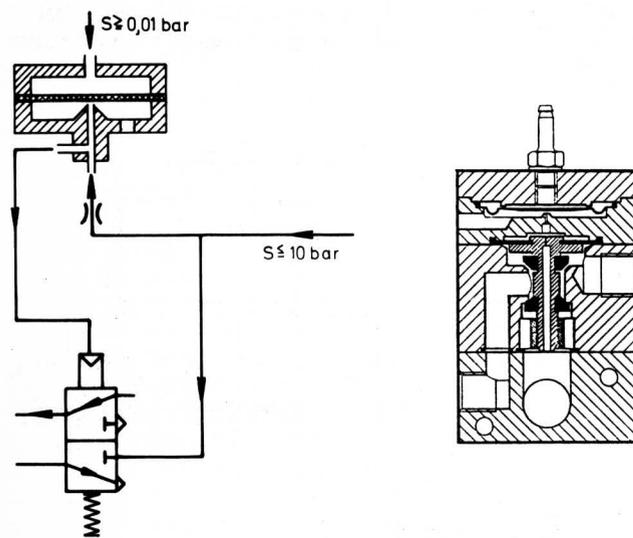


Bild 4. Fluidik-Verstärker.

## 3. Anwendungsbeispiele

### 3.1 Luftschranke

Bild 5 zeigt den Aufbau einer Luftschranke, die insbesondere zum Abtasten von empfindlichen Pflanzen geeignet ist. Anwendungsfälle dafür sind u.a. die selektive Rübenvereinzelnung oder die gezielte Applikation von Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln. Die in Bild 5 gezeigte Ausführung enthält einen Hauptluftstrahl (a), der wiederum von einem kleineren querliegenden Steuerstrahl (b) abgetastet wird. Sobald ein durchlaufender Gegenstand den Hauptstrahl unterbricht, kann der Steuerstrahl in der Fangdüse (c) und der Ausgangsleitung (d) einen Staudruck aufbauen, der z.B. wie hier in einem bistabilen Schaltelement (e) gespeichert werden kann. Die Gegenstrahl-Anordnung, d.h. die zusätzliche Luftzuführung in die Fangdüse, verhindert das Eindringen von Fremdkörpern in die Signalleitungen des Systems. Für verschiedene streifenförmige Probekörper, mit denen unterschiedlich große

Pflanzen simuliert wurden, ist in Bild 6 die höchstzulässige Durchlaufgeschwindigkeit dargestellt, also die Geschwindigkeit, bei der noch ein sicheres Schaltsignal erreicht wurde. Demnach wird z.B. ein 10 mm breiter Gegenstand bei einer Geschwindigkeit von 2,7 m/s (ca. 10 km/h) noch registriert. Die Messungen gelten für eine freie Durchgangsbreite von 120 mm zwischen der Hauptstrahl-Düse und dem Gehäuse des Steuerstrahls.

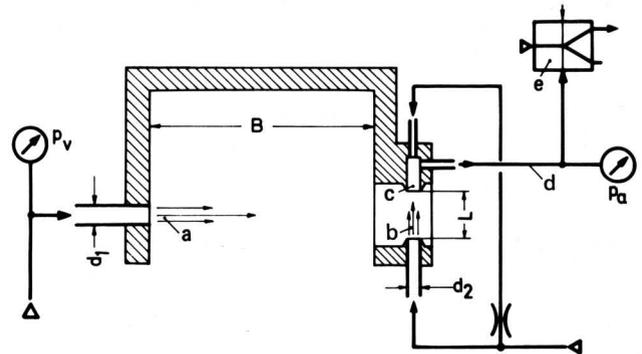


Bild 5. Luftschranke

a Hauptstrahl  
b Steuerstrahl  
c Fangdüse  
d Ausgangsleitung  
e Speicherelement

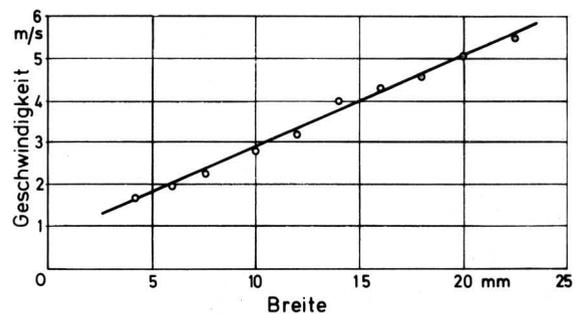


Bild 6. Zulässige Durchlaufgeschwindigkeit von Gegenständen verschiedener Breite an einer Luftschranke.

Beim praktischen Einsatz auf dem freien Feld kann der Hauptstrahl u.U. durch Windbeeinflussung so gestört werden, daß Fehlschaltungen auftreten. Daher muß die Strahlgeschwindigkeit genügend groß sein; andererseits aber dürfen empfindliche Pflanzen nicht beschädigt werden. Bei optimaler Abstimmung aller Einflußgrößen läßt sich der Versorgungsdruck des Hauptstrahls, und damit auch Strahlgeschwindigkeit und Luftverbrauch, relativ niedrig halten, ohne daß die Funktionssicherheit des Fühlers beeinträchtigt wird, z.B. 0,1 bar bei einer Windgeschwindigkeit von 20 km/h (bei 4 mm Strahldurchmesser und 100 mm Durchgangsbreite).

### 3.2 Ultraschallfühler

Für ähnliche Anwendungsfälle lassen sich auch Ultraschall-Schranken einsetzen, die wesentlich größere Abstände überbrücken können und relativ unempfindlich gegen äußere Störungen sind. Derartige Geräte bestehen aus einem schallempfindlichen "Empfänger" und einem Ultraschallsender im Frequenzbereich  $20 \div 50$  kHz, in der Regel eine spezielle Pfeife, die mit Druckluft betrieben wird. In Bild 7 ist ein Schema der Anlage gezeigt. Der Empfänger nutzt den Effekt, daß ein frei austretender laminarer Luftstrahl unter gewissen Voraussetzungen turbulent wird, wenn er unter der Einwirkung von hochfrequenten Schallwellen steht [6, 7]. Damit ist eine Veränderung des Geschwindigkeitsprofils im Strahl und eine Verringerung des Staudruckes verbunden, der in einer kleinen Fangdüse gemessen wird ( $p_2$ ). Wenn ein durchlaufender Gegenstand die Schallwellen abschirmt, steigt der Staudruck abhängig

von der Größe des Körpers wieder um einen gewissen Betrag an, der zu einem eindeutigen Signal umgeformt werden muß. Bei der untersuchten Anlage wurde dafür ein Grenzwertschalter benutzt, der auf Druckerhöhungen von 0,7 – 0,8 mbar anspricht. Damit lassen sich noch Gegenstände ab ca. 4 mm Durchmesser bei einem Sender-Empfänger-Abstand von 0,4 m erfassen. Bild 8 zeigt den zeitlichen Verlauf der Drucksignale bei einem kurzen Schaltvorgang, (a) den Anstieg des Staudrucks im Empfänger, (b) den Ausgangsimpuls des Grenzwertschalters und (c) den Ausgang eines nachfolgenden Speicher-Elements.

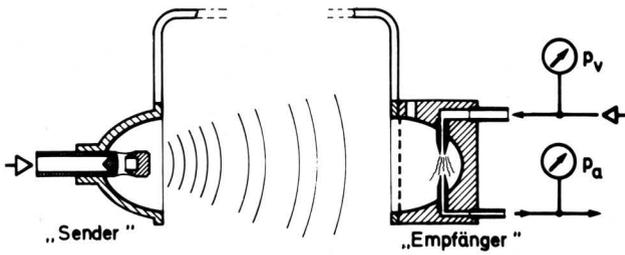


Bild 7. Pneumatische Ultraschall-Schranke.

$p_v$  Versorgungsdruck  
 $p_a$  Ausgangssignal

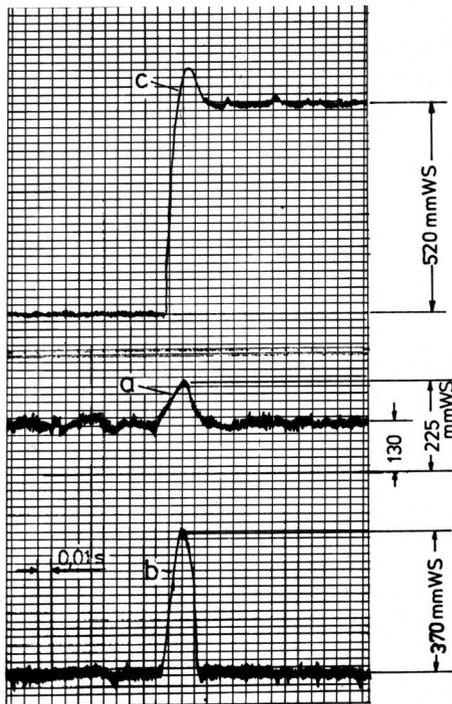


Bild 8. Ausgangssignale eines Ultraschallfühlers.

a Ausgangsdruck des Empfängers  
 b Druckimpuls des Grenzwertschalters  
 c Ausgang eines Speicher-Elements

Bild 9 zeigt eine Kombination von zwei Ultraschallschranken zur Messung von Abständen, z.B. für seitliche Abweichungen an einer Pflanzenreihe bei Regelungssystemen für eine automatische Nachführung. Beim Durchlaufen der beiden Schranken werden nacheinander zwei Signale ausgelöst, deren Zeitabstand dem seitlichen Abstand der Pflanze von einem festen Bezugspunkt proportional ist. Daraus läßt sich eine von der Fahrgeschwindigkeit unabhängige digitale Meßgröße gewinnen, wenn während der Durchlaufzeit eine Zählung für Rechteckimpulse freigegeben wird, die durch die Drehung eines Stützrades der Maschine gebildet werden und somit kurzen Wegintervallen entsprechen.

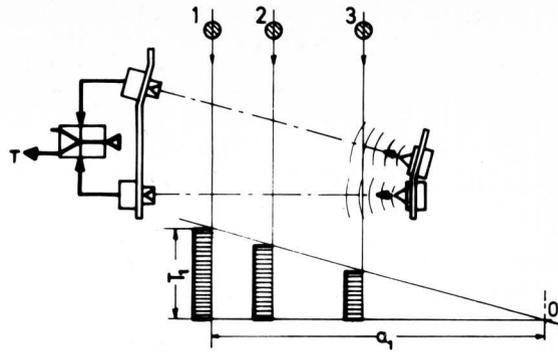


Bild 9. Ultraschallfühler für die Messung von Abständen.

### 3.3 Positioniersystem

Der Ausgangsdruck einer Fluidik-Schaltung kann einen konventionellen Druckluft-Zylinder naturgemäß nur in zwei Stellungen schalten. Wenn der Kolbenhub mit mehreren Zwischenstellungen gesteuert werden soll, kann das in Bild 10 gezeigte hydropneumatische digitale Positioniersystem eingesetzt werden. Das Eingangssignal muß im Code des binären Zahlensystems vorliegen. Dabei ist für jede Binärstelle ein Verstärkervertil mit einem nachfolgenden Dosier-Zylinder vorgesehen. Sobald eine Eingangsleitung mit einem Drucksignal belegt ist, wird der Sperrkolben verschoben und damit eine bestimmte Ölmenge über eine Sammelleitung dem Hydraulikzylinder zugeführt. Die Hubvolumen der einzelnen Dosierzylinder sind im Verhältnis 1 : 2 : 4 : 8 usw. gestaffelt; dadurch sind z.B. bei einer vierstelligen Binärzahl, wie hier, 16 Kombinationen, d.h. 16 verschiedene Stellungen möglich. Mit dieser Anlage läßt sich also eine digitalisierte Meßgröße in einen entsprechenden Zylinderhub umsetzen.

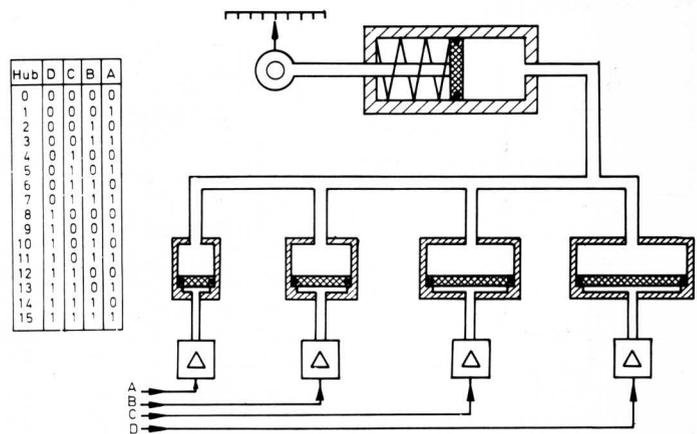
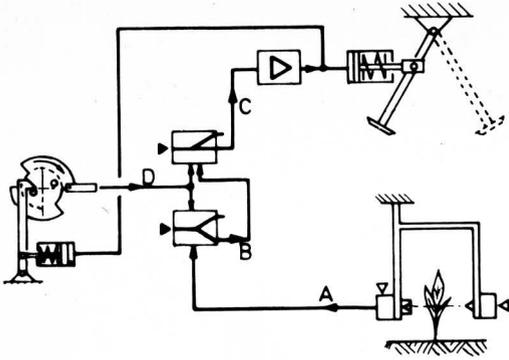


Bild 10. Digitales Positioniersystem.

### 3.4 Steuerung einer Rübenvereinzlungsmaschine

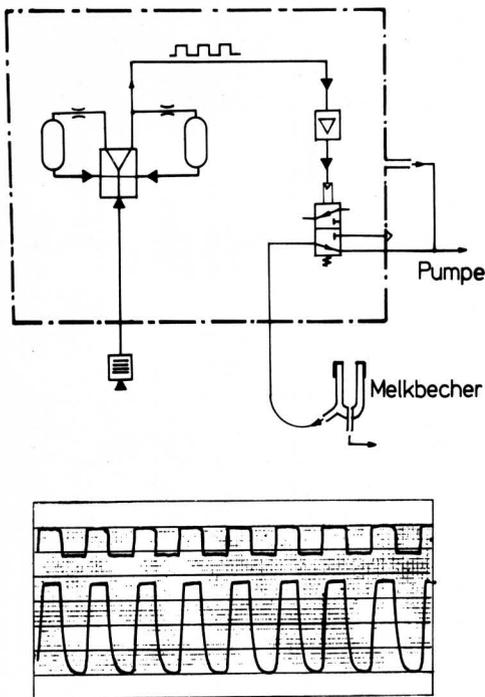
In Bild 11 ist schematisch der Geräteschaltplan für eine selektiv arbeitende Rübenvereinzlungsmaschine dargestellt. Als Fühler für die Position der Pflanzen kann eine Luft- oder Ultraschallschranke vorgesehen werden. Da der Fühler dem Hackmesser vorausläuft, ist eine Wegmeßeinrichtung für die Steuerung der richtigen Hacklänge erforderlich. Dazu dient hier eine Steuerscheibe, die vom Stützrad der Maschine angetrieben und pneumatisch abgetastet wird. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß sich die Hacklänge vor einer Lücke im Pflanzenbestand selbsttätig verkürzt, wenn dadurch eine zusätzliche Pflanze ausgespart wird. Auf diese Weise kann eine Vergrößerung der Lücken im Bestand vermieden werden, die bei gleichbleibender Hackweite häufig nicht zu umgehen ist.



**Bild 11.** Pneumatische Steuerung einer Rübenvereinzelmachine.

### 3.5 Pulsator-Steuerung

Moderne Melkanlagen haben heute vielfach elektronische Impulsgeber, die über Magnetventile die Unterdruck-Pulsation im Melkzeug steuern. Analog zu diesem Prinzip arbeitet auch eine fluidische Pulsator-Steuerung, **Bild 12**. Als Impulsgeber dient ein bistabiles Schaltelement, dessen Ausgänge über Verzögerungsglieder (Drossel und Volumen) rückgekoppelt sind und dadurch einen alternierenden Rechteck-Impuls liefern. Damit läßt sich über eine Verstärkerstufe ein Vakuum-Ventil schalten. **Bild 12** zeigt den Aufbau der Schaltung sowie den Verlauf der Druckpulsation mit den



**Bild 12.** Pulsator-Steuerung.

oben: Schaltung  
unten: Steuerimpulse und Druckverlauf

zugehörigen Steuerimpulsen. Die Schaltung ist besonders geeignet für milchflußgesteuerte Melkanlagen, da die Pulsfrequenz durch Verstellung der Verzögerungsglieder leicht variiert werden kann [8]. Bei der abgebildeten Anordnung wird der Pulsator allein durch den Unterdruck der Melkanlage betrieben, so daß keine zusätzliche Hilfsenergie erforderlich ist. Bei Dauerversuchen zeigte sich für die Frequenz eine Wiederholgenauigkeit von  $\pm 0,8\%$ .

### 4. Zusammenfassung

Die Entwicklung der Fluidik und Pneumatik bei industriellen Anwendungen läßt diese Technik auch für landwirtschaftliche Aufgaben interessant erscheinen. Am Beispiel der Wandstrahlelemente ist gezeigt, daß damit alle bekannten Schaltungs- und Logikfunktionen realisiert werden können. Wichtig sind dabei die peripheren Geräte, für die zahlreiche Ausführungsformen zur Verfügung stehen. Als berührunglose Fühler insbesondere für Pflanzen können Luft- und Ultraschallschranken geeignet sein. Ein digitales hydropneumatisches Positioniersystem, eine pneumatische Steuerung für Rübenvereinzelmachines und ein Fluidik-gesteuerter Pulsator für Melkanlagen sind weitere Beispiele, an denen die Anwendung von Fluidiks in der Landtechnik demonstriert werden kann.

### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] ● *Multrus, V.:* Pneumatische Logikelemente und Steuerungssysteme. Mainz: Krausskopf 1970.
- [ 2 ] ● *Wiesner, H.:* Über die Entwicklung von Wandstrahl-Elementen und ihre Anwendung in einer Steuerung. Mainz: Krausskopf 1969.
- [ 3 ] *Ritallick, D.A.:* Sensoren und Wandler. Vortrag Internat. Fluidik-Tagung München, 25./26. 10. 1971.
- [ 4 ] *Reuschenbach, H.:* Pneumatische Steuer- und Regelungssysteme für die Automatisierung der Landtechnik. Ölhydraulik und Pneumatik 16 (1972) Nr. 11, S. 472/76.
- [ 5 ] *Reuschenbach, H.:* Pneumatische Systeme zum berührungslosen Abtasten von Pflanzen. (erscheint als Beitrag zur C.I.G.R.-Tagung 1974 in Holland).
- [ 6 ] *Beeken, B.B.:* An acoustic fluidic sensor. Advances in Instrumentation 23, Pt II, Proc.3rd Annual Conf. of I.S.A. (1968).
- [ 7 ] *Gradetsky, V. u. V. Dimitriev:* Design problems of fluidic digital elements and devices. Fluidics International (July 1968).
- [ 8 ] *Scholtysik, B.:* Pulsation- und Unterdruckverstellung an durchflußgesteuerten Melkanlagen. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Landmaschinen der TU München, 1974.