

Die Messung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten mit Hilfe von Heißeiterwiderständen

Von Klaus Burkhardt und Theo Freye,
Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 533.6.08

Zahlreiche Prozesse im Bereich der Landtechnik finden unter Einwirkung strömender gasförmiger Medien statt, so beispielsweise Trocknung, Belüftung und Trennung von Stoffen. Während die Messung höherer Strömungsgeschwindigkeiten im allgemeinen problemlos ist, bereitet die Bestimmung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten oftmals Schwierigkeiten. Es wird ein einfaches Verfahren zur Messung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten mittels Heißeiter-Widerständen vorgestellt, das sich durch eine kleine Meßsonde mit geringer Empfindlichkeit gegen Beschädigung auszeichnet.

1. Einleitung

Zur Bestimmung der Luftgeschwindigkeitsverteilung an Sieben einer Mähdescherreinigung wurde ein Meßverfahren benötigt, das auch eine Messung in unmittelbarer Nähe der Sieböffnung zuließ. Die Meßsonde sollte daher in den Abmessungen klein sein und im unteren Luftgeschwindigkeitsbereich eine ausreichende Empfindlichkeit aufweisen.

Die Messung der Luftgeschwindigkeit erfolgt im allgemeinen mit Hilfe von Staugeräten wie Prandtl-Staurohr oder Stauscheiben-Windmesser sowie mit mechanischen und elektrischen Anemometern [1]. Bei den Staugeräten wird die Geschwindigkeit über den dynamischen Druck des Mediums bestimmt. Im unteren Geschwindigkeitsbereich bis 5 m/s ist der dynamische Druck sehr gering und die Messung mit den üblichen Druckmeßgeräten oftmals nicht genau genug. Der Stauscheiben-Windmesser mit direkter Anzeige der Luftgeschwindigkeit ist, bedingt durch seine Abmessungen, nicht universell einsetzbar. Auf mechanischer Basis arbeiten Flügelrad- oder Schalenkreuzanemometer. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Flügel ist dabei ein Maß für die Luftgeschwindigkeit. Die bei mechanischen Anemometern zur Überwindung der Reibung erforderliche Anlaufgeschwindigkeit kann durch besondere Maßnahmen wie beispielsweise photoelektrische Drehzahlmessung auf einem sehr geringen Wert gehalten werden. Der Durchmesser des Meßkopfes beträgt jedoch bei den kleinsten Ausführungen immer noch 10 mm, wodurch die Einsatzmöglichkeiten eingeschränkt sind.

Bei den elektrischen Anemometern wird allgemein eine elektrisch beheizte Meßsonde verwendet, wobei die von der Strömung verursachte Abkühlung oder die zugeführte elektrische Leistung als Maß für die Luftgeschwindigkeit herangezogen wird. In den meisten Fällen wird die durch die Abkühlung hervorgerufene Widerstandsänderung ausgenutzt, jedoch gibt es auch Ausführungen, bei denen die Temperaturänderung der Meßsonde durch ein Thermoelement gemessen wird.

Die Meßsonden der Hitzdrahtanemometer bestehen bekanntlich aus einem dünnen Draht aus Wolfram, Platin oder einer Platinlegierung, der eine Länge von wenigen Millimetern hat. Aufgrund der schnellen Ansprechzeit eignen sich die Hitzdrahtanemometer besonders für dynamische Messungen. Mit Ausnahme der besonderen Ausführung der Heißfilmsonden, die aus einem Glaskörper mit aufgedampftem Metallfilm bestehen, ist allerdings die mechanische Belastbarkeit der Hitzdrahtsonden gering. Schon im Luftstrom mitgeführte Staubteilchen können zur Zerstörung führen.

Steht nicht die Messung schneller Luftgeschwindigkeitsänderungen im Vordergrund, können als Meßsonden auch Heißeiter-Widerstände eingesetzt werden. Diese zeichnen sich durch kleine Abmessungen und eine hohe mechanische Belastbarkeit aus. Anemometer mit Heißeiter-Meßsonden werden auch als fertige Meßgeräte angeboten.

2. Anemometer mit Heißeiter-Widerständen

2.1 NTC-Widerstände

NTC-Widerstände (NTC = Negative Temperature Coefficient), auch Heißeiter-Thermistoren genannt, sind Halbleiterbauelemente, deren Widerstand mit zunehmender Temperatur abnimmt. Der Zusammenhang zwischen Widerstand R und Temperatur T folgt angenähert einer e-Funktion [2]:

$$R = a e^{b/T} \quad (1)$$

mit a, b Konstanten.

Die Temperaturabhängigkeit von NTC-Widerständen ist um den Faktor 10 größer als die von Hitzdrähten. Dadurch ist es möglich, schon mit einfachen Anemometerschaltungen eine hohe Meßempfindlichkeit zu erzielen.

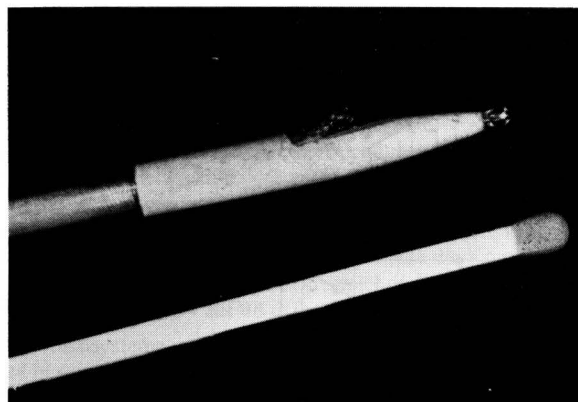


Bild 1. Meßsonde mit NTC-Widerständen zur Messung der Luftgeschwindigkeit mit Nullpunktkompensation.

*) Dipl.-Ing. K. Burkhardt ist Leiter der Meßabteilung des Instituts für Agrartechnik, Universität Hohenheim (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach), Dipl.-Ing. Th. Freye ist wiss. Mitarbeiter des Sonderforschungsbereichs 140, Teilprojekt B 1.2.

NTC-Widerstände werden von verschiedenen Herstellern in unterschiedlicher Ausführung mit Abmessungen bis unter 0,5 mm gefertigt. Bild 1 zeigt eine Meßsonde, für die zwei NTC-Widerstände vom Typ M 85 der Fa. Siemens verwendet wurden. Diese Ausführung ist durch eine Glasummantelung gegen Beschädigungen geschützt. Die Abmessungen betragen 1,5 x 5 mm; der Widerstand bei 25 °C ist 4,7 kΩ. Der Widerstand an der Spitze der Sonde wird beheizt, während der seitliche Widerstand nicht beheizt ist und zur Temperaturkompensation dient.

Bei Anemometern mit NTC-Widerständen können prinzipiell die gleichen Schaltungen wie bei Hitzdrahtanemometern angewendet werden.

2.2 Anemometerschaltungen

Für Anemometer, die die Widerstandsänderung der Sonde als Maß für die Strömung auswerten, wird in der Regel als Meßschaltung die Konstantstrom- oder die Konstanttemperaturmethode angewendet [3, 4].

Beim Konstanttemperaturverfahren wird durch einen Regelkreis die Leistungszufuhr so geregelt, daß der Widerstand der Meßsonde und damit deren Temperatur konstant bleibt. Die zugeführte Leistung bzw. die hierfür benötigte Spannung ist dann ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit. Bei diesem Verfahren ist eine hohe Grenzfrequenz erreichbar, so daß auch schnelle Geschwindigkeitsschwankungen erfaßt werden. Schwierigkeiten können allerdings durch Instabilität des Regelkreises auftreten.

Beim Konstantstromverfahren wird der Heizstrom der Meßsonde konstant gehalten. Die Widerstandsänderung der Meßsonde bewirkt eine Änderung des Spannungsabfalls, der ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit ist. Eine Temperaturänderung des Mediums verursacht sowohl eine Verschiebung des Nullpunktes als auch eine Änderung der Meßempfindlichkeit.

Bild 2 zeigt eine ausgeführte Schaltung nach dem Konstantstromverfahren mit Kompensation des Nullpunktes gegen Temperaturänderungen, die in Verbindung mit der in Bild 1 gezeigten Sonde verwendet wurde. Der Operationsverstärker OP1, in dessen Gegenkopplungszweig der beheizte NTC-Widerstand R_H liegt, arbeitet als Konstantstromquelle, wobei der Konstantstrom I_K durch die positive Betriebsspannung U_B und den Widerstand R_1 bestimmt wird.

$$I_K = U_B / R_1 \quad (2)$$

Die Ausgangsspannung von OP1 ist:

$$-U_1 = I_K R_H \quad (3)$$

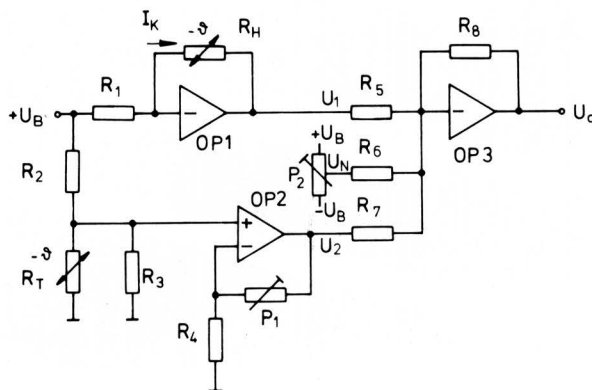


Bild 2. Anemometerschaltung nach dem Konstantstromverfahren mit Nullpunktkompensation.

Der NTC-Widerstand R_T dient zur Kompensation der Nullpunkt-drift bei Temperaturänderungen. Da der Widerstand R_2 groß gegen R_T ist, bleibt der Meßstrom durch R_T annähernd konstant und klein genug, um eine Aufheizung von R_T zu vermeiden. Die Spannung an R_T wird mit dem Operationsverstärker OP2 verstärkt. Die Verstärkung kann mit dem Potentiometer P_1 eingestellt werden, so daß eine Temperaturänderung ohne Einfluß auf den Nullpunkt bleibt. Mit dem Potentiometer P_2 kann die Spannung U_N und damit der Nullpunkt der Ausgangsspannung eingestellt werden.

Der Operationsverstärker OP3 arbeitet als invertierender Summierverstärker. Da U_1 und U_2 entgegengesetzte Vorzeichen aufweisen, erscheint am Ausgang die Differenz dieser Spannungen. Unter der Voraussetzung, daß $R_5 = R_6 = R_7 = R_8$ ist, folgt mit Gl. (3) für die Ausgangsspannung als Maß für die Strömungsgeschwindigkeit:

$$U_a = I_K R_H - U_2 - U_N \quad (4)$$

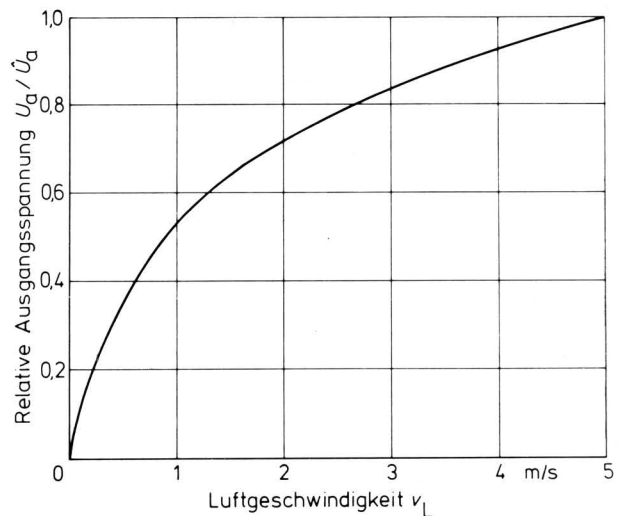


Bild 3. Relative Ausgangsspannung des Anemometers in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit.

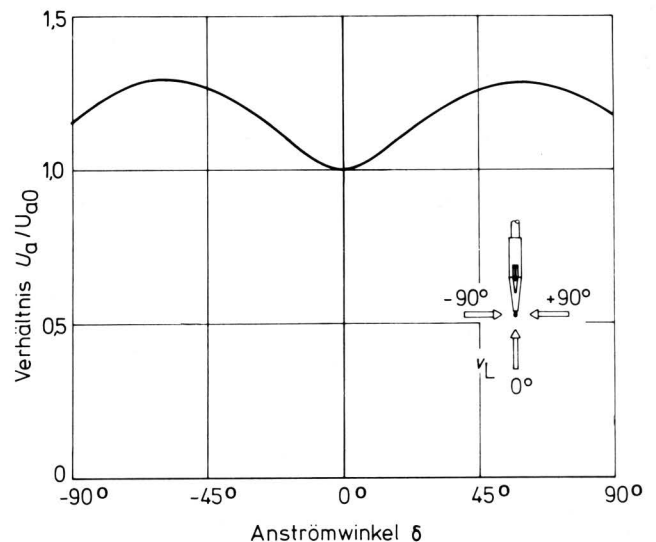


Bild 4. Einfluß der Anströmrichtung der Meßsonde auf die Ausgangsspannung des Anemometers.

2.3 Ergebnisse

Für das vorgestellte Konstantstrom-Anemometer mit Nullpunkt-kompensation ist in **Bild 3** die Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit dargestellt. Die Ausgangsspannung U_a wurde auf die Spannung \hat{U}_a bei der Luftgeschwindigkeit $v_L = 5 \text{ m/s}$ bezogen. Die Empfindlichkeitsänderung bei Temperaturänderungen kann durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden. Falls erforderlich, läßt sich die Kennlinie durch einen entsprechenden Funktionsgeber linearisieren. **Bild 4** zeigt die Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Anströmrichtung. Die geringste Spannung stellt sich demnach bei einer Anströmung in Richtung der Sondenlängsachse ein. Somit kann diese Meßsonde auch zur Bestimmung der Strömungsrichtung herangezogen werden.

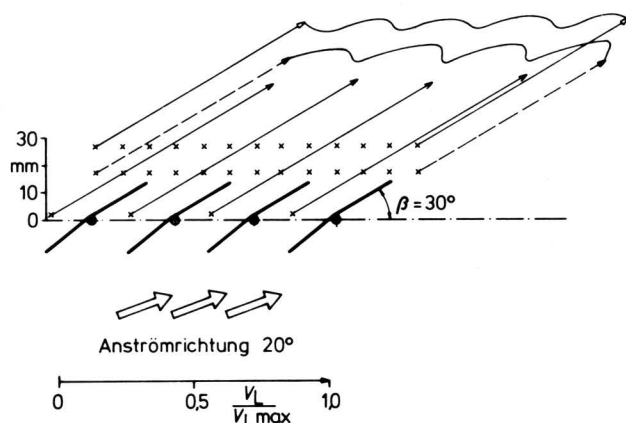


Bild 5. Luftgeschwindigkeitsverteilung über einem Lamellensieb einer Mähdrescherreinigung.

Das Ergebnis einer Luftgeschwindigkeitsmessung an dem Lamellensieb einer Mähdrescher-Reinigungsanlage ist in **Bild 5** dargestellt. Durch die kleine Meßsonde ist auch eine Messung zwischen den Lamellen möglich. Hierbei zeigt sich, daß das Lamellensieb eine Einleitung der Luft mit gleichmäßiger Geschwindigkeitsverteilung in die darüberströmende Gutschicht ermöglicht. An der Innenseite der Lamellen wurde eine Strömungsablösung und Verwirbelung festgestellt. Die Lamellen bewirken eine Umlenkung der Luftströmung.

3. Zusammenfassung

Nach einer Übersicht über gebräuchliche Luftgeschwindigkeitsmeßgeräte wird gezeigt, daß mit NTC-Widerständen eine einfache Anemometerschaltung nach dem Konstantstromprinzip verwirklicht werden kann. Dabei zeichnet sich die Meßsonde durch eine geringe Empfindlichkeit gegen Beschädigungen aus. Die Meßeinrichtung eignet sich zur Messung kleiner Luftgeschwindigkeiten bis etwa 5 m/s und zur Ermittlung der Strömungsrichtung.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Ackermann, G.:* Meßtechnik bei Gebläseuntersuchungen. Landtechnische Forschung Bd. 7 (1957) Nr. 1, S. 14/18.
- [2] ● *Kautsch, R.:* Meßelektronik nichtelektrischer Größen. Teil 2: Meßfühler und Meßverfahren. Bad Wörishofen: Hans Holzmann Verlag 1972.
- [3] ● *Rohrbach, Ch.:* Handbuch für elektrisches Messen mechanischer Größen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1967.
- [4] ● *Profos, P.:* Handbuch der industriellen Meßtechnik. Essen: Vulkan-Verlag 1974.

Der Füllungsgrad eines Axialdreschwerkes für Körnermais

Von Arnoldus Lo und Alfred Stroppel,
Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 631.355:631.361.2

Neben den Schlagleisten-Dreschwerken werden in der Praxis auch sogenannte Rebler-Werkzeuge (Axialdreschwerke) zum Dreschen von Körnermais eingesetzt. Bei diesen Werkzeugen spielt der Füllungsgrad der Dreschtrommel eine gewisse Rolle, der beispielsweise von der Trommeldrehzahl und der Körnerdurchsatzmenge beeinflusst wird. In dieser Arbeit wird eine Gleichung zur Bestimmung des Füllungsgrades entwickelt und anhand einiger Versuchsergebnisse der Einfluß des Füllungsgrades auf die Druschqualität angedeutet.

*) Prof. Dr.-Ing. Alfred Stroppel ist Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. Arnoldus Lo ist wiss. Mitarbeiter des Sonderforschungsbereichs 140 am gleichen Institut.

1. Einleitung

Die erfolgreiche Züchtung von ertragreichen Hybridmais-Sorten, die Einführung leistungsstarker, arbeitsproduktiver Maiserntemaschinen und die Entwicklung geeigneter Konservierungsverfahren haben die Voraussetzungen für eine Ausdehnung des Körnermais-anbaues in der Bundesrepublik Deutschland geschaffen. Innerhalb von 10 Jahren, zwischen 1962 und 1972, wurde die Körnermais-anbaufläche nahezu verzehnfacht. Im gleichen Zeitraum stiegen auch die Erträge von 34 auf 48 dt/ha, d.h. um etwa 40 % [1].

Zwei Dreschsysteme mit unterschiedlichen Werkzeugen werden heute in erster Linie bei den Feldmaschinen für die Körnermais-ernte eingesetzt, **Bild 1:**

1. Das Tangentialdreschsystem (Schlagleistendreschwerk) des normalen Getreide-Mähdreschers
2. Das Axialdreschsystem (Reblerdreschwerk) spezieller Körnermaiserntemaschinen.