

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 102 (1984)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Verhalten eines Windmessers bei instationärer Anströmung  
**Autor:** Thomann, Hans  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-75436>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Verhalten eines Windmessers bei instationärer Anströmung

Von Hans Thomann, Zürich

## Zusammenfassung

Die Windmesser, die im sogenannten A-Netz der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt eingebaut sind, werden auch sonst häufig verwendet (Typ 655-660-104 und 105 der Firma E. Schiltknecht, 8625 Gossau). Um Messungen mit zeitlich variabler Anströmgeschwindigkeit  $v(t)$  auswerten zu können, wurde untersucht, wie die Instrumentenanzige  $u$  durch instationäre Vorgänge beeinflusst wird. Für eine Luftdichte  $\rho = 1,15 \text{ kg/m}^3$  sind die wesentlichen Resultate:

- a) Springt die Anströmgeschwindigkeit plötzlich von 0 auf  $v \text{ m/s}$ , so dauert es  $t_{90} = 8/v$  Sekunden, bis das Instrument 90% von  $v$  anzeigt (Bild 3).

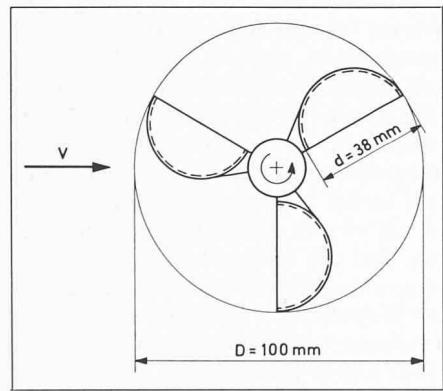
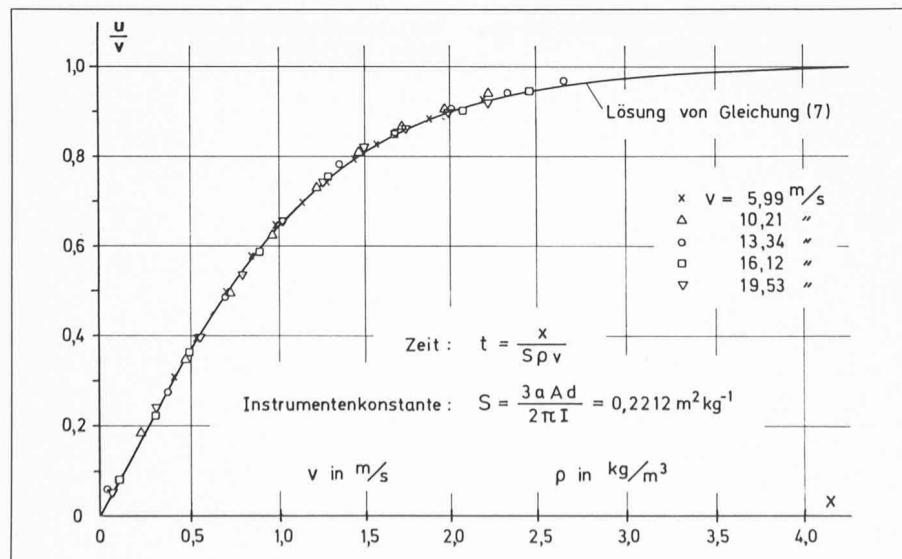


Bild 1. Geometrie des Messrades

Bild 2. Aerodynamisches Drehmoment, stationärer Betrieb



- b) Ist einer mittleren Geschwindigkeit  $\bar{v}$  eine kleine sinusförmige Schwingung der Schwingungsdauer  $T$  überlagert, so muss nach Gleichung (11)  $T \geq 40/v$  sein, damit das Instrument 90% der Geschwindigkeitsschwankung anzeigt.
- c) Ist die Anzeige  $u(t)$  gemessen, so lässt sich die Anströmgeschwindigkeit  $v(t)$  nach Gleichung (8) oder angenähert nach Gleichung (11) berechnen.
- d) Schräganströmungen über  $10^\circ$  verkleinern die Genauigkeit merklich.

Eine Übersicht über das Verhalten von Windmessern findet sich in [1].

## Windmesser im stationären Betrieb

Der Rotor des Windmessers ist in Bild 1 gezeigt. Bei jeder Umdrehung werden sechs elektrische Impulse abgegeben. Der Zusammenhang zwischen der Anblasgeschwindigkeit  $v$  (in m/s) und der Impulsfrequenz  $n$  wurde im Windkanal bestimmt zu

$$(1) \quad v = a n$$

mit  $a = 0,1009 \text{ m}$ . Für den ausgemessenen Geschwindigkeitsbereich von 4 m/s bis 20 m/s stimmen die Messungen also sehr gut mit der Werkangabe  $v = 0,1 \text{ n}$

überein. Bei Geschwindigkeiten weit unter 4 m/s drehte das Anemometer immer noch einwandfrei, die Geschwindigkeit  $v$  konnte aber nicht mehr mit genügender Genauigkeit gemessen werden.

In einem weiteren Versuch wurde das Drehmoment gemessen, das aufzubringen ist, um dem Windmesser eine bestimmte Drehzahl (dargestellt durch  $u$ ) aufzuzwingen. Ein kleiner Elektromotor wurde mit einem dünnen Torsionsdraht mit dem Rotor verbunden. Aus dem geeichten Zusammenhang zwischen Drehmoment des Motors und elektrischem Strom konnte das aerodynamische Drehmoment  $M$  des Rotors bestimmt werden. Folgende Darstellung ist vorteilhaft:

$$(2) \quad M = c_M \left( \frac{u}{v}, Re \right) \frac{\rho}{2} v^2 A d.$$

Dabei ist  $u$  die vom Instrument angezeigte Geschwindigkeit,  $v$  die Anströmgeschwindigkeit,  $\rho$  die Luftdichte,  $d = 38 \text{ mm}$  eine willkürlich gewählte Bezugslänge,  $A = d^2 \pi/4$  die Bezugsfläche und  $Re$  eine Reynoldszahl. Der Verlauf  $c_M(u/v, Re)$  ist in Bild 2 gezeigt.

Im untersuchten Bereich ist er unabhängig von  $Re$  und kann dargestellt werden durch

$$(3a) \quad c_M = 1,304(1-y) - 0,493(1-y)^{2,3} \quad \text{für } 0 \leq y = u/v \leq 1, \text{ und}$$

$$(3b) \quad c_M = 1,304(1-y) \quad \text{für } 1 \leq y \leq 1,5.$$

## Instationäres Verhalten des Windmessers

Die Drehgeschwindigkeit  $\omega$  des Windmessers wird bestimmt durch

$$(4) \quad I \frac{d\omega}{dt} = M - M_r.$$

Dabei ist  $I$  das Massenträgheitsmoment der rotierenden Teile,  $M$  das aerodynamische Moment und  $M_r$  das Bremsmoment der Lagerreibung. Für den untersuchten Geschwindigkeitsbereich ist  $M_r$  vernachlässigbar.

### Anlaufen des Windmessers bei konstanter Anblasgeschwindigkeit $v$

Wird der Windmesser aus der Ruhe gelassen, so nimmt seine Anzeige  $u$  mit der Zeit von Null auf  $v$  zu. Mit der Annahme, dass das stationäre Drehmoment  $M$  (Gleichungen (2) und (3)) auch im beschleunigten Fall gelte, lässt sich Gleichung (4) numerisch integrieren. Die Lösung wird universell gültig, wenn man folgende Variablen einführt:

$$(5) \quad x = S \rho v t, \quad y = u/v.$$

Dabei ist  $S = 3 a A d / 2\pi I$  eine Instrumentenkonstante. Ferner gilt

$$(6) \quad \omega = 2\pi u / 6a.$$

Die numerische Lösung der resultierenden Differentialgleichung

$$(7) \quad \frac{dy}{dx} = c_M(y) = \\ = 1,304(1-y) - 0,493(1-y)^{2,3}$$

ist in Bild 3 gezeigt. 90% der Endgeschwindigkeit ist z.B. bei  $x = 2,03$  erreicht.

Die Instrumentenkonstante  $S$  wurde bestimmt durch Vergleich der berechneten Kurve mit den eingezeichneten Messwerten. Sie beträgt

$$S = 3aAd/2\pi I = 0,2212 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}.$$

Bei einer Luftdichte von  $\rho = 1,15 \text{ kg/m}^3$  ergibt dies folgende Zeiten für den Hochlauf auf 90% der Endgeschwindigkeit

$v$	1	2	5	10	20	50 m/s
$t_{90}$	8,0	4,0	1,6	0,80	0,40	0,16 s

### Anzeige bei periodischer Schwankung der Anströmgeschwindigkeit.

Kombiniert man Gleichungen (2), (3), (4) und (6), so erhält man

$$(8) \quad \frac{du}{dt} = S \rho v^2 . \\ \cdot [1,304(1-u/v) - 0,493(1-u/v)^{2,3}]$$

Für  $u/v \geq 1$  fällt der letzte Term in der eckigen Klammer wegen Gleichung (3b) weg.

Die Anströmgeschwindigkeit wird angesetzt als

$$(9) \quad v(t) = \bar{v} + \hat{v} \cos \Omega t.$$

Beschränkt man sich auf kleine Schwingungsamplituden  $\hat{v}$ , so lässt sich Gleichung (8) linearisieren, und die angezeigte Geschwindigkeit  $u$  erhält die Form

$$(10) \quad u = \bar{u} + \hat{u} \cos(\Omega t - \varphi)$$

mit

$$\begin{aligned} \bar{u} &= \bar{v} \\ (11) \quad \hat{u} &= \hat{v} / \sqrt{1 + z^2} \end{aligned}$$

$$\tan \varphi = z$$

$$z = \Omega / 1,304 S \rho \bar{v}$$

Gleichung (11) stellt den Frequenzgang des Windmessers dar. Verlangt man beispielsweise, dass die angezeigte Geschwindigkeitsschwankung  $\hat{u}$  90% der wirklichen Schwingung  $\hat{v}$  betrage, so findet man für  $\rho = 1,15 \text{ kg/m}^3$  folgenden Zusammenhang zwischen der An-

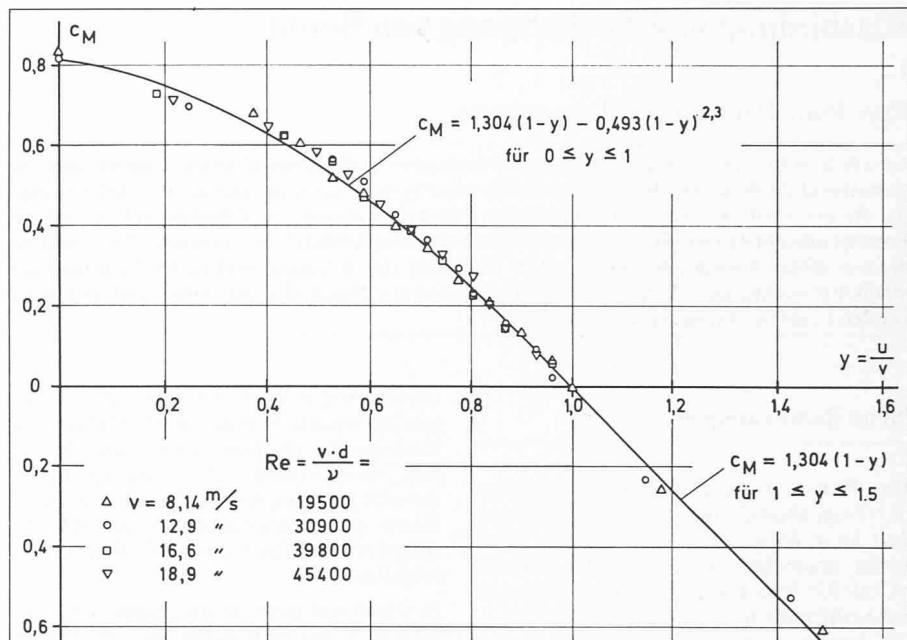


Bild 3. Anzeige des Windmessers bei Start aus der Ruhe, konstante Anblasgeschwindigkeit  $v$

blasgeschwindigkeit  $\bar{v}$  und der Schwingungsdauer  $T = 2\pi/\Omega$

$\bar{v}$	1	2	5	10	20	50 m/s
$T$	40	20	8	4	2	0,8 s

Mit dem Instrument können also bei  $\bar{v} \geq 20 \text{ m/s}$  die Windböen, die für die Bauaerodynamik von Bedeutung sind, gerade noch gemessen werden. Bei kleinen Anströmgeschwindigkeiten sind anderseits nur noch sehr langsame Schwingungen messbar.

### Bestimmung von $v$ bei beliebigem $u(t)$

Da die Instrumentenanzeige  $u(t)$  gemessen wurde, so sind  $u(t)$  und  $du/dt$  in Gleichung (8) bekannt.  $v(t)$  ist damit durch (8) festgelegt. Wegen der Form von (8) muss  $v(t)$  allerdings durch Iteration bestimmt werden, was sich aber auf einem programmierbaren Taschenrechner leicht durchführen lässt.

Ist  $v$  nicht zu weit von  $u$  entfernt, so verliert der nichtlineare Term in Gleichung (8) an Bedeutung, und es gilt in guter Näherung

$$(12) \quad v = \frac{u}{2} + \sqrt{\left(\frac{u}{2}\right)^2 + \frac{1}{1,304 \rho S} \frac{du}{dt}}.$$

### Schräganblasung

Durch Neigen des Instrumentes wurde der Einfluss der Schräganblasung untersucht. Die Resultate sind in Bild 4 gezeigt. Schräganblasungen von  $\pm 10^\circ$  haben praktisch keinen Einfluss, bei  $30^\circ$  beträgt der Fehler aber bereits 10%. Für  $v < 5 \text{ m/s}$  können die Resultate für

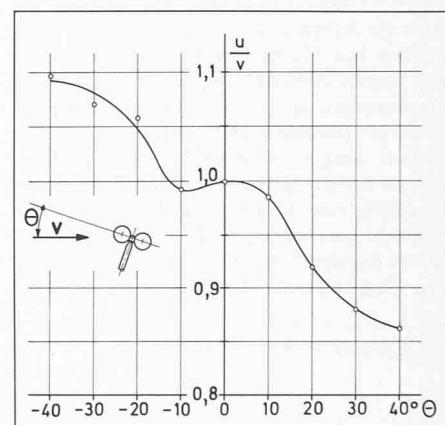


Bild 4. Einfluss der Schräganblasung.  $u$  Anzeige des Instruments,  $v$  Anblasgeschwindigkeit.  $5 \text{ m/s} \leq v \leq 20 \text{ m/s}$

größere Winkel nur als Anhaltspunkt dienen, da der Zusammenhang  $u(v)$  bei kleinen Geschwindigkeiten nicht mehr genügend linear war. Es wurde nicht untersucht, ob die Lagerreibung oder die geänderte Aerodynamik die Abweichungen verursacht.

Die Messwerte stammen aus der Diplomarbeit von Herrn R. Simmen und seien hier bestens verdankt.

### Literatur

- [1] Wyngaard, J. C. Cup, Propeller, Vane, and Sonic Anemometers in Turbulence Research. Ann. Rev. of Fluid Mech. 13 (1981) 399–423