Verhalten eines Windmessers bei instationärer Anströmung

Autor(en): **Thomann, Hans**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 12

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75436

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://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 Instrumentenanzeige u durch instationäre Vorgänge beeinflusst wird. Für eine Luftdichte $\varrho = 1{,}15$ kg/m³ sind die wesentlichen Resultate:

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

b) Ist einer mittleren Geschwindigkeit $\bar{v}$ eine kleine sinusförmige Schwankung der Schwingungsdauer T überlagert, so muss nach Gleichung (11) $T \geqq 40/v$ 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° verkleinern die Genauigkeit merklich.

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

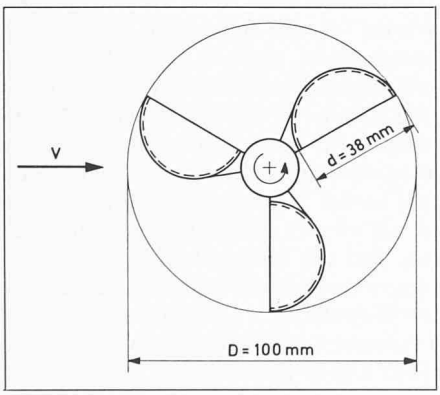


Bild 1. Geometrie des Messrades

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

$$(1) \qquad v = a\,n$$

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

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

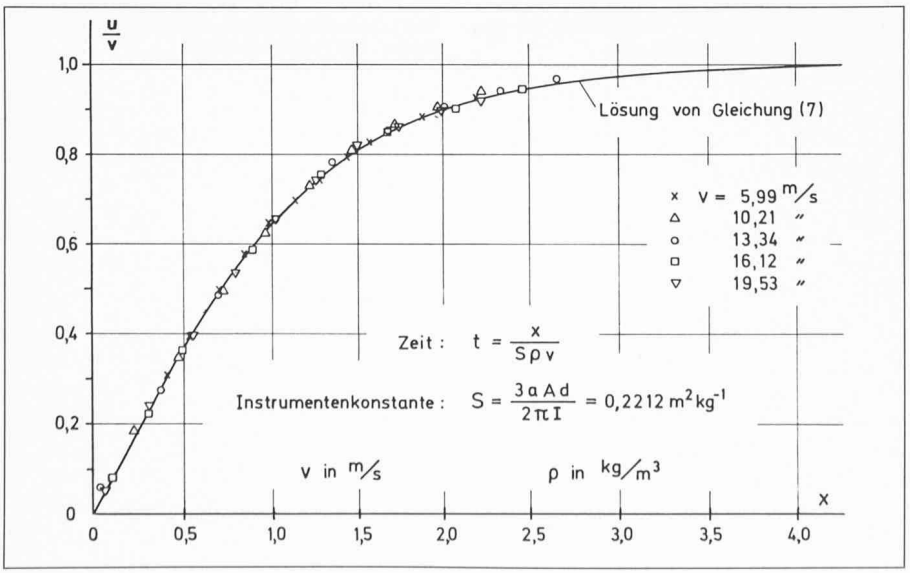
Dabei ist u die vom Instrument angezeigte Geschwindigkeit, v die Anströmgeschwindigkeit, ϱ die Luftdichte, $d = 38$ mm eine willkürlich gewählte Bezugslänge, $A = d^2\,\pi/4$ die Bezugsfläche und Re eine Reynoldszahl. Der Verlauf $c_M\,(u/v,\ Re)$ ist in Bild 2 gezeigt.

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

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

$$(3b) \qquad c_M = 1{,}304\ (1-y)$$
für $1 \leqq y \leqq 1{,}5$.

Bild 2. Aerodynamisches Drehmoment, stationärer Betrieb



Instationäres Verhalten des Windmessers

Die Drehgeschwindigkeit ω des Windmessers wird bestimmt durch

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

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 losgelassen, 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:

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

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

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

Die numerische Lösung der resultierenden Differentialgleichung

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

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

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

Bei einer Luftdichte von $\varrho = 1{,}15$ 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

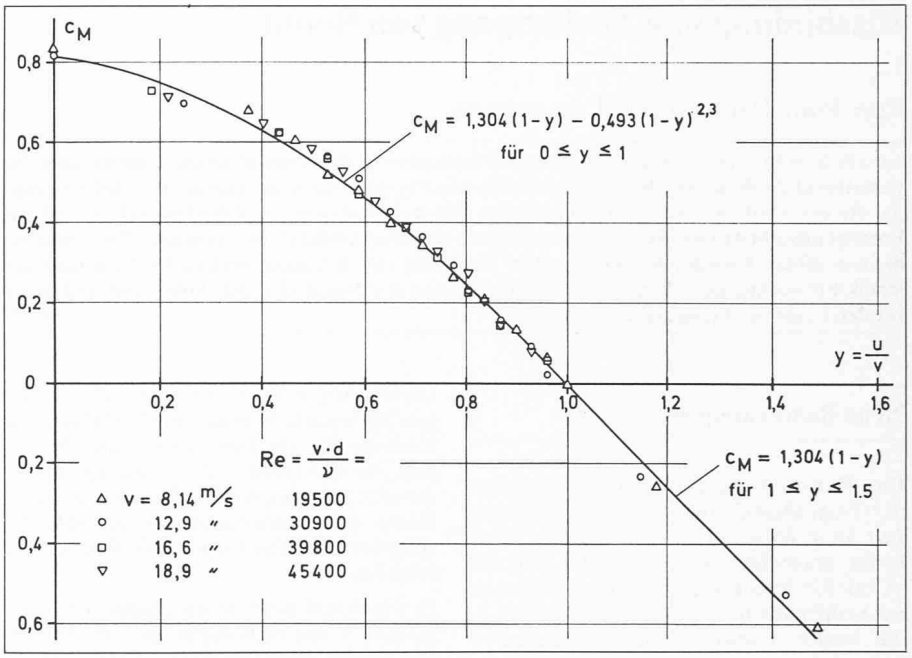


Bild 3. Anzeige des Windmessers bei Start aus der Ruhe, konstante Anblasgeschwindigkeit v

Anzeige bei periodischer Schwankung der Anströmgeschwindigkeit.

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

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

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

Die Anströmgeschwindigkeit wird angesetzt als

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

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

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

mit

$$\bar{u} = \bar{v}$$

(11) $$\hat{u} = \hat{v}/\sqrt{1 + z^2}$$

$$\tan\varphi = z$$

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

Gleichung (11) stellt den Frequenzgang des Windmessers dar. Verlangt man beispielsweise, dass die angezeigte Geschwindigkeitsschwankung $\hat{u}$ 90% der wirklichen Schwankung $\hat{v}$ betrage, so findet man für $\varrho = 1{,}15$ kg/m^3 folgenden Zusammenhang zwischen der Anblasgeschwindigkeit $\bar{v}$ 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 $\bar{v} \geqq 20$ 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) $$v = \frac{u}{2} + \sqrt{\left(\frac{u}{2}\right)^2 + \frac{1}{1{,}304\,\varrho\,S}\,\frac{du}{dt}}\ .$$

Schräganblasung

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

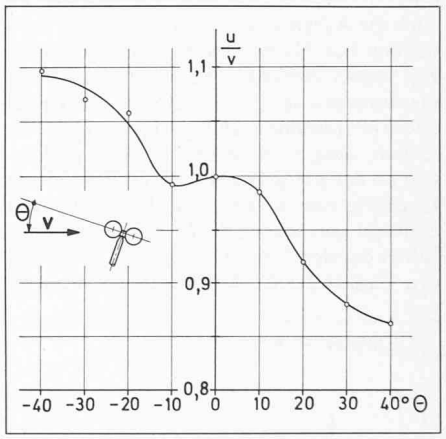


Bild 4. Einfluss der Schräganblasung. u Anzeige des Instruments, v Anblasgeschwindigkeit. 5 m/s ≦ v ≦ 20 m/s

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

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *H. Thomann*, Institut für Aerodynamik, ETHZ, 8092 Zürich.