

# Genauigkeit und Reaktionszeiten von Temperaturmessgeräten



**Der Autor**  
Dipl.-Ing. Rainer Huth  
Münster

Für die Beurteilung von Bauschäden werden von Bausachverständigen oft Messgeräte zur Temperaturmessung und zur Messung der relativen Luftfeuchte eingesetzt. In vielen Fällen werden diese Messgrößen mit Datenloggern über einen längeren Zeitraum aufgezeichnet. Diskutiert wird die Genauigkeit der Messgeräte und die Auswirkung der Genauigkeit auf die Bewertungen. Neben der Genauigkeit ist die Reaktionszeit der Messgeräte von entscheidender Bedeutung, um Fehlbewertungen zu vermeiden. Es wird ein Verfahren vorgestellt, wie die Reaktionszeit der eigenen Messgeräte abgeschätzt und mit einem Kennwert vergleichbar gemacht wird.

Das Messen der Temperatur und der relativen Luftfeuchte erscheint auf den ersten Blick derart einfach, dass es kaum einer weiteren Betrachtung bedarf. Fest eingebrannt scheinen die 12,6 °C minimaler Oberflächentemperatur, die nach DIN 4108-2:2003-07, Abs. 6.2 bei den normierten Bedingungen (-5 °C Außenlufttemperatur und 20 °C Innenraumtemperatur) noch gerade einen Temperaturfaktor  $f_{RSI}$  oberhalb 0,7 ergeben.

$$f_{RSI} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0,7 \quad (\text{Gl. 1})$$

- $\theta_{si}$  = die raumseitige Oberflächentemperatur
- $\theta_i$  = die Innenlufttemperatur
- $\theta_e$  = die Außenlufttemperatur

Mit dem rechnerischen Nachweis eines  $f_{RSI}$ -Wertes  $\geq 0,7$  (unter normierten Randbedingungen) werden nach DIN 4108-2:2003-07 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken gestellt. Dieser Nachweis kann jedoch nicht ohne Weiteres als alleiniges Kriterium für die Bewertung gemessener Raumklimadaten genutzt werden. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Genauigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit der eingesetzten Messgeräte. Setzt man die Temperaturwerte mit Toleranzen in die Gl. 1 ein, so erhält man die Streubreite des  $f_{RSI}$ -Wertes in Abhängigkeit von der Toleranz der Messgeräte.

In der Regel geben die Hersteller zwei Toleranzwerte für die Genauigkeit der Temperaturmessung an, wobei immer die größere Toleranz maßgebend ist. Der erste Wert ist ein Absolutwert und der zweite Wert ein Prozentwert des Ablesewertes.

### Beispiel:

$$\text{Genauigkeit} = \max. \begin{cases} \pm 1 \text{ °C} \\ \pm 1\% \text{ des Messwertes} \end{cases}$$

Zu beachten ist, dass die Genauigkeitsangaben immer für einen bestimmten Temperaturbereich gültig sind. Die Genauigkeit ist abhängig vom Fühlertyp nach Klassen normiert. Für Thermoelemente werden die Typen K, T und J unterschieden und in die Genauigkeitsklassen 1, 2 und 3 nach DIN EN 60584 eingeteilt. Für die Widerstands-Sensoren (Pt100) werden die Genauigkeitsklassen A und B nach DIN EN 60751 unterschieden (siehe Tabelle 1).

Höhere Genauigkeitsklassen werden mit den Klassen 1/3 DIN B oder 1/5 DIN B angegeben (vgl. Tab. 1).

Auf Temperaturmessung mit Infrarotthermometern (IR) wird an dieser Stelle nur im Hinblick auf die Toleranzen dieser Messtechnik eingegangen. Bei der Infrarot-Temperaturmessung liegen die Toleranzen fast immer in dem Bereich:

- max.  $\{\pm 2,0 \text{ °C}; \pm 1\% \text{ vom Skalenwert}\}$ .
- Nur wenige IR-Temperaturmessgeräte weisen eine Genauigkeit von maximal  $\{\pm 0,75 \text{ °C}; \pm 0,75\% \text{ vom Skalenwert}\}$

auf. Zu beachten ist, dass bei Infrarot-Temperaturmessungen der Emissionsgrad einen zusätzlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Messergebnisse hat.

Man sollte sich weiterhin bewusst sein, dass die angegebenen Toleranzen nur für den stationären Zustand gelten, dann wenn sich das Messgerät nach einer Temperaturänderung wieder bei der neuen Temperatur eingependelt hat. Die Angleichung des Messgerätes an die neue Temperatur benötigt eine gewisse Zeit und erfolgt exponentiell mit – je nach Messgerät und Fühler – unterschiedlich steilem Verlauf (vgl. Abb. 3).

Zur Bewertung, wie schnell die Temperaturangleichung eines Messgerätes erfolgt, dient ein so genannter  $t_{90}$ -Wert.

**Definition 1:  $t_{90}$ -Wert:** »Die Zeitdauer, die der Fühler nach einem Temperatursprung braucht, um 90 % des Sprunges zu erreichen.«

### Beispiel:

Bei einem Temperatursprung von 20 °C auf 16 °C:  $\Delta t = 4\text{K}$

$t_{90}$ -Wert:

Zeitdauer, bis  $(20 \text{ °C} - 0,9 \cdot 4\text{K}) = 16,4 \text{ °C}$

**Tabelle 1:** Beispiele von Genauigkeitsangaben für Temperaturfühler  
Quelle: Testo Produktinformation für Temperaturmessgeräte

Typ	Temperaturbereich	Klasse	Zulässige Toleranz max. aus	
			Absolutwert	Anteil vom Temperaturwert t
Typ K (NiCr-Ni)	-40...+1.000°C	1	$\pm 1,5 \text{ °C}$	$\pm 0,004 \cdot  t $
	-40...+1.200°C	2	$\pm 2,5 \text{ °C}$	$\pm 0,0075 \cdot  t $
	-200...+40°C	3	$\pm 2,5 \text{ °C}$ (-167...+40°C)	$\pm 0,0015 \cdot  t $ (-167...+40°C)
Typ T	-40...350°C	1	$\pm 0,5 \text{ °C}$	$\pm 0,001 \cdot  t $
Typ J	-40...+750°C	1	$\pm 1,5 \text{ °C}$	$\pm 0,004 \cdot  t $
PT100	-200...+600°C	B	$\pm(0,3 \text{ °C} \pm 0,005 \cdot  t )$	
	-200...+600°C	A	$\pm(0,15 \text{ °C} \pm 0,002 \cdot  t )$	

angezeigt werden.

Einige Hersteller geben anstelle des  $t_{90}$ -Wertes einen  $t_{63}$ -Wert an, bei dem die Zeit angegeben wird, die das Messgerät benötigt, um 63 % des Temperatursprunges anzuzeigen. Weiterhin üblich ist auch die Angabe eines  $t_{99}$ -Wertes.

Zur Vergleichbarkeit der einzelnen Werte ist es hilfreich, wenn man die unterschiedlichen Bezugswerte auf einen einheitlichen Wert umrechnen kann. Dies ist möglich, wenn man die Temperaturanpassung vereinfacht als e-Funktion auffasst:

$$y_{(x)} = a \cdot e^{(-b \cdot x)} \quad (\text{Gl. 2})$$

So lässt sich z. B. ein  $t_{90}$ -Wert näherungsweise aus einem angegebenen  $t_{63}$ -Wert abschätzen:

Bei einem Temperatursprung von 1K ist  $a=1$  (in Gl. 2) und  $y_{(x=0)} = 1$ . In dem nachfolgenden Beispiel sei der  $t_{63}$ -Wert mit 4s ( $x_{63}$ ) bekannt und der  $t_{90}$ -Wert ( $x_{90}$ ) gesucht.

$$y_{(x=x_{63})} = 1 - 0,63 = 0,37$$

$$0,37 = 1 \cdot e^{(-b \cdot x_{63})}$$

$$b = \frac{-\ln(0,37)}{x_{63}} = \frac{-\ln(0,37)}{4s} = 0,24856$$

$$y_{(x=x_{90})} = 1 - 0,90 = 0,10$$

$$0,10 = 1 \cdot e^{(-b \cdot x_{90})}$$

$$0,10 = e^{(-0,24856 \cdot x_{90})}$$

$$x_{90} = \frac{-\ln(0,10)}{0,24856} = 9,26s$$

In dem Beispiel wird mit dem angegebenen  $t_{63}$ -Wert von 4 Sekunden ein  $t_{90}$ -Wert von 9 Sekunden abgeschätzt.

Umrechnung  $t_{63}$ -Wert in  $t_{90}$ -Wert als Näherung:

$$t_{90} = \frac{-\ln(0,10)}{\frac{-\ln(0,37)}{t_{63}}} \quad (\text{Gl. 3})$$

Wenn die Hersteller keine  $t_{90}$ -Werte angeben und nicht auf zu berücksichtigende lange Reaktionswerte hinweisen, würde man eigentlich davon ausgehen, dass die Reaktionszeit kein zu berücksichtigender Sachverhalt ist und die Messgeräte so konstruiert sind, dass sie bei Temperaturänderungen schnell die neue Temperatur anzeigen. Insbesondere würde man dies vermuten, wenn es sich bei den Temperaturmessgeräten um Datenlogger handelt, die einen bestimmten Temperaturverlauf aufzeichnen sollen und Aufzeichnungszeitintervalle ab 2s einstellbar sind.

Leider sind kurze Reaktionszeiten nicht bei allen Messgeräten gegeben. In dem für Bausachverständige üblichen Medium Luft wurden bei einigen Messgeräten und Datenloggern  $t_{90}$ -Werte festgestellt, die oberhalb von 20 Minuten lagen, was die Sinnhaftigkeit des Messgerätes in Frage stellt. Selbst bei an den Datenlogger anschließbaren externen Messfühlern (Abb. 1), die nach Herstellerangaben sehr schnell reagieren sollen, wurden  $t_{90}$ -Werte um 18 Minuten festgestellt.

Die Firma Testo empfiehlt in ihrer Fibel: »Klimamessung für Praktiker«, dass der  $t_{99}$ -Wert doppelt so schnell sein sollte, wie die zu erwartende Änderung der Mediumstemperatur. Wenn z. B. Wohnungslüftungen mit einer Dauer von 3 Minuten untersucht werden sollten, müsste der  $t_{99}$ -Wert somit bei 90 Sekunden liegen.

Nicht alle Messgeräte sind so reaktions-schnell.

Die Reaktionszeit der Messgeräte hat entscheidenden Einfluss auf die Genauigkeit der abgelesenen Messergebnisse. Wird bei trägen Messgeräten der Temperatursprung noch nicht vollständig angezeigt, vergrößert dies den Messfehler entsprechend.

**Beispiel:**

- Temperatursprung von 4K (von 20 °C auf 16 °C)
- Messgenauigkeit von ± 0,5K
- Es werden infolge der Trägheit des Messgerätes nur 63 % des Temperatursprunges angezeigt

Messungengenauigkeit:  
 $0,5K + (1-0,63) \cdot 4K = 1,98K$

Abgelesener Wert:  $16 + 1,98 = 18 °C$

Wird neben der Temperatur auch die relative Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet, so erfolgt die Luftfeuchtemessung in der Regel kapazitiv durch Messung des Feuchtegehaltes in  $g/m^3$ . Mit Hilfe der vom Messgerät gemessenen Temperatur erfolgt im Messgerät die interne Umrechnung und Anzeige als relative Luftfeuchtigkeit. So verfälschen Ungenauigkeiten in der Temperaturmessung auch die Ergebnisse der Messung der relativen Luftfeuchtigkeit.

**Beispiel:**

Einfluss von um 2 °C falsche Temperaturmesswerte auf die Ergebnisse der relativen Luftfeuchtigkeit:

Bei 16 °C und 10,88  $g/m^3$  ergibt sich eine relative Luftfeuchte von 80 %

Bei 18 °C und 10,88  $g/m^3$  ergibt sich eine relative Luftfeuchte von 71 %

[vgl. DIN EN ISO 13788:2001, Tabelle E.1] Insbesondere im Grenzbereich der Tau-



Abb. 1: Kompakter Datenlogger mit angeschlossen externen Fühlern, 1 – Interner Feuchte- und Temperaturfühler, 2 – Externer Temperaturfühler, 3 – Externer Feuchte- und Temperaturfühler

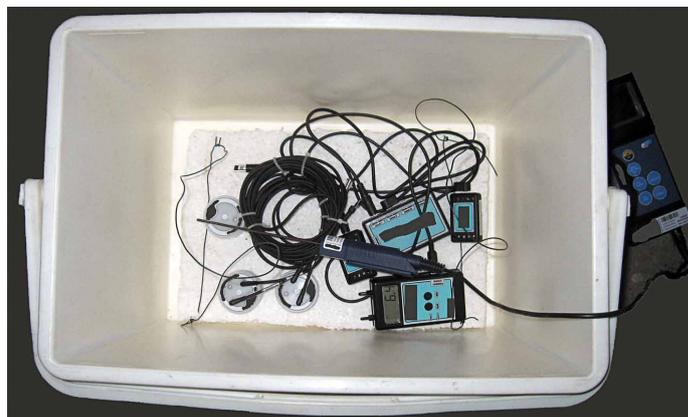


Abb. 2: Messreihe mit mehreren Datenloggern und dem Referenzfühler in einer Thermobox zum Transport vom Temperaturbereich 1 in den Temperaturbereich 2

punkttemperaturen ist entsprechende kritische Betrachtung der Messergebnisse erforderlich, um nicht zu Fehlbeurteilungen zu kommen.

Die Reaktionszeiten der Messgeräte hängen von verschiedenen Faktoren ab:

- betrachtetes Medium (Luft oder Wasser)
- thermisch wirksame Masse des Messfühlers/Thermische Entkopplung des Fühlers von der sonstigen Masse des Messgerätes
- wärmeübertragende Fläche des Fühlers
- Wärmekapazität
- Luftstrom am Fühler.

Angaben zu Reaktionszeiten sind jedoch von Herstellern auch auf Nachfrage nur selten zu erhalten. Deshalb bleibt hier nur die eigene Ermittlung der  $t_{90}$ -Werte. Die Kenntnis über die Reaktionszeiten der Messgeräte kann bei der Auswertung genutzt werden, um die Messergebnisse entsprechend zu bewerten.

### Verfahren zur Überprüfung und Abschätzung der Reaktionszeit von Messgeräten und des $t_{90}$ -Wertes

Da die Reaktionszeiten entscheidenden Einfluss bei der Auswertung von Messergebnissen haben kann, ist die Kenntnis der Reaktionszeiten von erheblicher Bedeutung. Ein Kennwert für die Reaktionszeit ist der  $t_{90}$ -Wert (Definition 1).

Möchte man den  $t_{90}$ -Wert bestimmen, empfiehlt sich ein relativ hoher Temperatursprung von etwa 15 K, um den Einfluss von Ungenauigkeiten gering zu halten. Mit einfachen Mitteln eine definierte Luftbewegung am Messsensor zu realisieren, ist schwierig. Deshalb wird vorgeschlagen, einen weitgehend ruhenden Luftstrom am Sensor zur realisieren. Mit einem schnellen Wechsel von einem Temperaturbereich in den anderen wird ein

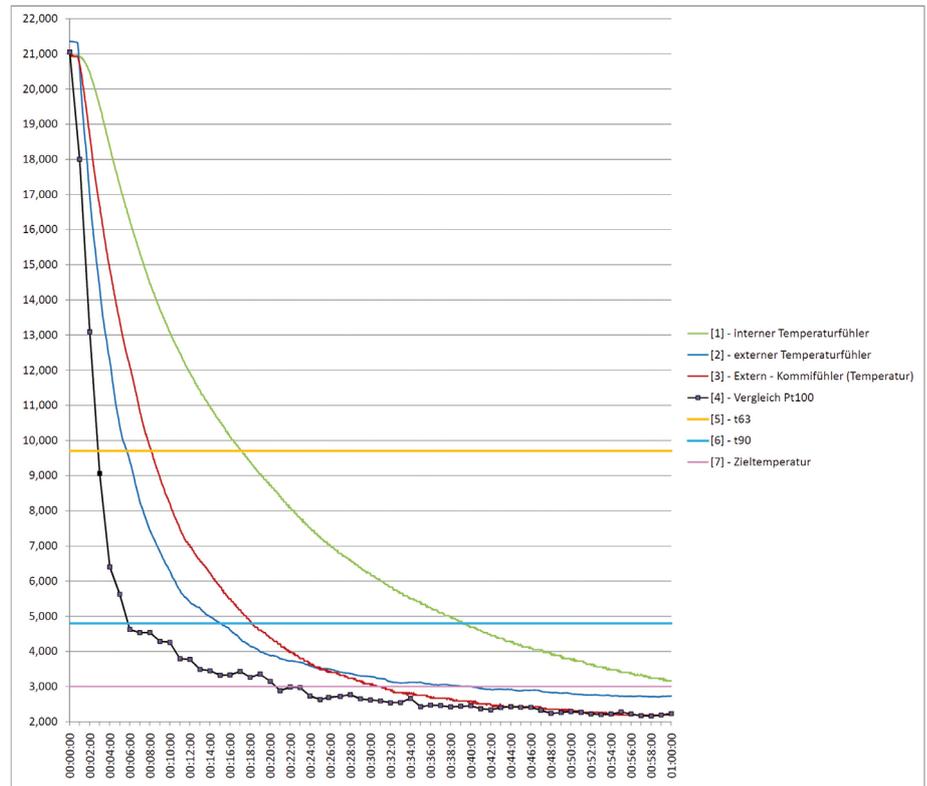


Abb. 3: Messdaten mit Darstellung  $t_{63}$ - und  $t_{90}$ -Temperaturen x-Achse: Zeit t [Stunden:Minuten:Sekunden], y-Achse: Temperatur in °C (Quelle Bilder und Grafik: Rainer Huth)

schneller, weitgehend kompletter Luftaustausch mit kälterer Luft simuliert. In der ersten Temperaturumgebung (T1) muss die Temperatur möglichst konstant gehalten werden. In der zweiten Temperaturumgebung (T2) muss der Einfluss der gespeicherten Wärme der nicht an der Messung beteiligten Geräteteile gering gehalten werden. Deshalb muss das verfügbare Volumen der zweiten Temperaturumgebung möglichst groß gehalten werden. Vorgeschlagen wird ein geschützter Bereich im Freien oder ein entsprechend kühlerer Raum.

Neben den zu untersuchenden Messgeräten benötigt man ein schnell reagie-

rendes Referenzmessgerät oder möglichst zwei gleichartige Geräte für jeden Temperaturbereich.

Das Verfahren wird nachfolgend an einem konkreten Beispiel vorgestellt. Untersucht wird ein kompakter Datenlogger mit einem internen Feuchte- und Temperatursensor (Abb. 1, Nr. 1). Weiterhin werden an diesen Datenlogger ein externer Temperaturfühler (Abb. 1, Nr. 2) und ein weiterer externer Kombifühler (Abb. 1, Nr. 3) (Messgrößen Temperatur und Feuchte) angeschlossen. Da hier nur das Verfahren vorgestellt werden soll, wird auf eine Produkt- und Herstellernennung verzichtet. Als Referenz-Messgerät dient ein Messgerät mit einem vergleichsweise trägen Pt100-Tauchfühler, um zu zeigen, wie sich mit einer Bewertung der Messergebnisse die Temperatur im zweiten Temperaturbereich (T2) bestimmen lässt. Das Referenzmessgerät wird etwa jede Minute manuell abgelesen.

Die Temperaturdatenlogger sollten auf ein enges Aufzeichnungsintervall eingestellt werden (Vorschlag: 2s). Einige Datenlogger heizen sich beim Anschluss an einen Rechner auf und zeigen erst nach einer relativ langen Zeit wieder korrekte Werte an. Deshalb sollte die Einstellung der Datenlogger ca. zwei Stunden vor Beginn der eigentlichen Untersuchung erfolgen. Zum Transport vom Temperatur-

Tabelle 2 zeigt den Ablauf der Versuchsmessung.

Zeit [s]	Beschreibung
- 7.200	Einstellung der Datenlogger, Positionierung der Datenlogger und des Referenzmessgerätes in der offenen Thermobox im Temperaturbereich T1
- 3.600	Schließen der Thermobox, erste Messung am Referenzmessgerät
- 1.800	Kontrollmessung am Referenzmessgerät (Temperatur sollte bis $t=0$ möglichst konstant sein)
- 900	Kontrollmessung am Referenzmessgerät
- 60	Kontrollmessung am Referenzmessgerät, Verbringen der geschlossenen Thermobox in Temperaturbereich T2
0	Kontrollmessung am Referenzmessgerät, öffnen der Thermobox und offenes Lagern der Datenlogger + Referenzmessgerät im Temperaturbereich T2, Ablesen am Referenzmessgerät alle 60s
3.600	Abschluss der Messreihe

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Testmessung zur Ermittlung der  $t_{63}$ - und  $t_{90}$ -Werte

Ermittelte $t_{63}$ - und $t_{90}$ -Werte			
		$t_{63}$ [Minuten: Sekunden]	$t_{90}$ [Minuten: Sekunden]
Kanal 1	interner Temperatursensor (vgl. Abb. 1, Nr. 1)	17:06	39:08
Kanal 2	externer Temperatursensor (vgl. Abb. 1, Nr. 2)	5:42	14:58
Kanal 3	externer Temperatursensor des Kombifühlers (Feuchte und Temperatur) (vgl. Abb. 1, Nr. 3)	8:08	18:06

bereich T1 in den Temperaturbereich T2 empfiehlt sich eine handelsübliche Thermobox in die man eine Vorrichtung legt, die das einfache Herausheben des Versuchsaufbaues im Temperaturbereich T2 ermöglicht. Bei einer Messreihe können mehrere Messgeräte gleichzeitig untersucht werden (vgl. Abb. 2).

#### Auswertung:

Steht nur ein Referenzmessgerät zur Verfügung, muss unter Berücksichtigung der Trägheit des Referenzmessgerätes die Temperatur des Bereiches 2 bestimmt werden. Im vorliegenden Beispiel pendelt sich die Temperatur des Referenzmessgerätes nach ca. 14 Minuten bei etwa  $3,4^{\circ}\text{C}$  ein und fällt dann relativ gleichmäßig über die Messzeit auf  $2,2^{\circ}\text{C}$  ab. Die Temperatur im Messbereich 2 ist über die Messzeit mit einem  $\Delta t$  von  $1,2^{\circ}\text{C}$  relativ konstant. Als Zieltemperatur wird der Mittelwert zwischen  $3,4^{\circ}\text{C}$  ( $t=14'$ ) und  $2,62^{\circ}\text{C}$  ( $t=30'$ ) angesetzt:

$$T_2 = (3,4 + 2,62) / 2 = 3,0^{\circ}\text{C}$$

Temperatur Bereich 1 (T1):  $21,0^{\circ}\text{C}$

Temperatur Bereich 2 (T2):  $3,0^{\circ}\text{C}$

Temperatursprung ( $\Delta t$ ) =  $T_1 - T_2 = 18,0^{\circ}\text{C}$

Die Temperatur, die bei Erreichen von 90% des Temperatursprunges angezeigt wird beträgt

$$\begin{aligned} T_{(t_{90})} &= T_1 - 0,90 \cdot \Delta t \\ &= 21^{\circ}\text{C} - 0,90 \cdot 18,0 = 4,8^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

und bei Erreichen von 63% des Temperatursprunges:

$$\begin{aligned} T_{(t_{63})} &= T_1 - 0,63 \cdot \Delta t \\ &= 21^{\circ}\text{C} - 0,63 \cdot 18,0 = 9,7^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Aus den Messdaten kann nun die Zeit bestimmt werden, die benötigt wird, bis die Temperatur  $T_{(t_{90})}$  bzw.  $T_{(t_{63})}$  angezeigt wird. Diese Zeit entspricht dem  $t_{90}$ -Wert (bzw.  $t_{63}$ -Wert) mit einer gewissen Näherung (vgl. Abb. 3).

Die Messreihe zeigt, dass die  $t_{90}$ -Werte extrem hohe Werte erreichen können, wie in diesem Fall ca. 39 Minuten für den internen Sensor und ca. 15 bzw. 18 Minuten

für die externen Sensoren aufweisen können. Diese Tatsachen müssen bei der Auswertung berücksichtigt werden (Tab. 3).

#### Fazit

Die Temperaturangleichung von Messgeräten erfolgt exponentiell und je nach Messgerät mit unterschiedlicher Anpassungsgeschwindigkeit. Ein Kennwert für die Reaktionsgeschwindigkeit ist der  $t_{90}$ -Wert, wobei dieser auf das zu messende Medium (z.B. Luft) bezogen sein muss. Leider werden die  $t_{90}$ -Werte vom Hersteller nicht immer angegeben. Der  $t_{90}$ -Wert kann mit dem vorgestellten Verfahren abgeschätzt werden. Der Einfluss der Reaktionszeit auf die Bewertung kann erheblich sein. Wenn eine Partei im Gerichtsverfahren diesen Einfluss hinterfragt, sollten Sie Ihr Messgerät kennen. Es wäre wünschenswert, wenn die Hersteller den  $t_{90}$ -Wert angeben und wenn ein normiertes Verfahren zur Bestimmung des  $t_{90}$ -Wertes zur Verfügung stände. Bis dahin kann das vorgestellte Verfahren Anhaltswerte liefern, wenn die  $t_{90}$ -Werte oberhalb von 90 Sekunden liegen. Beim Neukauf von Messgeräten sollte man auf kurze  $t_{90}$ -Werte achten.

#### Kontakt/Information

Dipl.-Ing. Rainer Huth  
von der Industrie- und Handelskammer Nord  
Westfalen öffentlich bestellter und vereidigter  
Sachverständiger für Stahlhochbau und für  
Schäden an Gebäuden

Herausgeber Internet-Fachforum:  
[www.muenster-baut-neu.de](http://www.muenster-baut-neu.de)

Ingenieurbüro Huth  
Beratende Ingenieure VBI  
Brockhoffstraße 4  
48143 Münster

Tel. 0251/532727  
Fax 0251/532173

[info@ib-huth.de](mailto:info@ib-huth.de)  
[www.ib-huth.de](http://www.ib-huth.de)