

3.3. Feuchtefühler

3.3.1 Auswahl des Feuchtefühlers

Zur Messung von Feuchtegrößen sind verschiedene Verfahren gebräuchlich:

Luftfeuchte:	Vorteile	Nachteile
Kapazitive Fühler	Der Sensor kann ohne Wartung über längere Zeiträume auch bei Minustemperaturen eingesetzt werden, Luftdruckunabhängig, arbeitet auch unter Druck.	Empfindlichkeit gegenüber Be-tauung und bestimmten ag-gressiven Medien, Begrenzte Langzeitstabilität.
Psychrometer	Keine Alterung des Sensors mit Ausnahme der Verschmutzung des Doctes, hohe Genauigkeit, mess-technisch hochwertig, problemlos bis 100%r.H. in allen Medien ein-setzbar.	Langzeitmessung durch den Wasservorrat und die Wartung des Doctes begrenzt, Bei Mi-nustemperaturen und niedri-gen Feuchten nur schwer ein-setzbar. Luftdruckabhängig
Hygrometer	Einfache und preiswerte Messtech-nik auch in verschmutzter Umge-bung, leicht zu reinigen.	Begrenzte Genauigkeit, einge-schränkter Messbereich, lang-same, träge Messung.
Taupunktspiegel	Hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit, großer Messbereich, Luftdruckunabhängig, auch für Minustemperaturen.	Aufwendiges Messverfahren, hoher Stromverbrauch, Ver-schmutzungsgefahr, nicht für schnelle Kontrollmessungen geeignet.
CCC*-Taupunktsonde nach Heinze	Hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit, großer Messbereich.	Aufwendiges Messverfahren, nicht für schnelle Kontrollmes-sungen geeignet. Nicht bei Mi-nustemperaturen
Materialfeuchte:		
Materialfeuchtesonde dielektrisch	Einfache und schnelle Messtechnik, zerstörungsfreie Berührungsmes-sung. Langzeiteinsatz möglich.	Begrenzte Genauigkeit.
Materialfeuchtesonde mit Leitwertprinzip	Einfache und schnelle Messtechnik	Begrenzte Genauigkeit. Son-deneinstiche, nur kurzzeitige Kontrollmessung.

Grundlagen der Feuchtemessung

In der atmosphärischen Luft ist immer Feuchte in Form von Wasserdampf vorhanden. Der Anteil des Wasserdampfes kann verschieden hoch sein. Der Sättigungsdampfdruck ist der bei gegebener Lufttemperatur über einer ebenen Wasseroberfläche maximal mögliche Partialdruck des Wasserdampfes. Er ist temperaturabhängig, daher gibt es bei jeder Temperatur eine Höchstmenge Wasserdampf, die in einer bestimmten Luftmenge maximal enthalten sein kann. Die Luftfeuchte wird entweder als **absolute Feuchte** oder als **relative Feuchte** angegeben:

Die **absolute Feuchtigkeit** wird auch als Wasserdampfgehalt bezeichnet. Sie gibt das Gewicht des Wasserdampfes an, das in 1m³ Luftwasserdampfgemisch enthalten ist. Da 1m³ je nach Druck und Temperatur eine unterschiedliche Luftmasse einschließen kann, ist es in vielen Fällen einfacher, die absolute Feuchtigkeit auf 1kg trockene Luft zu beziehen. Diese Größe wird als Mischungsverhältnis (MH) bezeichnet.

Die **relative Feuchte** (RH) ist das Verhältnis des Wasserdampfpartialdruckes (VP) in einem Wasserdampfluftgemisch zu dem Sättigungsdampfdruck (SVP) bei der Lufttemperatur (TT). Die Temperatur, bei der der Sättigungszustand eintritt (VP=SVP, RH=100%), wird Taupunkttemperatur (DT) genannt. Bei einer Unterschreitung dieser Temperatur fällt der Wasserdampf in Form von Tröpfchen aus. Die Enthalpie ist der Wärmeinhalt des Wasserdampfluftgemisches.

Sättigungsdampfdruck [mbar]	$SVP = C1 \cdot \exp(C2 \cdot TT / (C3 + TT))$ C1=6.1078 mbar, C2=17.08085, C3=234.175 K
Relative Feuchte [%H]	$RH = 100 \cdot VP / SVP(TT)$
Mischungsverhältnis [g/kg]	$MH = 622 \cdot VP / (SP - VP)$
Enthalpie [kJ/kg]	$h = 1.006 \cdot TT + 0.00186 \cdot MH \cdot TT + 2.5 \cdot MH$
Taupunkttemperatur [°C]	$DT = C3 \cdot \ln(VP / C1) / (C2 - \ln(VP / C1))$ VP = Wasserdampfdruck [mbar] SP = Luftdruck [mbar]

Feuchtemessung mit ALMEMO® Fühlern:

Bei Feuchtemessungen mit ALMEMO® Sensoren werden bei ALMEMO® Geräten automatisch wichtige Messwertfunktionen aktiviert. Die wichtigsten Feuchtgrößen (Temperatur, rel. Feuchte, Taupunkt, Mischungsverhältnis, Partialdampfdruck oder Enthalpie) können bei den entsprechenden Fühlern auf vier Kanälen programmiert werden. Bei Psychrometern wird außerdem die Funktion Luftdruckkompensation aktiviert.

3.3.2 Kapazitive Feuchtefühler

3.3.2.1 Analoge kapazitive Feuchtefühler

Messprinzip

Bei kapazitiven Sensoren ist auf einem Glassubstrat eine feuchteempfindliche Polymerschicht zwischen 2 Metallelektroden aufgebracht. Durch Wasseraufnahme entsprechend der relativen Luftfeuchtigkeit ändert sich die Dielektrizitätskonstante und damit die Kapazität des Dünnschichtkondensators. Das Messsignal ist direkt proportional zur relativen Feuchte und unabhängig vom Umgebungsdruck.

Messfühler

Mit den kapazitiven Feuchtefühlern FH A6x6 werden die Größen relative Feuchte und Temperatur direkt gemessen. Daraus lässt sich zunächst der Partialdampfdruck und damit Taupunkt und Mischungsverhältnis berechnen:

Partialdampfdruck [mbar]: $VP = RH/100 \cdot SVP(TT)$

Die Temperaturkompensation der Feuchte erfolgt bei den Standardfühlern FHA646-x passiv (Bereich "°orH").

Je nach ALMEMO® Gerätetyp und -version (ab 2003 durchgehend) ist ein zusätzlicher Messbereich "HcrH" für die ALMEMO® Feuchtefühler FHA646-xC verfügbar, bei dem die Feuchte über den gesamten Temperatureinsatzbereich aktiv (mit dem eingebauten NTC-Sensor) kompensiert wird.

Die Größen Lufttemperatur TT, relative Feuchte RH, Taupunkttemperatur DT und Mischungsverhältnis MH sind bei konfektionierten Fühlern bereits auf 4 Kanälen programmiert. Die Messgrößen TT und RH sind auf die beiden ersten Kanäle festgelegt, die Rechengrößen VP, DT, MH und h können auf den 3. und 4. Kanal gelegt werden. Ist eine Rechengröße angewählt, wird Temperatur und Feuchte laufend gemessen, um den angezeigten Wert zu aktualisieren.

Messgrößen	Bez. ALMEMO® Messbereiche	Bereich	Dim			
Lufttemperatur:	TT	-50.00 ...	100.00	°C	Ntc	°C
Relative Feuchte:	RH	0.0 ...	100.0	%rH	°orH	%H
Rel. Feuchte FHA646-xC:	RH	0.0 ...	100.0	%rH	HcrH	%H
Rel. Feuchte FHA646-R:	RH	0.0 ...	100.0	%rH	H rH	%H
Taupunkttemperatur:	DT	-25.0 ...	100.0	°C	F dt	°C
Mischungsverhältnis:	MH	0.0 ...	500.0	g/kg	F AH	gk
Partialdampfdruck:	VP	0.0 ...	1050.0	mbar	H UP	mb
Enthalpie:	h	0.0 ...	400.0	kJ/kg	H En	kJ

Da der höchstmögliche Wasserdampfdruck (Sättigungsdampfdruck) temperaturabhängig ist, hängt auch die relative Feuchte sehr stark von der Temperatur ab. Die relative Feuchte steigt bei fallender Temperatur und fällt bei steigender Temperatur.



Warten Sie bei der Messung der relativen Feuchte bis der Feuchtefühler und das Messmedium die gleiche Temperatur haben und sich im eingeschwungenen Zustand befinden. Temperaturschwankungen von nur 1°C können das Messergebnis schon bis zu 6% verfälschen.

Filterkappen

Die Feuchtesensoren sind mit einer Schutzkappe gegen mechanische Beschädigungen und gegen Schmutz/Staub geschützt. Je nach Anwendung stehen optional verschiedene Filtertypen zur Verfügung:

Typ	Bezeichnung	Porengröße	max. Temp.	typ. Anwendung
ZB9600SK7	Metallgitterfilter im PC-Gehäuse	100 µm	120°C	universell, für mittlere Schmutzbelastung, auch Hochfeuchte
ZB9600SK6	PTFE-Sinterfilter	50 µm	180°C	hohe chemische Beständigkeit
ZB9600SK8	Edelstahl-Sinterfilter	10 µm	180°C	für starke mechanische Belastung, hohe Schmutzbelastung, hohe Luftströmung

Wartung und Kalibrierung

Die kapazitiven Feuchtefühler FH A6x6 sind so konstruiert, dass sie mit nur geringem Wartungsaufwand fehlerfrei und zuverlässig arbeiten.

Beachten Sie deshalb die nachfolgenden Hinweise:



Die Standardfühler sind serienmäßig mit Staubschutzfilter ausgerüstet. Beim Einsatz in staubiger Luft verschmutzen die Filter. Tauschen Sie verschmutzte Filter rechtzeitig aus, weil sonst die Ansprechzeiten immer größer werden und Messwertverfälschungen auftreten können.



VORSICHT beim Öffnen der Schutzkappe!

Berühren Sie niemals den Feuchtesensor! Bei mechanischer Zerstörung des Feuchtesensors besteht kein Garantieanspruch.

Wenn Sie den Sensor längere Zeit bei hoher Luftfeuchtigkeit (>90%RH) einsetzen und sich Kondenswasser niederschlägt, dann müssen Sie mit fehlerhaften Messwerten oder sogar Messbereichsüberschreitungen rechnen.



Lassen Sie den Fühler in einem solchen Fall über mehrere Stunden bei möglichst niedriger Feuchte und bewegter Luft "austrocknen".

Überprüfen Sie in bestimmten Abständen von z.B. 1 Jahr (je nach Einsatzfall) die Messsonden und lassen Sie sie gegebenenfalls neu kalibrieren.

Technische Daten:

Feuchtesensor:	kapazitiver Dünnschichtsensor
Messbereich:	5 bis 98 %rH
Betriebstemperatur:	Standardbereich -20 bis +60 °C
FH A646-xC:	-20 bis +80 °C
FH A646-R:	-30 bis +100 °C
Nenntemperatur:	25 °C ± 3K
Max. Linearitätsabweichung:	± 2 %rH (5...98%rH) bei Nenntemperatur
Max. Hysterese:	1 %rH bei Nenntemperatur
Betriebsdruck:	atmosphärischer Druck FH A646-7 bis 16 bar
Temperatursensor:	NTC Typ N (10kW bei 25 °C)
Genauigkeit:	± 0.1 K (0...70°C)
Elektronik:	
Lagerungsbedingungen:	-20 bis +85 °C, 0...90 %rH, nicht kondensierend
Stromverbrauch:	ca. 2 mA

Kabelverlängerung für kapazitive Feuchtefühler

Die kapazitiven Feuchtefühler werden in der Regel mit 1,5 m Fühlerkabel ausgeliefert. Je nach Typ kann ab Werk auch ein längeres Fühlerkabel (bei FHA646-Ex, FHA646-AG, FHA646-5x bis 30m) geliefert werden. Der Typ FHA 646-R kann nur mit 2 m Hochtemperatur-Kabel geliefert werden.

Verlängerungen bis 4 m erfolgen für alle Typen FHA 646 mit den passiven Verlängerungskabeln ZA9060VK (siehe 3.10).

Verlängerungen bis 100 m erfolgen mit den intelligenten ALMEMO® Verlängerungskabeln ZA9060VKC (siehe 3.10). Diese Kabel sind für den Typ FHA 646-ExC (Bereich "HcrH") und auch für den Typ FHA 646-E1 in aktueller Ausführung (Bereich "°orH" mit Multiplexer M4 C-B) geeignet. Ältere Fühler FHA 646-x mit Bereich "°orH" lassen sich ebenfalls verwenden, wenn im Stecker-EEPROM der Multiplexer auf Stellung M4 C-B programmiert wird (über Software AMR-Control, Messstellen Programmieren, Multiplexer).

Mit den intelligenten ALMEMO® Verlängerungskabeln werden die Feuchteabgleichwerte des Fühlersteckers automatisch zum ALMEMO® Gerät übertragen. Somit ist der Fühler (vor Ort mit einem kurzen Kabel) einfach austausch- und kalibrierbar.



Fühler mit einer Mehrpunktkalibration an V6-Geräten können an das intelligente Verlängerungskabel ab der Revision R2E4 angeschlossen werden.

Die Genauigkeit der Feuchtemessung wird durch die Verlängerung nicht beeinflusst. Für die Temperaturmessung (mit dem eingebauten NTC-Sensor) ergeben sich durch die Verlängerung zusätzliche Abweichungen, die abhängig von der gemessenen Temperatur und der Kabellänge sind:

Temperatur NTC-Sensor °C	Widerstand NTC-Sensor Ohm	Fehler bei 5m °C	Fehler bei 10m °C	Fehler bei 50m °C	Fehler bei 100m °C
-20	97 080	0	0	0	0
0	32 650	0	0	0,01	0,02
25	10 000	0	0,01	0,03	0,06
50	3 603	0,01	0,02	0,09	0,18
70	1 752	0,02	0,04	0,21	0,42
100	678,3	0,06	0,13	0,65	1,3

Die angegebenen Werte sind typ. Abweichungen für Kabel mit Adernquerschnitt 0,14 mm². Das entspricht bei einer Kabellänge von 100 m typ. ca. 25 Ohm Schleifenwiderstand (= 2 Adern).

3.3.2.2 Digitale Kapazitive Feuchte-/Temperaturfühler

Messprinzip

Die analogen Signale eines kapazitiven Feuchte-Polymer-Fühlers und eines Temperatursensors werden von einem direkt gekoppelten Chip mit weitreichenden Funktionen verarbeitet.

Integriert sind je nach Ausführung die Analog / Digital-Wandlung, ein Mikrocontroller für Linearisierung, Temperaturkompensation und Rechenfunktionen (Taupunkt) sowie eine serielle digitale Schnittstelle als Ausgang.

Jeder einzelne Sensor wird gegenüber einer hochgenauen Referenz (z.Bsp. Taupunktspiegelhygrometer) kalibriert.

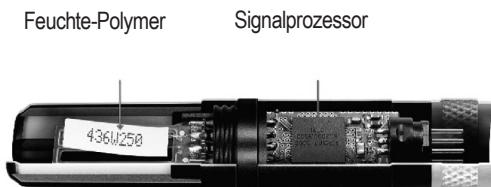
Die ermittelten Messwertabweichungen dienen als Justierwerte und werden im Sensorchip abgespeichert.

3

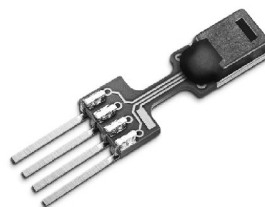
Vorteile

Da alle Abgleich- und Sensorkenndaten im Chip des Sensorelementes bzw. Fühlers gespeichert sind und die Signalübertragung digital erfolgt, ergeben sich im praktischen Betrieb erhebliche Vorteile:

- keinerlei zusätzliche Fehler durch Digital-Analog-Wandlung im Sensor und Analog-Digital-Wandlung im Messgerät
- (wie bei Analogausgangssignalen)
- hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse
- hohe Langzeitstabilität
- einfache Austauschbarkeit ohne Neuabgleich und Genauigkeitsverlust in der Messkette
- Werks- oder DKD-Kalibrierung des einzelnen Sensorelementes oder Fühlers bei voller Genauigkeit unabhängig von Anschlusskabel und ALMEMO® Messgerät



Präzisions-Feuchte-/Temperaturfühler
FHAD 36 RS



Sensorelement
FHAD460

Auswahl des Feuchte-/Temperaturfühlers

	FHAD 46 x	FHAD 36 RSx
allg. Beschreibung	Feuchte-/Temperaufühler	Präzisions- Feuchte-/Temperaturfühler mit weitem Temperatureinsatz- bereich
Einsatzgebiet	allg. Klimamessung Heizung-Lüftung-Klima, Lebensmittellager, Gesundheitswesen (Blutspendedienste, Krankenhäuser), Klima in Lagerhäusern, Gebäudeautomation, Papier-, Textil- und Pharmaindustrie	allg. Klimamessung Heizung-Lüftung-Klima, Lebensmittellager, Gesundheitswesen (Blutspendedienste, Krankenhäuser), Klima in Lagerhäusern, Gebäudeautomation, Papier-, Textil- und Pharmaindustrie
Einsatzbereich Feuchte	5...98% r.F.	0...100% r.F.
Einsatzbereich-Temperatur am Sensor	ohne Fühlerkappe: -20...+80°C mit Fühlerkappe: -20...+60°C	-50...+100°C
Einsatzbereich-Temperatur Elektronik	-20...+80°C	im Fühlerstecker: -40...+100°C
Einsatzbereich-Temperatur an ALMEMO® Fühlerkupplung	-	-40...+90°C

	FHAD 36 RICx	FHAD 36 RHKx
allg. Beschreibung	Industrie- Feuchte-/Temperaturfühler	Hochtemperatur-Handfühler
Einsatzgebiet	Prozessmessung in Industrie und Forschung, feste Montage	Kontrollmessungen in Luftkanälen, Trocknern, Klimakammern und Öfen
Einsatzbereich Feuchte:	0...100% r.F.	0...100% r.F.
Einsatzbereich-Temperatur am Sensor	-100...+200°C	max.+150°C bei Fühlerlänge 250 mm , max.+200°C bei Fühlerlänge 400 mm
Einsatzbereich-Temperatur Elektronik	im Fühlerstecker: -40...+100°C	im Handgriff: -40...+85°C
Einsatzbereich-Temperatur an ALMEMO® Fühlerkupplung	-40...+90°C	-40...+90°C

Auswahl des Filters (Sensorschutz)

für FHAD 46x

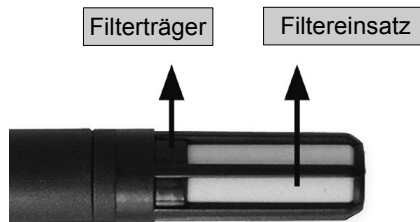
Zum Schutz kann das Sensorelement in eine geschlitzte Fühlerkappe ohne zusätzlichen Filter eingebaut werden (Abb., weitere Varianten siehe Ausführung ALMEMO®-D Messmodul für Feuchte / Temperatur FHAD 46)



für FHAD 36 RSx

Zum Schutz des Feuchte-Polymers und des Temperatursensors dient eine Filterkappe, bestehend aus einem schraubbaren Filterträger aus Polycarbonat und verschiedenen Filtereinsätzen mit unterschiedlichen Spezifikationen (siehe Tabelle 1: Typen und Eigenschaften Filtereinsätze) als Einheit:

Filterkappe	Bestellnr.
Filterträger Polycarbonat mit Filtereinsatz Polyethylen	ZB9636PE
Filterträger Polycarbonat mit Filtereinsatz Edelstahl-Drahtgewebe	ZB9636WM
Filterträger Polycarbonat mit Filtereinsatz Teflon	ZB9636TF

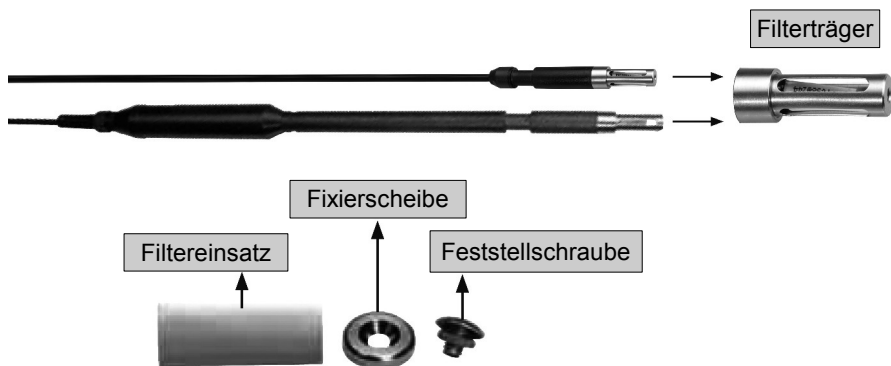


Die Feuchte- / Temperaturfühler Typ FHAD36RS werden mit einer Filterkappe bestehend aus Filterträger Polycarbonat mit Filtereinsatz Polyethylen geliefert !

für FHAD 36 RICx, FHAD 36 RHKx

Zum Schutz des Feuchtepolymeres und des Temperatursensors dient ein Filter, bestehend aus einem schraubbaren Filterträger (vernickelte Messing Schlitzhülse) und einem wechselbaren Filtereinsatz mit unterschiedlichen Spezifikationen (siehe Tabelle 1: Typen und Eigenschaften Filtereinsätze). Der Filtereinsatz wird über den Filterträger geschoben, mit einer Unterlegscheibe fixiert und einer Feststellschraube gesichert.

Filtereinsatz	Bestellnr.
Edelstahl-Drahtgewebefilter-Einsatz	ZB9636M15
Edelstahl-Sinterfilter-Einsatz	ZB9636S15
Teflonfilter-Einsatz	ZB9636T15



Die Feuchte- / Temperaturfühler Typ FHAD 36 RICx und FHAD 36R HKx werden werkseitig mit Filterträger und einem Edelstahl-Drahtgewebefilter-Einsatz geliefert ! Für spezielle Einsatzfälle kann ein weiterer Filtereinsatz (Lieferumfang: Filtereinsatz, Fixierscheibe, Feststellschraube) zusätzlich bestellt werden !

Typen und Eigenschaften Filtereinsätze:

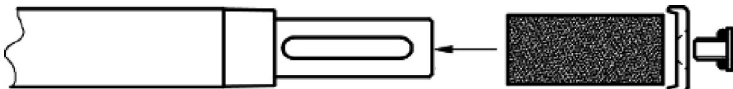
Material	Max. Temp.	Einsatz-Hinweise
Polyethylen	100 °C (212 °F)	Empfohlenes Filter-Material für alle Anwendungen unter 100 °C. Gute Reaktion und guter Schutz vor Feinstaubpartikeln. Keine Wasseraufnahme oder -speicherung.
Teflon	200 °C (392 °F)	Guter Schutz vor Feinstaubpartikeln und Salz (Meeresumgebungen). Mäßig verlangsamte Reaktion.
Edelstahl -Drahtgeflecht DIN 1.4401 (V4A)	200 °C (392 °F)	Bietet schnellste Reaktionszeit. Nicht empfohlen in Umgebungen mit Feinstaubpartikeln (Verstopfung) und in bioaktiven Umgebungen.
Edelstahl -Sinterfilter DIN 1.4401 (V4A)	200 °C (392 °F)	Gute Reaktion bei niedrigen Feuchte werten. Nicht bei hohen Feuchtwerten verwenden. Bietet besten Schutz vor abrasiven* Partikeln.

* abrasiver Verschleiß: der Abtrag von Oberflächen durch schleifende Medien

Wartung - Reinigung und Austausch des Staubfilters

Abhängig von den Messbedingungen ist der Filter von Zeit zu Zeit zu kontrollieren. Korrodierte, verfärbte oder verstopfte Filter sind auszutauschen.

- Bei Fühlern mit auswechselbarem Filtereinsatz (*FHAD 36 RICx*, *FHAD 36 RHKx*) ist nur der Einsatz auszutauschen (Metallträger bleibt auf dem Fühler).



2. Bei einem Fühler mit einer Kunststoff-Schlitzhülse (FHAD 36 Rxx) mit einem eingebauten Filterelement sind folgende Anweisungen zu befolgen:

- Filter vom Fühler abschrauben und gerade herausziehen, auf einer Linie mit dem Fühler, dabei nicht am Feuchte- und Temperatursensor hängenbleiben.
- Bevor Sie einen neuen Staubfilter aufschrauben, prüfen Sie die Ausrichtung beider Sensoren gegenüber dem Fühler. Die Drähte, die die Sensoren mit dem Fühler verbinden, sind sehr dünn und verbiegen sich leicht. Falls erforderlich, korrigieren Sie die Ausrichtung, indem Sie den Sensor sehr vorsichtig mit einem weichen Gegenstand (z.B. einem Kunststoffstab) in die richtige Stellung klopfen. Verwenden Sie keine scharfe Pinzette oder Zange, damit Sie den Sensor nicht versehentlich beschädigen. Ziehen Sie nicht zu fest am Sensor.

Ausführung Feuchte- /Temperatur-Fühler FHAD 46x mit ALMEMO®- D Messmodul

Der Anschluss an ALMEMO® Geräte erfolgt über ein Anschlusskabel mit digitalem ALMEMO®-D Messmodul im Stecker.

Es sind 4 Klimagrößen in einzelnen Messkanälen anzeigbar:

- ***Temperatur, relative Feuchte, Taupunkt, + 1 Funktionskanal Mischungsverhältnis oder Enthalpie***

Zusätzlich kann im ALMEMO® Stecker neben dem ALMEMO®-D Messmodul ein barometrischer Luftdrucksensor (Technische Daten wie FDAD12SA) eingebaut werden (Option OAD946AP). Damit ergeben sich folgende Anzeigewerte:

- ***Temperatur, relative Feuchte, Taupunkt, barometrischer Druck***

Kabelverlängerungen bis 100 m und verschiedene Anschlussmöglichkeiten stehen zur optimalen Anpassung an die jeweilige Messaufgabe zur Verfügung (siehe Handbuch Kapitel 3.0.1 und Katalog 2011/2012 Seite 09.08).

Kurze Verlängerungen können mit passiven Verlängerungskabeln bis 4m (ZA 9060 VK1/2/4) realisiert werden.



Die Summe der Kabellängen aller passiven Verlängerungskabel, die an einem ALMEMO® Messgerät angesteckt sind, darf 4 m nicht überschreiten. Bei größeren Längen kann je nach Umgebung der interne Geräte-Datenbus empfindlich gestört werden.








Über das USB-Datenkabel mit Versorgung (ZA1919DKUV) kann das ALMEMO®- D Messmodul direkt an einem PC betrieben werden.

Das Sensorelement wird steckbar mit dem ALMEMO®-D Anschlusskabel verbunden. Dadurch können preiswerte Ersatzelemente, einfach vor Ort von jedermann ohne Genauigkeitsverlust und ohne irgendeinen Abgleich ausgetauscht werden.

Für bestimmte Anwendungen (z.Bsp. Bauphysik) besteht die Notwendigkeit, die Sensor-Anschlüsse feuchtigkeitsgeschützt mit Silikon und Schrumpfschlauch zu ummanteln (Option W). Dann ist jedoch das Sensorelement nicht mehr steckbar !



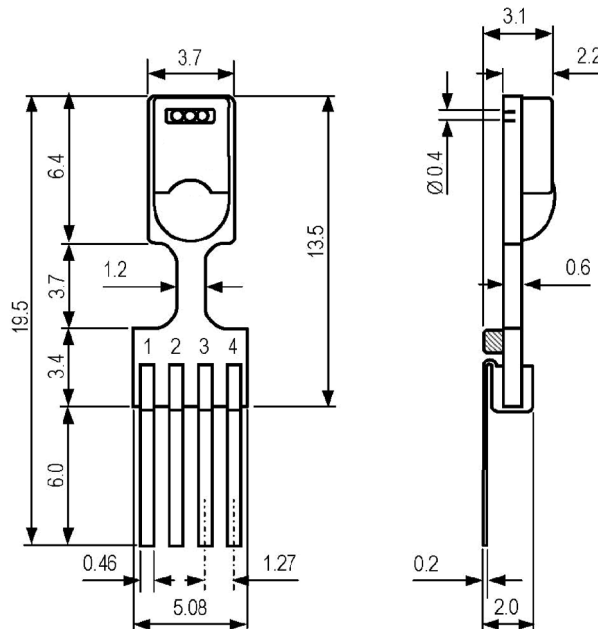
Ein Betrieb im Sleepmode ist nur mit Geräten mit Sleep-Verzögerung möglich (nur ALMEMO® 2590-2/3S/4S, 2690-8, 2890-9, 5690, 8590-9, 8690-9A, evtl. Update nötig) !

Ausführung/Bauform	Beschreibung	Bestellnr.
 freiliegendes Sensorelement: kleinste Bauform, kurze Ansprechzeit	ALMEMO®-D Messmodul für Feuchte / Temperatur mit ungeschütztem, steckbarem, digitalen Sensorelement inkl. ALMEMO®-D Anschlusskabel, Länge = 2 m Länge = 5 m Länge = 10 m	FHAD460 FHAD460L05 FHAD460L10
	Ersatz-Sensorelement zu FHAD460, digital, abgeglichen	FH0D460
	Option W: Sensor-Anschlüsse feuchtigkeitsgeschützt, Sensorelement nicht mehr steckbar !, Breite ca. 8 mm	OAD9460W
 Sensorelement eingebaut in geschlitzter Fühlerkappe: kompakte Bauform, kurze Ansprechzeit	ALMEMO®-D Messmodul für Feuchte / Temperatur mit steckbarem, digitalen Sensorelement in geschlitzter Fühlerkappe inkl. ALMEMO®-D Anschlusskabel, Länge = 2 m Länge = 5 m Länge = 10 m	FHAD462 FHAD462L05 FHAD462L05
	Ersatz-Sensorelement zu FHAD462 digital, in geschlitzter Fühlerkappe, abgeglichen Fühlerkappe Ø 8 mm, Länge 36 mm Steckverbindung Ø ca. 9 mm	FH0D462
	ALMEMO®-D Kabelstummel, Länge inkl. Fühlerkappe ca. = 80 mm	FHAD462L00
	Verlängerungsrohr Ø 8mm, Länge 97mm, steckbar, für FHAD462	ZB0D462VR
Luftdrucksensor im ALMEMO® Stecker eingebaut	Messbereich: 700 bis 1100 mbar Technische Daten wie FDAD12SA	OAD946AP

Technische Daten:

Einsatzbereich	
FHAD 460	-20...+80°C/ 5...98 % r.F.
FHAD 462	-20...+60°C/ 5...98 % r.F.
Feuchte-Messkreis	
Messbereich	0...100 % r.F.
Sensor	CMOSens® Technologie
Messdauer/Ausgabeperiode	ca. 3s
Genauigkeit	±1,8 % r.F. im Bereich 20...80 % r.F. bei Nenntemperatur
Hysterese	±1 % r.F.
Nenntemperatur	25 °C ±2 K
Sensorbetriebsdruck	atmosphärischer Druck
Ansprechzeit T ₆₃	typ. 10 s bei 25°C, 1 m/s
Temperatur-Messkreis	
Sensor	CMOSens® Technologie
Messdauer/Ausgabeperiode	ca. 3s
Genauigkeit	±0,3 K bei 25°C, ±1 K (±1,2 K) im Bereich -20...+60°C (+80°C)
Reproduzierbarkeit	±0,1 K
Ansprechzeit T ₆₃	typ. 10 s
Kabel	PVC, mit ALMEMO®-D Stecker (Längen siehe unter Ausführungen)

Abmessungen Sensorelement



Ausführung Präzisions-Feuchte- /Temperaturfühler FHAD 36 RSx, FHAD 36 RICx, FHAD 36 RHKx mit ALMEMO®- D Messmodul

Diese kapazitiven Feuchte-/Temperatur-Fühler mit integriertem Signalprozessor erfüllen die höchste Genauigkeitsklasse in der Feuchtemessung. Der Anschluss an ALMEMO® Geräte erfolgt über ein Anschlusskabel mit digitalem ALMEMO®-D Messmodul im Stecker.

Es sind 4 Klimagrößen in einzelnen Messkanälen anzeigbar:

- **Temperatur, relative Feuchte, Taupunkt, + 1 Funktionskanal Mischungsverhältnis oder Enthalpie**

Zusätzlich kann im ALMEMO® Stecker neben dem ALMEMO®-D Messmodul ein barometrischer Luftdrucksensor (Technische Daten wie FDAD12SA) eingebaut werden (Option OAD936RAP). Damit ergeben sich folgende Anzeigewerte:

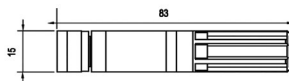
- **Temperatur, relative Feuchte, Taupunkt, barometrischer Druck**

Kabelverlängerungen bis 100 m und verschiedene Anschlussmöglichkeiten stehen zur optimalen Anpassung an die jeweilige Messaufgabe zur Verfügung (siehe Handbuch Kapitel 3.0.1 und Katalog 2011/2012 Seite 09.08).



Ein Betrieb im Sleepmode ist nur bei Geräten mit Sleep-Verzögerung möglich (nur ALMEMO® 2590-2/3S/4S, 2690-8, 2890-9, 5690, 8590-9, 8690-9A, evtl. Update nötig) !

1. FHAD 36 RSx



Anschlusskabel mit digitalem ALMEMO®-D Messmodul im ALMEMO® Stecker

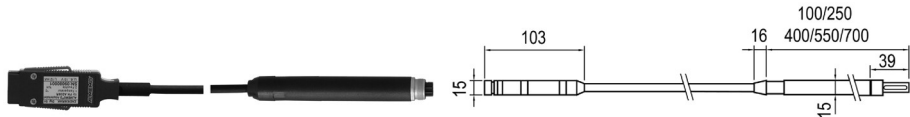
Feuchte-/Temperatur-Standardfühler

Ausführung/Bauform	Beschreibung	Bestellnr.
	Standard-Feuchte-/Temperaturfühler mit Steckeranschluss, inkl. Filterkappe mit Filterträger Polycarbonat und Filtereinsatz Polyethylen	FHAD36RS FHAD36RSL05
	inkl. Anschlusskabel mit ALMEMO®-D Stecker Anschlusskabel Länge = 2 m Anschlusskabel Länge = 5 m	
	Zusätzliche Filter siehe Punkt „Auswahl des Filters (Sensorschutz)“	

Technische Daten FHAD 36 RSx:

Einsatzbereich	-50...+100°C
Fühlergehäuse-Material	Polycarbonat
Ansprechzeit T ₆₃	< 15 s bei typ. 1 m/s
Zubehör	Haltewinkel für Wandmontage, siehe Katalog 2011/12, Seite 09.05 Best. Nr. ZB9600W

2. FHAD 36 RICx





Anschlusskabel mit digitalem ALMEMO®-D Messmodul im ALMEMO® Stecker	Hochtemperatur-Fühlerkabel und Steckeranschluss	Feuchte-/Temperatur-Industriefühler
---	---	-------------------------------------

Ausführung/Bauform	Beschreibung	Bestellnr.
	Industrie-Feuchte-/Temperaturfühler mit Filterträger, Hochtemperatur-Fühlerkabel und Steckeranschluss	
	inkl. Edelstahl-Drahtgewebefilter-Einsatz	
	inkl. Anschlusskabel mit ALMEMO®-D Stecker	
	Fühlerkabel L = 2 m, Anschlusskabel L = 2 m	FHAD36RIC102
	Fühlerkabel L = 5 m, Anschlusskabel L = 2 m	FHAD36RIC105
	Fühlerkabel L = 2 m, Anschlusskabel L = 5 m	FHAD36RIC102L05
	Fühlerkabel L = 5 m, Anschlusskabel L = 5 m	FHAD36RIC105L05
	Zusätzliche Filtereinsätze siehe Punkt „Auswahl des Filters (Sensorschutz)“	

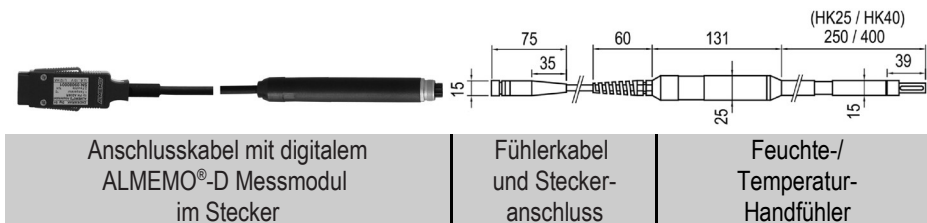
Technische Daten FHAD 36 RICx:





Einsatzbereich	-100...+200°C
Fühlerlänge	100 mm (Längen 250/400/550/700 mm auf Anfrage)
Fühlergehäuse-Material	PPS
Filterträger	Messing vernickelt
Filtereinsatz	Edelstahl-Drahtgewebe
Ansprechzeit T ₆₃	< 10 s bei typ. 1 m/s ohne Filter

Zubehör:

	Montageverschraubung für 15 mm Fühler: Messing vernickelt, Gewinde M20x1,5, Viton®-Dichtung, bis 200°C Best. Nr. ZB9636KV
	Montageflansch: Stahl vernickelt, Durchmesser 80 mm Best. Nr. ZB9636F

3. FHAD 36 RHKx



Ausführung/Bauform	Beschreibung	Bestellnr.
	Hochtemperatur-Handfühler mit Filterträger, 2 m Fühlerkabel und Steckeranschluss Einsatzbereich bis 150°C, Fühlerlänge = 250 mm Einsatzbereich bis 200°C, Fühlerlänge = 400 mm	FHAD36RHK25 FHAD36RHK40
	inkl. Edelstahl-Drahtgewebefilter-Einsatz	
	inkl. Anschlusskabel mit ALMEMO®-D Stecker, Anschlusskabel Länge = 0,3 m,	
	Zusätzliche Filtereinsätze siehe Punkt „Auswahl des Filters (Sensorschutz)“	

Technische Daten FHAD 36 RHKx:

Einsatzbereich	-100...+150°C bzw. 200°C (siehe Ausführg.)
Fühlerlänge	250 mm bzw. 400 mm
Einsatzbereich der Elektronik im Handgriff	-40...+85°C
Fühlergehäuse-Material	Schaft: PPS, Handgriff: POM
Filterträger	Messing vernickelt
Filtereinsatz	Edelstahl-Drahtgewebe
Ansprechzeit T ₆₃	< 10 s bei typ. 1 m/s ohne Filter

Gemeinsame techn. Daten FHAD 36 RSx, FHAD 36 RICx, FHAD 36 RHKx :

Einsatzbereich	je nach Fühlertyp, siehe auch Punkt „Auswahl des Feuchte-/Temperaturfühlers
Feuchte-Messkreis	
Sensor	kapazitiv
Messbereich	0...100 % r.F.
Justiert	bei 23°C und 10 %, 35 %, 80 % r.F.
Genauigkeit bei 23°C	±1,3 % r.F.
Wiederholbarkeit	0,5 % r.F.
Langzeitstabilität	< 1 % r.F. / Jahr
Temperatur-Messkreis	
Sensor	Pt100 1/3 Klasse B
Messbereich	-100...200°C
Genauigkeit bei 23°C	±0,2 K
Wiederholbarkeit	0,05°C
Langzeitstabilität	<0,1°C / Jahr
Einsatzbereich Elektronik	im Fühlerstecker -40...+100°C, bei Handfühlern im Handgriff -40...+85°C
Fühlerspannungsversorgung	über ALMEMO® Gerät, ca. 12 mA
Fühleranschluss	am Fühler / Fühlerkabel Steckeranschluss (Material: Alu-Anticorodal, eloxiert), IP65
ALMEMO® Anschlusskabel	Fühlerkupplung mit Kabel, Länge 2 oder 5 m bzw. 0,3 m bei Handfühlern (Material TPU, -40...+90°C), mit ALMEMO®-D Stecker
Option OAD936RAP	Luftdrucksensor im ALMEMO® Stecker eingebaut Messbereich: 700 bis 1100 mbar Technische Daten wie FDAD12SA, siehe Seite 11.12

Kalibrierung und Überprüfung

Sowohl der Feuchte- und Temperatursensor als auch die entsprechende Elektronik sind sehr stabil und erfordern nach der werksseitigen Anfangsjustierung keine Kalibrierung.

Für maximale Genauigkeit sollte die Kalibrierung eines Fühlers alle 6 bis 12 Monate überprüft werden.

Anwendungen, wo der Fühler Verunreinigungen ausgesetzt ist, können häufigere Überprüfungen erforderlich machen.

Ebenso wird bei nicht plausiblen Messwerten eine werksseitige Prüfung des Fühlers empfohlen.

Da alle Abgleich- und Sensordaten im Fühler gespeichert sind, können Werks- oder DKD-Kalibrierungen eines Fühlers unabhängig von Anschlusska-

bel und ALMEMO® Messgerät durchgeführt werden, ohne die Genauigkeit der gesamten Messkette zu beeinflussen.



Alle Ausführungen FHAD 46x, FHAD 36 RSx, FHAD 36 RICx und FHAD 36 RHKx werden inkl. Hersteller-Prüfschein ausgeliefert !

Richtlinien für beste Messergebnisse bei fester Installation

Installieren Sie den Fühler an einem Ort, wo die Feuchte- Temperatur- und Druckverhältnisse für die zu messende Umgebung repräsentativ sind.

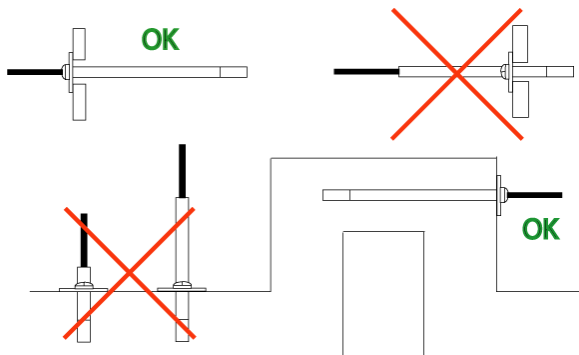
Folgendes ist zu vermeiden:

- Fühler zu nahe an Heizelement, Kühlschlange, kalter oder warmer Wand, direkte Sonneneinstrahlung etc.
- Fühler zu nahe an Dampf-Injektor, Befeuchter, oder direkter Niederschlag. usw.
- Instabile Druckverhältnisse bei großen Luftturbulenzen.

Bei Wandmontage des Fühlers ist dieser nicht direkt über einem Wärme erzeugenden Element des Gerätes wie z.B. Messumformer oder Ethernet-Adapter (Aufsteigen warmer Luft) zu montieren.

Nach Möglichkeit ist ein Ort zu wählen, an dem für gute Luftbewegung am Fühler gesorgt ist: Eine Luftgeschwindigkeit von mindestens 1 m/s beschleunigt und erleichtert die Anpassung des Fühlers an wechselnde Temperaturen.

Bei Montage des Fühlers durch eine Wand ist der Fühler so weit wie möglich in die zu messende Umgebung einzutauchen.



- Den Fühler so anordnen, dass sich kein Kondenswasser im Bereich der Anschlussleitungen des Sensors ansammeln kann. Installieren Sie den Fühler so, dass die Fühlerspitze nach unten zeigt. Wenn dies nicht möglich ist, installieren Sie ihn in horizontaler Position.
- Je nach Fühlermodell kann eine Fühler-Halterung (Montageflansch mit einer Konusverschraubung) die Wanddurchgangsmontage erleichtern.
- Wartungsarbeiten können vereinfacht werden, wenn neben dem Füh-

ler eine Wartungs-Öffnung vorbereitet wird. Während der Wartung kann so einfach ein Referenzfühler (Kalibrator) eingeführt werden. Die Öffnung sollte die gleiche Größe haben wie die zur Installation des Fühlers. Ein Halter für den Referenzfühler kann montiert werden.

Richtlinien für beste Messergebnisse mit Handfühlern

Die häufigste Fehlerquelle bei der Messung der relativen Feuchte ist ein Temperaturunterschied zwischen dem Fühler und der Umgebung.

Bei einer relativen Feuchte von 50 %rF führt ein Temperaturunterschied von 1 °C üblicherweise zu einem Fehler von etwa 3 % in der relativen Feuchte. Bei Verwendung eines Feuchtefühlers mit einem Handmessgerät hat es sich bewährt, die Anzeige auf Temperaturstabilität zu überwachen. Beim Bewegen des Fühlers aus einem Bereich in einen anderen muss dem Fühler ausreichend Zeit gegeben werden, um sich der zu messenden Umgebung anzugleichen. In Extremfällen kann sich an den Sensoren Kondensat bilden, wenn der Fühler kälter ist als die Umgebung.

Solange der zulässige Feuchte- und Temperaturbereich des Sensors eingehalten wird, hat die Kondensatbildung keinen Einfluss auf die Kalibrierung des Sensors. Der Sensor liefert jedoch erst dann wieder gültige Messwerte, wenn er völlig trocken ist.

Stehende Luft ist ein ausgezeichnete Isolator. Wenn sich die Luft nicht bewegt, können selbst in kleinen Abständen erstaunliche Unterschiede in der Temperatur und der Feuchte auftreten. Daher sorgt eine Zwangsbelüftung des Fühlers im Allgemeinen für schnellere und genauere Messungen.

3.3.3 Psychrometer

Messprinzip

Ein Psychrometer ist ein Präzisionsgerät mit zwei genauen Temperaturfühlern zur Bestimmung aller Feuchtegrößen. Einer der Fühler ist mit einem Baumwollstrumpf überzogen, der aus einem Wasservorratsbehälter ständig feucht gehalten und durch einen Luftstrom abgekühlt wird. Ist der eingebaute Ventilator nach Anstecken der Stromversorgung in Betrieb, so kühlt sich der befeuchtete Temperaturfühler je nach Lufttemperatur und Feuchte um einen ganz bestimmten Betrag ab. Aus dieser psychrometrischen Temperaturdifferenz lässt sich nach der Sprung'schen Formel der Wasserdampfpartialdruck und so alle mit der Luftfeuchte zusammenhängenden Größen berechnen:

Partialdampfdruck [mbar] (siehe auch 3.3.1)	$VP = SVP (HT) - C \cdot SP \cdot (TT-HT)$ $C = 0.00066 \cdot (1 + 0.00115 \cdot HT)$ $SP = \text{Luftdruck [mbar]}$
---	--

Messen

Die Feuchtegrößen können nur richtig berechnet werden, wenn die beiden Temperaturen ständig erfasst werden. Beim Ntc-Psychrometer wird dies automatisch durch abwechselnde Abfrage der beiden integrierten Ntc-Sensoren erreicht. Bei Pt100-Fühlern muss die Erfassung der beiden Temperaturen durch manuelle, zyklische oder kontinuierliche Messstellenabfrage gewährleistet werden.

Die richtige Messungen ist die sachgemäße Handhabung des Psychrometers sehr wichtig. Beachten Sie deshalb unbedingt folgende Hinweise:

1. Nach dem Anlaufen des Ventilators dauert es ca. 20-30s bis der Feuchtemperaturfühler abgekühlt ist. Erst danach erhalten Sie stabile Feuchtwerte.
2. Stellen Sie sicher, dass der Feuchtefühlers immer ausreichend befeuchtet ist. Im Zweifelsfall die Befeuchtung des Baumwollstrumpfes oder Doctes durch Sichtkontrolle prüfen. Verwenden Sie zur Befeuchtung des Doctes immer destilliertes Wasser. Andernfalls könnte der Docht verkalken.
3. Nur beim Handpsychrometer: Halten Sie den Psychrometergeber bei der Messung nach Möglichkeit so, dass der Wassertank unterhalb des Fühlers liegt und sich keine zusätzlichen Wassertropfen am Docht bilden. Wassertropfen am Trockenfühler oder im Ansaugrohr würden das Messergebnis verfälschen.
4. Wenn der Docht kein Wasser mehr annimmt (Verschmutzung oder Austrocknung), wechseln Sie den Baumwollstrumpf.
5. Die Luftgeschwindigkeit an der Ansaugöffnung muss mind. 2 m/s betragen. Achten Sie deshalb darauf, dass die Luftansaugung nicht behindert wird.
6. Nur beim Handpsychrometer: Wenn das BAT - Zeichen im Display erscheint, reicht die Versorgungsspannung des Lüfters nicht mehr aus und er erzeugt nicht mehr genug Luftgeschwindigkeit in der Ansaugöffnung. Wechseln Sie die Batterie aus.
7. Vermeiden Sie eine Erwärmung des Messkopfes durch fremde Wärmequellen oder den eigenen Körper.

Luftdruckkompensation

Bei der Berechnung des Partialdampfdruckes und auch des Mischungsverhältnisses geht der aktuelle Luftdruck SP in das Messergebnis ein und übt vor allem bei entsprechender Meereshöhe einen beachtlichen Einfluss aus. Deshalb kann der aktuelle Luftdruck zur Kompensation eingegeben oder sogar gemessen werden (s. 6.2.6). Die Eingabe über die Tastatur ist in der Bedienungsanleitung des jeweiligen Gerätes beschrieben.

Im ALMEMO® Fühlerprogramm gibt es 3 Psychrometer:

1. Handpsychrometer mit 2 Ntc's FN A846 (0...60°C), (Wasser, kein Eis)
2. Stationäres Psychrometer mit 2 Ntc's FN A846-3 (0...90°C), (Wasser, kein Eis)
3. Stationäres Psychrometer mit 2 Pt100 FP A836-3 (0...90°C), (Wasser, kein Eis)

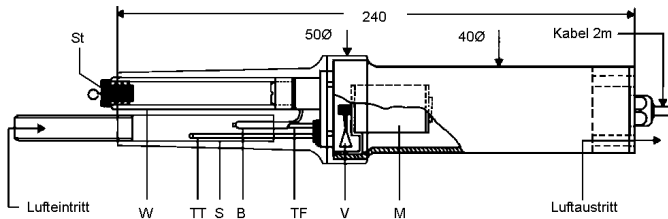
3

3.3.3.1 Handpsychrometer

Ntc-Psychrometer FN A846:

Der Fühler für die Trockentemperatur TT ist auf den ersten Messkanal und der für die Feuchttemperatur HT auf den zweiten Messkanal festgelegt. Die Rechengrößen Dampfdruck VP, rel. Feuchte RH, Taupunkttemperatur DT, Mischungsverhältnis MH und Enthalpie h können auf jeden Kanal als Messbereich programmiert werden, aber die ersten beiden Kanäle müssen in jedem Fall belegt sein (RH allein geht nicht!)

Messgrößen	Bez.	ALMEMO® Messbereiche			Bereich	Dim
Trockentemperatur	TT	-30.00 ...	100.00	°C	Ntc	°C
Feuchttemperatur	HT	-30.00 ...	100.00	°C	P Ht	°C
Taupunkttemperatur	DT	-25.0 ...	100.0	°C	P dt	°C
Relative Feuchte	RH	0.0 ...	100.0	% rH	P rH	%H
Mischungsverhältnis	MH	0.0 ...	500.0	g/kg	P AH	gk
Partialdampfdruck	VP	0.0 ...	1050.0	mbar	P UP	mb
Enthalpie	h	0.0 ...	400.0	kJ/kg	P En	kJ



Handpsychrometer FN A846

M = Motor
V = Ventilatorflügel
TT = Trockentemperaturfühler
TF = Feuchttemperaturfühler

B = Baumwolldocht
S = Strahlungsschutz
W = Wassertank
St = Stopfen mit Druckdorn

Wassertank füllen für Handpsychrometer

Zur Befeuchtung des Feuchttemperaturfühlers ist in Psychrometergebern ein Wassertank eingebaut. Je nach Ausführung wird er unterschiedlich befüllt.

1. Gummistopfen (St) abziehen und destilliertes Wasser eingießen.
2. Wassertank mit Stopfen (Draht abgezogen) verschließen.
3. Plexiglashaube abziehen und Psychrometergeber in eine Lage bringen, bei der der Wassertank oberhalb der Temperaturfühler liegt.
4. Wassertank nach links drehen (ca. 2-3mm), wodurch die Wasserzufuhr zum Baumwollstrumpf eingeleitet wird. Wenn der Baumwollstrumpf ein dunkleres und leicht glänzendes Aussehen erhält, Wassertank 1-2mm nach rechts drehen und dadurch die Wasserzufuhr drosseln.
5. Psychrometer in eine senkrechte Stellung bringen und beobachten, ob sich ein Wassertropfen bildet. Falls dies der Fall ist, Wassertropfen abtupfen. Sollte sich anschließend abermals ein Wassertropfen bilden, Wassertank nochmals ein wenig nach rechts drehen.
6. Plastikhaube wieder aufsetzen und Messung durchführen.
7. Nach den Messungen Draht in Verschlussstopfen einsetzen und Wassertank 1-2mm nach rechts drehen, um damit die Wasserzufuhr zum Baumwollstrumpf zu drosseln.

Unter bestimmten Bedingungen kann es zu einer Verkeimung des Wassers im Tank kommen. Deshalb muss der Tank ca. alle 6 Wochen gereinigt werden. Bei längeren Betriebspausen oder zum Transport sollte der Tank entleert werden.

Baumwolldocht wechseln für Handpsychrometer

Ein verschmutzter bzw. verkrusteter Baumwolldocht ist nicht mehr einwandfrei durchfeuchtet und verfälscht den Messwert. Je nach Luft- und Wasserreinheit muss er deshalb regelmäßig gewechselt werden.

1. Haube (Plexiglas) vom Psychrometergeber abziehen.
2. Wassertank abschrauben.
3. Baumwolldocht mit Gummi- und Plastikscheibe aus dem Boden des Wasserbehälters herausnehmen.
4. Neuen Baumwolldocht mit dem offenen Ende durch die Löcher der Gummi- und Plastikscheibe fädeln.
5. Fühlerspitze des kurzen Fühlers durch das Loch, 3 cm vor dem Ende, hindurchstecken, so dass sie an der abgebundenen Stelle fest anliegt. Baumwollstrumpf anschließend zusammen mit den aufgefädelten Scheiben auf den Boden des Wasserbehälters legen.
6. Wasserbehälter aufschrauben.

3.3.3.2 Stationäre Psychrometer FPA 836-3; FNA 846-3

Pt100-Psychrometer FPA 836-3:

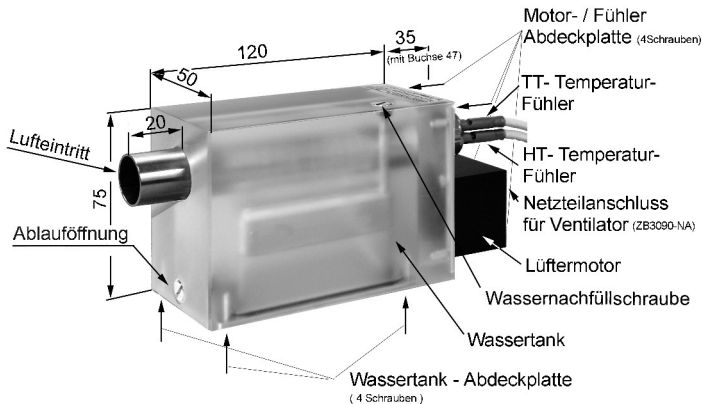
An jedes ALMEMO® Messgerät mit mind. 2 Eingangsbuchsen kann ein Psychrometer mit Pt100-Fühlern für Feucht- und Trockentemperatur angeschlossen werden. Alle Psychrometer-Messbereiche zur Bestimmung von Feuchtegrößen werden dabei unterstützt. Die beiden Pt100-Fühler müssen hintereinander angeordnet und den Bereich P204 aufweisen, die Feuchtegrößen müssen im zweiten Fühler auf dem 2. bis 4. Kanal programmiert werden:

Fühler	Mst	Bereich	Größe	Erklärung
Pt100	Mx:	P204	HT	Feuchttemperatur in °C *)
Pt100	Mx+1:	P204	TT	Trockentemperatur in °C *)
	2. Kanal	P rH	RH	Rel. Feuchte in %H
	bis	P dT	DT	Taupunkttemperatur in °C
	4. Kanal	P AH	MH	Mischungsverhältnis in g/kg
		P UP	VP	Partialdampfdruck in mbar
		P En	h	Enthalpie in kJ

*) Feucht- und Trockentemperaturfühler dürfen nicht vertauscht werden!

Programmierung Ntc-Psychrometer FNA 846-3:

Die Programmierung erfolgt analog dem Handpsychrometer, unter Punkt 3.3.3.1 Programmierung Ntc-Psychrometer FNA 846 auf Seite 3-3-8.



Wassertank füllen für stationäre Psychrometer:

1. Wassernachfüllschraube öffnen
 2. Destilliertes Wasser mit Hilfe der mitgelieferten Spritzflasche in den Wassertank einfüllen.
 3. Nachfüllschraube wieder eindrehen und Messung durchführen.
- Unter bestimmten Bedingungen kann es zu einer Verkeimung des Wassers im Tank kommen. Deshalb muss der Tank ca. alle 6 Wochen gereinigt werden.

Bei längeren Betriebspausen oder zum Transport sollte der Tank entleert werden.

Dochtwechsel für stationäre Psychrometer

Ein verschmutzter bzw. verkrusteter Baumwolldocht ist nicht mehr einwandfrei durchfeuchtet und verfälscht den Messwert. Je nach Luft- und Wasserreinheit muss er deshalb regelmäßig gewechselt werden.

1. Wassertank entleeren (siehe oben)
2. Wassertankabdeckplatte abschrauben
3. Motor- / Fühler- Halteplatte abschrauben und alten Docht vom HT-Fühler abziehen
4. Neuen Docht wassertankseitig ins Psychrometerrohr einführen und über HT-Fühler ziehen
5. Motor- / Fühler- Halteplatte anschrauben
6. Docht von Wassertankseite straff ziehen, Wassertankabdeckplatte anschrauben und Wassertank füllen.

Technische Daten

	FN A 846	FN A 846-3	FP A 836-3
Feuchtemessbereich	10 bis 100% rH		
Genauigkeit bei Nennbedingungen	±1 %rH		
Temperaturfühler	2 mal NTC Typ N (10 k bei 25°C)		2 mal Pt100
Genauigkeit	0 bis 70°C: ±0.1°C, 70 bis 90°C: ±0.4°C		PT100 nach DIN/EC 751
Betriebstemperatur	0 bis +60°C	0 bis +90°C	
Reproduzierbarkeit	< 1% rH		
Nennbedingungen	25°C ±3°C, 1013 mbar, 50% rH		
Luftgeschwindigkeit	ca. 2.5 m/s		
Betriebsspannung	9 V DC über ALMEMO® Gerät	12 V DC über externes Steckernetzteil ZB3090NA (optional: Netzteilverlängerungs- kabel 5 m ZB5090VK05)	
Stromverbrauch	ca. 10 mA	ca. 40 mA	
Abmessungen, Gehäuse	50 mm Ø, 245 mm lang Kunststoff	175 x 50 x 75 mm Kunststoff (ab 2003: Polycarbonat)	
Gewicht	ca. 300 g	ca. 890 g	

3.3.4 Materialfeuchtesonden

Grundlagen der Materialfeuchtemessung

Die Materialfeuchte spielt bei der Verarbeitung von Baustoffen, Holz und Papier wie auch der Beurteilung von Bodenqualitäten eine wichtige Rolle.

Sie kann mit sehr vielen Feuchtemessverfahren bestimmt werden. Die wichtigsten sind folgend aufgezählt:

Direkte Messverfahren:	Indirekte Messverfahren:
<ul style="list-style-type: none"> • Gravimetrische Methode (Darr-Methode) • Calciumcarbid-Verfahren (analytisch) • Karl-Fischer-Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Mikrowellen-Messverfahren • Infrarotreflexion/-absorption • Luftfeuchteausgleichverfahren • Feuchtemessung mit TDR (Wellenausbreitungsgeschwindigkeit) • Tensiometer (Bodenfeuchte, Kapillarkräfte im Boden) • Kapazitive Verfahren • Leitfähigkeitsmessverfahren

Kapazitive- und Leitfähigkeitsmessmethoden eignen sich besonders für schnelle Vergleichsmessungen. Feuchtigkeitsunterschiede können zerstörungsfrei ermittelt und Problembereiche dadurch schnell erkannt werden. Die Messwerte sind jedoch von verschiedenen Faktoren abhängig. Insbesondere Dichteschwankungen, unterschiedliche Inhaltsstoffe, Schwankungen in der Salzkonzentration bzw. Schichtdicke beeinflussen das Messergebnis. Die Messwerte dürfen deshalb normalerweise nicht als Absolutwerte interpretiert werden, es sei denn man verwendet immer das gleiche Material und führt zur Kalibrierung eine Referenzmessung durch.

Die Materialfeuchte kann durch verschiedene Kennwerte dargestellt werden:

– Feuchtegehalt bzw. Wassergehalt

ist das Verhältnis der Masse des im Stoff enthaltenen Wassers zur Masse des wasserfreien Stoffes

$$\text{Formel: } u_m = \frac{m_w}{m_{tr}} = \frac{(m - m_{tr})}{(m - m_w)}$$

– Feuchteanteil bzw. Wasseranteil

ist das Verhältnis der Masse des im Stoff enthaltenen Wassers zur Gesamtmasse des Stoffes

$$\text{Formel: } \psi_m = \frac{m_w}{m} = \frac{(m - m_{tr})}{(m_w + m_{tr})}$$

– Feuchtegehalt volumenbezogen

ist das Verhältnis des Volumens des im Stoff enthaltenen Wassers zum Volumen des wasserfreien Stoffes

$$\text{Formel: } u_v = \frac{V_w}{V_{tr}} = \frac{m_w}{V_{tr}} = u_m * \rho_{tr}$$

– Feuchteanteil volumenbezogen

ist das Verhältnis des Volumens des im Stoff enthaltenen Wassers zum

Gesamtvolumen des Stoffes

Formel:
$$\psi_V = \frac{V_w}{V} = \frac{m_w}{V} = \psi * \rho$$

Trockenmasseanteil

ist das Verhältnis der Trockenmasse zur Gesamtmasse

Formel:
$$T = \frac{m_{tr}}{(m_{tr} + m_w)} = 1 - u_m$$

– Absolute Trockenheit

m_w	= Masse des Wassers
m_{tr}	= Masse des wasserfreien Stoffes (Masse des trockenen Materials)
m	= Gesamtmasse der Probe (Masse des feuchten Materials)
V_w	= Volumen des Wassers
V_{tr}	= Volumen des wasserfreien Stoffes (Volumen des trockenen Materials)
V	= Gesamtvolumen der Probe
ρ	= Dichte der Probe
ρ_{tr}	= Dichte der wasserfreien Probe

Normung

Für absolut genaue Messungen ist die **Trockenschrank- bzw. Darr-Methode** unerlässlich. Dabei wird eine Materialprobe entnommen, gewogen und im Trockenschrank getrocknet, bis keine Gewichtsveränderung mehr feststellbar ist. Aus dem Gewichtsunterschied kann nun der Feuchtegehalt genau berechnet werden.

Dabei kommen je nach der Art des Materiales unterschiedliche Berechnungsmethoden zum Einsatz:

Holz (DIN 52183)	$u = 100\% * (NG - TG) / TG$
mineralische Baustoffe (DIN EN ISO 12570)	$u = 100\% * (NG - TG) / TG$
Papier und Pappe (DIN EN 20287)	$u = 100\% * (NG - TG) / NG$
Leder (DIN 53304)	$u = 100\% * (NG - TG) / NG$

NG = Nassgewicht

TG = Trockengewicht

Berechnung des massebezogenen Feuchtegehaltes in Baustoffen

$$u_m \text{ in } \% = \frac{(m_f - m_{tr})}{m_{tr}} * 100$$

$$u_m \text{ in } \% = \frac{f_v}{\rho} * 1000$$

u_m = massebezogener Feuchtegehalt des Materials in [%]

u_v = volumenbezogener Feuchtegehalt des Materials in [%]

m_f = Masse des feuchten Materials in [kg]

m_{tr} = Masse des trockenen Materials in [kg]

ρ = Rohdichte des Materials in [kg/m³]

3

Die Rohdichte (ρ) bezeichnet das Verhältnis der Masse eines Stoffes zu seinem Volumen einschließlich der Eigen- bzw. Zellporen. Die Rohdichte ist eine der wichtigen Kenngrößen für die Beurteilung von Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit u.a. von Baustoffen.

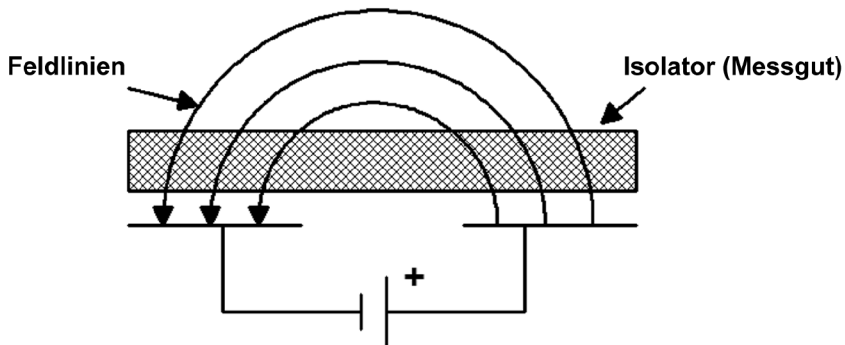
3.3.4.1 Kapazitive Materialfeuchtesonde

für mineralische Baustoffe, Hölzer, Papier und Pappe

Messprinzip

Der ALMEMO® Materialfeuchtegeber FH A696-MF nutzt die hohe Dielektrizitätskonstante von Wasser ($\epsilon_r=80$) zur sekundenschnellen Bestimmung der Feuchtigkeit in mineralischen Baustoffen, Holz, Papier und Pappe. Ein hochfrequentes elektrisches Feld durchdringt das zu messende Material und erzeugt durch Kapazitätsmessung (offener Kondensator) ein Spannungssignal, das der Materialfeuchte proportional ist.

Die Eindringtiefe des Messfeldes in das zu messende Material beträgt ca. 25mm, wobei die Feuchtigkeit auch tieferliegender Schichten mit erfasst wird.



ALMEMO® Materialfeuchtesonde

Die Messsonde FH A696-MF wird einfach an ein ALMEMO® Messgerät angeschlossen und ist sofort einsetzbar. Zeitraubende Messvorbereitungen sind nicht notwendig. Die Messsonde wird nur auf die Oberfläche des Prüflings aufgelegt und die Feuchtigkeit kann sofort abgelesen werden. Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen, kann das jeweilige Material am ALMEMO® Messgerät eingestellt werden.

Materialauswahl

Für die folgenden Materialarten sind 3 Messkanäle eingerichtet, individuell abgeglichen und mit einer charakteristischen Dimension versehen:

Messkanal	Auflös.	Dim	Bereich	Exp.	Basiswert
1. Mineralische Baustoffe	0.1 %	B%	d2600	3	vgl. Material
2. Holzarten	0.1 %	H%	d2600	3	vgl. Material
3. Papier und Pappe	0.1 %	P%	d2600	3	vgl. Material

Bei jeder Materialart gibt es eine Reihe von Materialgruppen, die durch einen spezifischen Offset gekennzeichnet sind. Dieser Offset muss im Messgerät als BASISWERT entsprechend der folgenden Tabellen eingegeben werden:

Mineralische Baustoffe:

Gruppe	Material	Basiswert
B1	Ytong	0.0
B2	Ziegel, Putz, Wandfliesen	2.5
B3	Sand, Zement, Eternitplatten, Bodenplatten, Anhydrit-Estrich	5.0
B4	Zementestrich, Beton	6.0
B5	Marmor	7.0

Holzarten:

Gruppe	Material	Basiswert
H1	Balsa	0.0
H2	Abachi, Samba	1.0
H3	Fichte, Gabun, Ilomba, Lauan, Meranti hell, Oregon, Pappel, Red-Pine, Tanne	2.0
H4	Carolinapine, Kiefer, Limba, Linde, Rosskastanie, Silberweide, Zeder	3.0
H5	Ahorn, Birke, Buche, Esche, Kirsch, Nuss, Pitsch-Pine, Roteiche, Ramin, Sipo, Teak, Ulme	4.0
H6	Apfel, Birne, Stiel- und Traubeneiche, Zebrano, Meranti dunkel, Merbau, Padouk, Weißbuche	5.0
H7	Hartfaserplatte, Jarrach, Keruing, Macore, Mahagony, Red Balau, Wenge	6.0
H8	Bongossi, Cocobolo, Ebenholz, Schlangenhholz	7.0

Bei dieser Gruppe muss außer dem Basiswert auch die Steigung auf 0.9 geändert werden!

Papier und Pappe:

Gruppe	Material	Basiswert
P1	Filterpapier, Seidenpapier	2.0
P2	Halbzellstoff, Krepp-Papier, Schrenzpapier, Testliner	2.5
P3	Verpackungspapier, Wellenpapier	3.5
P4	Kraftpapier	4.5
P5	Offsetpapier	5.5

Basiswert programmieren

Die Programmierung erfolgt nach folgendem Schema:

1. Mit der Messstellenauswahltaaste einen der drei Kanäle für die gewünschte Materialart (z. B. Kanal 2 mit H% für Hölzer) wählen.
2. Funktion BASIS anwählen.
3. Gewünschten Basiswert programmieren. Die Eingabe einer Steigungskorrektur erfolgt nach dem gleichen Schema (z.B. 0.9 für Gruppe H8).

Nullpunktkorrektur

Da die Umgebungsbedingungen die kapazitive Messung der Materialfeuchte stark beeinflussen, sollte der Nullpunkt vor jeder Messung überprüft und bei Bedarf korrigiert werden.

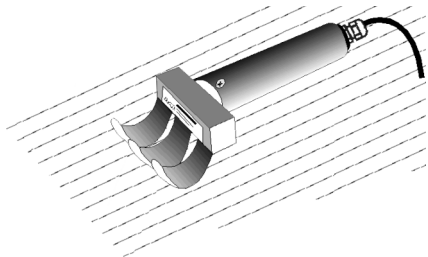
1. Sonde frei in die Luft halten. Das Messgerät muss den eingestellten BA-

SISWERT als negativen Messwert anzeigen.

2. Ist das nicht der Fall, nacheinander die Tasten EINGABE, \pm drücken, um den Messwert zu korrigieren.

Messvorgang

1. Messgerät einschalten.
2. Mit der Messstellenumschaltertaste die Materialart Baustoffe B%, Holz H% oder Papier P% einstellen.
3. Zur Änderung der Materialgruppe BASISWERT, gegebenenfalls die STEIGUNGSKORREKTUR entsprechend eingeben.
4. Nullpunkt überprüfen und gegebenenfalls korrigieren.
5. Sonde mit den Fühlern so auf das Material auflegen, dass die Messung quer zur Struktur des Materials (z.B. Maserung des Holzes) erfolgt.



Zur Messung den Kunststoff-Haltegriff am hinteren Ende anfassen (um eine Beeinflussung der Messung zu vermeiden, soll die Hand nicht in die Nähe des Sondenkopfes kommen, bzw. diesen nicht berühren).

6. Messwert ablesen. Zum Festhalten des Maximalwertes kann die Funktion MAXWERT des Messgerätes nützlich sein.

Dünne Materialien

Für Materialien, die dünner als 25mm sind (Sperrholz, Rigipsplatten, Papier), ist die Empfindlichkeit der Sonde zu gering (d.h. der Messwert ist zu niedrig). Man kann jedoch Vergleichsmessungen vornehmen und zu nasse Materialien herausfinden. Um die Feuchtigkeit in dünnem Material genau zu bestimmen, muss am Stapel bzw. Rolle gemessen werden. Metallplatten sind als Unterlagen zu vermeiden, da sonst der Messwert durch die Tiefenwirkung verfälscht wird.



Da Material-Faktoren wie Schichtdicke, Materialdichte, Trocknungs-umstände bei jeder Anwendung anders sind, ist es generell nicht möglich, den tatsächlichen Feuchtigkeitsgehalt eines Materials auf einer großen Fläche exakt zu bestimmen. Aufgrund unterschiedlichster Voraussetzungen vor Ort, die wir nicht kennen, kann aus Folgeschäden kein Haftungsanspruch gegen uns abgeleitet werden.

Überprüfung der Sonden

Zur Überprüfung des Sondenabgleiches gibt es 2 Justiermodule:

- ZB 9696-PE05 für den Baustoffkanal
- ZB 9696-PE30 für den Holz- und Papierkanal

Sie bestehen aus einem Kunststoff, dessen dielektrische Eigenschaft bei 0°C bis +30°C über Jahre hinaus konstant bleiben.

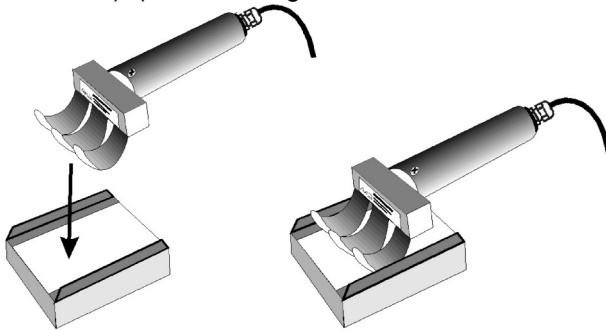
Prüfbedingungen

Die Überprüfung der Sonden mit dem Justiermodul sollte in einem geschlossenen Raum bei einer Zimmertemperatur zwischen 15°C und 25°C erfolgen. Messgerät, angeschlossene Sonde und Justiermodul müssen mindestens 1 Stunde in diesem Raum gelagert werden, bevor die Prüfung durchgeführt werden kann. Die Sonde muss sauber und trocken sein.

3

Justieranleitung

1. Programmierte Basiswerte löschen
2. Justiermodul mit der Aluminium-Seite nach unten auf einen Tisch legen.
3. Zur Messung des Nullpunktes, Sonde in die Luft halten. Die entsprechende Ausgangsspannung wird gemessen. Zeigt das Messgerät einen anderen Wert als Null an, nacheinander die Tasten EINGABE, ± drücken, um den Messwert zu korrigieren.
4. Sonde wie in der Abbildung gezeigt auf das Justiermodul drücken (Anpresskraft ca. 10 N). (Zur Messung siehe Hinweis auf Seite 3-3-16)



5. Die nun auftretende Ausgangsspannung, abzüglich des ermittelten Nullpunktwerthes, ist ein Maß für die Empfindlichkeit der Sonde.
6. Wenn der Basiswert gelöscht ist, müssen beim Aufsetzen der Sonde folgende Kontrollwerte angezeigt werden:

Im 1. Kanal Mineralische Baustoffe	auf Testblock PE05: 9.0 B%
Im 2. Kanal Holzarten	auf Testblock PE30: 12.0 H%
Im 3. Kanal Papier und Pappe	auf Testblock PE30: 8.5 P%
7. Sollte der Kontrollwert grob vom Sollwert abweichen, dann kann mit der Funktion Steigungskorrektur (SK) der Korrekturfaktor eingegeben werden, oder im Werk der Abgleich erneuert werden.

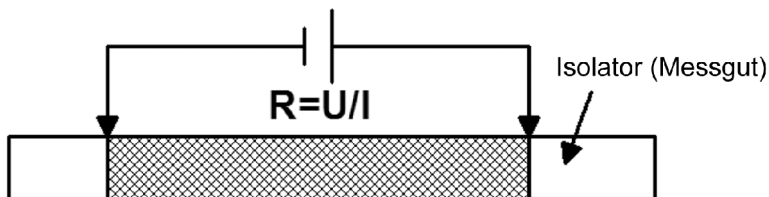
Technische Daten

Messverfahren	kapazitiv (Fa. Doser)
Messbereich	Min. Baustoffe 0 bis 20 % Feuchte Hölzer 0 bis 50 % Feuchte Papiere 0 bis 20 % Feuchte
Gehäuse	Kunststoffgriff 40mm \varnothing , 130mm lang
Anschlussblock	Aluminium/Kunststoff 20 x 25 x 70mm
Messkamm	nichtrostender Federstahl 0.5mm, 70 x 35mm
Gewicht	260 g
Nenntemperatur	15 bis 25°C
Einsatzbereich	0 bis +60 °C
Lagertemperatur	-20 bis +80 °C
Signalausgang	0 bis 2V
Spannungsversorgung	+8 bis +12V
Stromverbrauch	ca. 7mA

3.3.4.2 Leitwertsonde speziell für Holzfeuchte

Messprinzip

Die ALMEMO® Holzfeuchtesonde FH A636-MF arbeitet nach dem Leitwertprinzip. Dabei wird die Feuchtigkeitsabhängigkeit des elektrischen Widerstandes zur Bestimmung der Materialfeuchte ausgenutzt. Über die angespitzten Drahtelektroden, die in das Holz gedrückt werden, wird der elektrische Widerstand gemessen.



Der in den Sondenhandgriff eingebaute Mikroprozessor berechnet daraus die Materialfeuchte in Gewichtsprozent.

ALMEMO® Fühler

Die ALMEMO® Holzfeuchtesonde FH A636-MF ermöglicht die sekunden-schnellen Bestimmung der Holzfeuchte im Bereich 7-30%. Die Sonde besteht aus einem runden schwarzen Kunststoffgehäuse, an dem 2 Spannzangen angebracht sind. Zeitraubende Messvorbereitungen sind nicht notwendig. Die Messsonde wird einfach an ein ALMEMO® Messgerät angesteckt und ist sofort einsetzbar.

Messgröße	Messbereich	Auflös.	Dim	Bereich	Exp.
Holzfeuchte	7.0 ... 30.0	0.1 %	%	d2600	3

Messvorgang

Bei der Messung muss darauf geachtet werden, dass die Elektroden während der Messung in das zu messende Material eingedrückt werden.

1. Elektroden der Sonde so in das Material eindrücken, dass die Messung quer zur Struktur des Materials (Holzmaserung) erfolgt.
2. Messgerät einschalten.
3. Messwert ablesen. Zum Festhalten des Maximalwertes kann die Funktion MAXWERT des Messgerätes nützlich sein.



Zur Vermeidung von Fehlmessungen bei Oberflächenfeuchtigkeit gibt es Teflon-isolierte Messspitzen : 1Stück ZB9636MFST (je Sonde werden 2 Stück benötigt)

3

Auswechseln der Elektroden

Beim Wechseln der Elektroden muss das Spannfutter mit einem Gabelschlüssel (Spannweite 7mm) gehalten werden. Mit einem zweiten Gabelschlüssel (Schlüsselweite 7mm) kann nun die Spannmutter gelöst werden. Damit wird ein Verdrehen des Spannfutters und eine Beschädigung des Sondengriffes vermieden. Die Elektrode kann nun gewechselt werden. Beim Aufziehen der Spannmutter muss wieder darauf geachtet werden, dass sich das Spannfutter im Gehäuse nicht dreht.

Kalibrierung der Sonde

1. Sonde in die Luft halten (kein Material an den Elektroden) und Kontrollwert bestimmen. Der Sollwert beträgt für Messungen in Luft 7.0%.
2. Zur Kalibrierung Eichwiderstand mit 1GΩ anschliessen und Kontrollwert bestimmen. Der Sollwert beträgt mit Referenzwiderstand 12.0%
3. Sollte der Kontrollwert grob vom Sollwert abweichen, dann kann mit der Funktion STEIGUNGSKORREKTUR (SK) der Korrekturfaktor eingegeben werden oder der Abgleich im Werk erneuert werden.

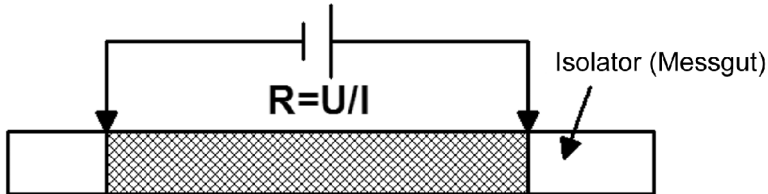
Technische Daten

Messverfahren	Leitwertprinzip
Messbereich	7 bis 30 % Holzfeuchte
Gehäuse	Kunststoffgriff Ø 40mm , 130mm lang
Messspitzen	nichtrostender Stahl, unisoliert, Ø 3 mm, 50 mm lang
Gewicht	260 g
Wiederholgenauigkeit	± 1%
Nenntemperatur	23°C ±2°C
Einsatz-/Lagertemperatur	0 bis +60 °C / -20 bis +80 °C
Signalausgang	0 bis 2V
Spannungsversorgung	7.5 bis +12V
Stromverbrauch	max. 10mA

3.3.4.3 Holzfeuchtesonde für Langzeitmessungen

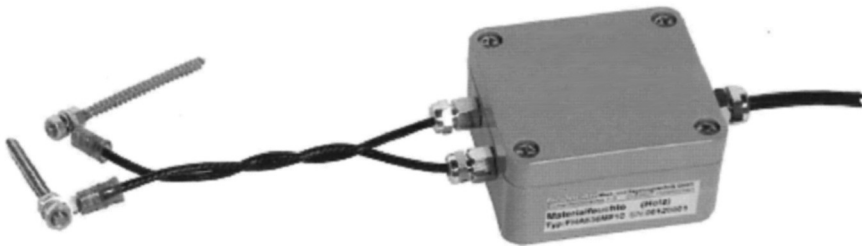
Messprinzip

Die ALMEMO® Holzfeuchtesonde arbeitet nach dem Leitwertprinzip. Dabei wird die Feuchtigkeitsabhängigkeit des elektrischen Widerstandes zur Bestimmung der Materialfeuchte ausgenutzt. Die im Lieferumfang enthaltene Edelstahl-Stockschrauben werden in das Holz eingeschraubt und der elektrische Widerstand zwischen ihnen gemessen.



Der im Elektronikgehäuse eingebaute Mikroprozessor berechnet daraus die Holzfeuchte in Gewichtsprozent.

Ausführung ALMEMO® Holzfeuchtesonde FHA 636 MF 10



Der Messstrom wird von der Sensorelektronik im Intervallbetrieb geschaltet (2 Minuten ein, 120 Minuten aus). Dadurch wird eine Materialversalzung bzw. Austrocknung im Holz zwischen den Elektroden verhindert. Spätestens 10 Sekunden nach dem Einschalten der Versorgungsspannung wird ein erster Messwert ausgegeben und 2 Minuten lang laufend aktualisiert. Danach bleibt der letzte Messwert bis zum Beginn des nächsten Intervalls gespeichert.

Einsatz und Montage

Der Sensor ist für Langzeitüberwachungen der Holzfeuchte in Gebäudeholzkonstruktionen (z.B. Dachkonstruktionen aus Leimbinderträgern) konzipiert und an alle

ALMEMO® Datenlogger anschließbar.

Die 2 Edelstahl-Stockschrauben M4 werden in einem Abstand von 2,5 cm quer zur Holzfaserrichtung in das Holz eingeschraubt.



Ein Betrieb der Geräte im SLEEP - Mode ist nicht möglich!

Technische Daten

Messverfahren	Leitwertprinzip
Messbereich	5 ... 50 % Feuchte (ca. 100 GΩ ... 10 kΩ)
Gehäuse	Metallgehäuse, L 65 x B 60 x H 35 mm mit Kabeldurchführungen
Messkabel	fest angeschlossen, 2 Sensorleitungen, PTFE-isoliert, Länge = 0,1 m (= max. mögliche Länge), mit Kabelschuhen in Ringform, Durchmesser 4 mm
Messspitzen	2 Edelstahl-Stockschrauben M4, Gesamtlänge = 60 mm, inkl. 4 Edelstahl-Muttern, 2 Edelstahl-Sicherungsscheiben
Montageabstand	2,5 cm quer zur Holzfaserrichtung
Einsatzbereich	0 bis +60 °C
Lagertemperatur	-20 bis +80 °C
Signalausgang	0,2 V entspricht 5 %, 2 V entspricht 50 % Holzfeuchte
Spannungsversorgung	über ALMEMO® Stecker
Anschlußkabel	PVC, Länge = 5 m, mit ALMEMO® Stecker

3.3.4.4 Materialfeuchtefühler zur Bestimmung des Wassergehaltes in Holz-Hackschnitzeln / -Pellets und Sägespänen

Allgemein

Es gibt eine Reihe von Methoden, um die Materialfeuchte bzw. den Wassergehalt von Granulaten mehr oder weniger genau zu messen, wie z.B. die Hygroskopische Methode, das Destillationsverfahren oder das Titrationsverfahren nach Karl Fischer.

Grundlagen Holzfeuchte und Wassergehalt

Eine ebenfalls sehr genaue Bestimmung erlaubt das sogenannte Darrverfahren:

Eine Holzprobe wird entnommen und gewogen. Anschließend wird sie bei einer Temperatur von $103 \pm 2^\circ\text{C}$ möglichst in einem ventilierten Ofen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Durch die Bestimmung des durch die Trocknung eingetretenen Gewichtsverlustes wird die Wassermenge festgestellt, die ursprünglich im Holzkörper vorhanden war. Für die Praxis relevant sind die *elektrischen Holzfeuchtemessverfahren*, bei denen entweder der Ohmsche Widerstand oder die dielektrischen Eigenschaften des Materials ausgenutzt werden, z.B. Wasser ($\epsilon_r = 80$) und Holz ($\epsilon_r = 1 \dots 7$). Hierbei muss die Rohdichte des zu messenden Holzes berücksichtigt werden, zudem beeinflussen der Faserverlauf zwischen den Elektroden oder auch die Eindringtiefe der Elektroden bei beiden Verfahren die Messergebnisse.

Definition Holzfeuchte

$$u \text{ in \%} = \frac{m \text{ (Wassermasse im Holz)}}{m \text{ (Trockenmasse des Holzes)}} * 100$$

Bei frischem oder nassem Holz kann die Holzfeuchte weit über 100% betragen (siehe Beispiel 2).

Beispiel 1:

Einer Holzprobe mit einer Masse („Gewicht“) von 100 g werden 40 g Wasser entzogen. Danach wiegt die Holzprobe nur noch 60 g. Es liegt also ein Verhältnis von 40 g entzogenem Wasser : 60 g Restgewicht Holz vor.

Nach der Formel

$$u \text{ in \%} = \frac{m \text{ (Wassermasse im Holz)}}{m \text{ (Trockenmasse des Holzes)}} * 100 = \frac{40}{60} * 100 = 66,67$$

beträgt bei dieser Holzprobe die Feuchte 66,67 %.

Beispiel 2:

Einer Holzprobe mit einer Masse („Gewicht“) von 100 g werden 60 g Wasser entzogen. Danach wiegt die Holzprobe nur noch 40 g. Es liegt also ein Verhältnis von 60 g entzogenem Wasser : 40 g Restgewicht Holz vor.

Nach der Formel

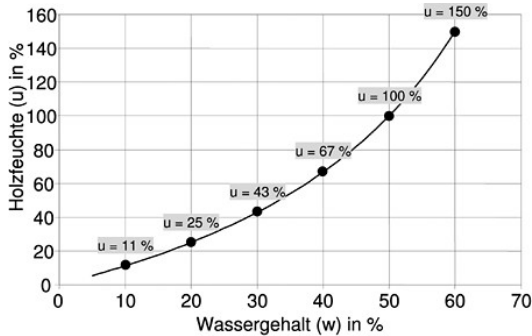
$$u \text{ in \%} = \frac{m \text{ (Wassermasse im Holz)}}{m \text{ (Trockenmasse des Holzes)}} * 100 = \frac{60}{40} * 100 = 150$$

beträgt bei dieser Holzprobe die Feuchte 150 %.

Definition Wassergehalt

$$w \text{ in \%} = \frac{m}{m} \frac{(\text{Wassermasse im Holz})}{(\text{Gesamtmasse des feuchten Holzes})} * 100$$

Der prozentuale Wassergehalt kann im Gegensatz zum prozentualen Holzfeuchtegehalt immer nur einen Wert < 100 % annehmen.



Die Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen Holzfeuchte (u) und Wassergehalt (w)

3

Holzfeuchte und Wassergehalt haben unterschiedliche Bedeutungen

In der Praxis darf die Holzfeuchte nicht mit dem Wassergehalt verwechselt oder gar gleichgesetzt werden; sie muss erst umgerechnet werden. Während sich die Holzfeuchte auf das Darrgewicht (absolut trockenes Holz) bezieht, beruht der Wassergehalt auf dem Verhältnis von Wasseranteil und Nassgewicht des Holzes (Gesamtmasse des feuchten Holzes). Untenstehende Tabellen stellen einfache Umrechnungsformeln dar, wie der Wassergehalt aus der Holzfeuchte und umgekehrt errechnet werden kann.

Umrechnungsformeln

Wassergehalt w (%) aus Holzfeuchte u (%)

$$w = \frac{u}{100 + u} * 100$$

Holzfeuchte u (%) aus Wassergehalt w (%)

$$u = \frac{w}{100 - w} * 100$$

Umrechnungstabelle

w	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
u	5	11	18	25	33	43	54	67	82	100	122	150

Normung

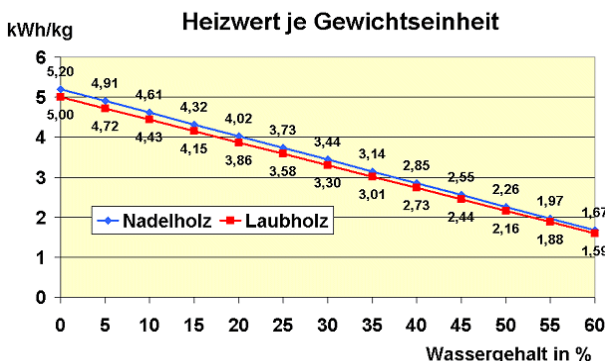
Das *Darrverfahren* ist die einzige Methode, die genormt ist (DIN 52 183) und somit auch als Kalibriermethode für die anderen Methoden Verwendung findet. In Österreich z.B. beschreiben die ÖNORM M 7132 ...7137 die Eigenschaften und Qualitätsmerkmale für Holz-Hackschnitzel und / -Pellets, in Deutschland die DIN plus.

Als Entwurf liegt mit Stand 2009 die Europäische Norm EN 15210 *Feste Biobrennstoffe - Bestimmung der mechanischen Festigkeit von Pellets und Briquettes* (Teil 1: *Pellets*; Teil 2: *Presslinge*) über Verfahren zur Bestimmung der mechanischen Festigkeit von festen Biobrennstoffen vor.

Ab 2010 wird eine EU-Norm gültig, die für eine einheitliche Regelung der Pelletsqualitäten sorgt. Die EU-Norm "Pellets EN 14961-2" soll die DIN-Normen, Ö-Normen und individuellen Regelungen auf den einzelnen Pelletsmärkten europaweit ablösen.

Heizwert

Der Heizwert von Holz ergibt sich aus dem Heizwert der in ihm enthaltenen Trockenmasse, von welchem die Energie abgezogen werden muss, die zum Verdampfen des Wasseranteils benötigt wird. Diese beträgt 0,63 Kilowattstunden je kg Wasser.



Die nebenstehende Grafik zeigt, wie mit zunehmendem Wassergehalt die nutzbare Energie sinkt !

Physikalische Einheiten der Energie (Heizwert)

1 MJ/kg = 1000 kJ/kg; 1 MJ = 0,27778 kWh bzw. 1kWh = 3,6MJ

Messprinzip

Der Fühler arbeitet nach dem Prinzip eines aufgeklappten Plattenkondensators. Die Kapazität des Kondensators hängt von der Material- (Dielektrizitäts)- konstanten des Stoffes zwischen den Platten ab. Wasser hat eine sehr hohe Dielektrizitätskonstante ($\epsilon_r = 80$) im Vergleich z.B. zu Luft ($\epsilon_r = 1$). Dadurch lässt sich der Wassergehalt eines feuchten Materials durch Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten dieses Materials ermitteln.



Ausführung ALMEMO® Materialfeuchtefühler FH A696-GF1



3

Die Elektrode des Gerätes berührt das zu messende Material, damit ein hochfrequentes elektrisches Feld das Material durchdringen kann. Ein Mikroprozessor empfängt die Messsignale und ermittelt aus dem Messwert unter Berücksichtigung der eingestellten Materialkurve den durchschnittlichen prozentualen Wassergehalt. Dabei stehen folgende Material-Basiskurven im ALMEMO® Stecker:

	Basis (BA)	Faktor (FA)
Holz-Hackschnitzel	-27,3	0,1833
Pellets	-11	0,0905

Einsatz

Der Stab-Fühler dient zur sekundenschnellen Bestimmung der Feuchtigkeit in Holz-Hackschnitzeln / -Pellets, Sägespänen, Getreide und anderen Granulaten.



Bei der Messung ist darauf zu achten, dass der Messradius bzw. die Eindringtiefe des Sensors ca. 10 cm beträgt. Das Messgut sollte optimal verdichtet sein (schütteln) ! Für reproduzierbare Ergebnisse gleich tief einstechen !

Sicherheitshinweise:

- Bedienungsanleitung beachten
- Gerät ausschliesslich entsprechend des bestimmungsgemässen Gebrauchs verwenden

- Kontakt des Gerätes mit spannungs- und stromführenden Teilen meiden.
- Gerät vor Nässe schützen
- Gerät vor Stoss schützen
- Gerät vor Wärmequellen schützen
- Gerät vor durch Gehäuseöffnungen eindringende Fremdkörper schützen
- Reparaturen, Wartung nur durch einen qualifizierten Fachmann
- Gerät vor elektrostatischen Entladungen schützen



Schäden, die durch Missachtung oben genannter Hinweise verursacht werden, sind vom Garantieanspruch ausgenommen.

Überprüfung

Eine Überprüfung der Sonde erscheint sinnvoll:

- bei mechanischer Beschädigung
- nach Einsatz unter extremen Bedingungen (z.B. hohe Temperaturen)
- bei nicht plausiblen Messergebnissen

Justierung ALMEMO® Materialfeuchtefühler FH A696-GF1

Zur Überprüfung des Fühlerabgleiches ist der Testblock ZB 9696 PE22 erhältlich.

Technische Daten Materialfeuchtefühler FH A696-GF1

Sonde/Bestellnr.	FH A696-GF1	
Messprinzip	kapazitiv	
Messbereich	0,0 bis 99,9 % Wassergehalt in Gewichts % H ₂ O	
Auflösung	0,1%	
Messradius/Eindringtiefe	ca. 10 cm um den Sensor	
Signalausgang	ALMEMO® (Spannung)	
Gewicht	300 g	
Abmessungen	Sensorkopf d = 22 mm L = 200 mm Spitze gerundet	verschraubbare Verlängerung d = 18 mm, L = 300 mm
		Endstück Kunststoff d = 22 mm, L = 30 mm
Materialtemperaturbereich	5 bis 40 °C	
Arbeitstemperaturbereich	5 bis 40 °C	
Lagertemperaturbereich	-20 bis 70 °C	
Kabelanschluss	Einbaustecker am Sensorkopf	
Kabel	PVC, Länge = 2 m, mit ALMEMO® Stecker, das Kabel wird durch die Verlängerungsrohre und das Endstück geführt	
Stromversorgung	5 V vom ALMEMO® Messgerät	
Stromverbrauch	ca. 5 mA	

Ermittlung einer kundenspezifischen Kennlinie für ein spezielles Material

Als Dienstleistung bietet die Firma Ahlborn die Programmierung kundenspezifischer Kennlinien für die Messung unterschiedlicher Granulate, z.B. Getreide o. Kunststoffe.

(Bestellnr.: OA 9696 GFK)

1. *Wir benötigen von Ihrem Granulat (z.B. Holz, Getreide, Kunststoff) eine Probenmenge von ca.10 Liter. Die Probenmenge sollte luftdicht verpackt sein, z.B. in Kunststoffolie eingeschweißt.*
2. *Wir ermitteln mittels verschiedener Darrproben die Kennwerte für Ihr Material.*
3. *Wir programmieren die Kennwerte in den ALMEMO® Stecker der Materialfeuchtesonde.*



Falls das Material kein Wasser aufnehmen kann (nicht hygroskopisch), dann ist auch eine Messung der Materialfeuchte nicht möglich. In diesem Fall wird nur eine (reduzierte) Bearbeitungsgebühr berechnet.

3.3.5 Bodenfeuchte-Tensiometer

3.3.5.1 Grundlagen der Saugspannungsmessung

Mit der Wasserspannungsmessung (Saugspannung) als unmittelbarer Meßgröße der Wasserverfügbarkeit von Böden für Pflanzen wird die Summe der Wasserhaltekräfte im Boden (außer osmotischem Potential, Differenzdruck- und Gravitationspotential) gemessen.

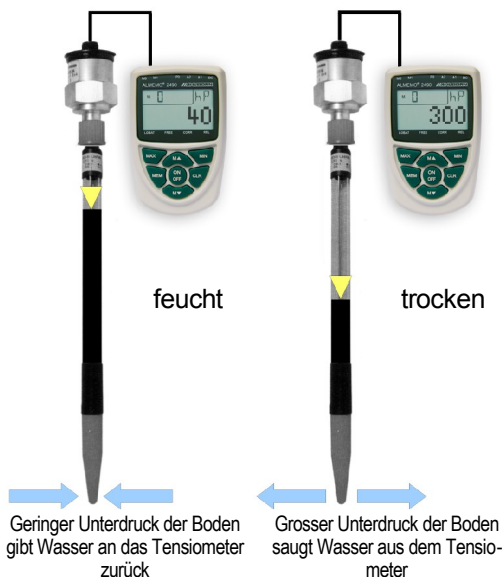
3.3.5.2 Physikalische Einheit der Saugspannung

Die Saugspannung bezeichnet physikalisch einen Unterdruck mit der Einheit:
 $1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa} = 1 \text{ cm Wassersäule}$

Der gemessene Unterdruck wird für die Beurteilung der Boden- / Substratfeuchte herangezogen, und als übertragbare Größe für diese mit positiven Zahlen beschrieben.

3.3.5.3 Messprinzip

Die Saugspannung wird mit einem sogenannten Tensiometer gemessen. Je nach Sättigungszustand des Bodens (bzw. Grundwasserspiegel) wird durch die als idealisiert semipermeable Membran betrachtete Keramik (Al_2O_3 Sintermaterial) Wasser vom ansonsten hermetisch dichten Tensiometer entsprechend der im Boden herrschenden Wasserspannung angesaugt. Der sich dadurch im Tensiometerrohr einstellende atmosphärische Unterdruck ist - unter Vernachlässigung der oben genannten Potentiale - abzüglich der vertikalen Tensiometerlänge gleich dem Wasserspannungswert im Boden. Dieser kann mit einem Manometer angezeigt oder mittels Drucksensor elektronisch weiterverarbeitet werden.



Typische Saugspannungswerte in Topfsubstraten in hPa

30-40	sehr feucht
50-120	feucht
150-200	abgetrocknet
>200	trocken

Typische Saugspannungswerte in Freilandböden (mittlere Bodenart)

<50	gesättigt
100-150	nass-feucht
>200	trocknet ab
200-500	Bewässerung

3.3.5.4 Vor- und Nachteile der Saugspannungsmessung

Vorteile	Nachteile
Messung der direkten Verfügbarkeit des Bodenwassers für die Pflanzen am Standort.	Messung punktuell
Messung nicht direkt abhängig von der Bodenbeschaffenheit (Messung in grobkörnigen und sehr lockeren Substraten möglich)	ganzjährige Messungen nur in frostsicherer Tiefe möglich oder bei Zusatz von Stoffen wie Polyethylenglykol
Messung erfolgt unabhängig vom Salzgehalt (z.B. durch Düngesalze) im Boden oder Pflanzsubstrat	Keine Aussage zum Wassergehalt in Vol % (muss für jede Bodenart gesondert ermittelt werden)

3

Besonderheiten der Saugspannungsmessung

Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur verursacht im Tensiometerrohr vorübergehend eine Minderung der Saugspannung, die in Abhängigkeit der Porosität der Tensiometerzelle mehr oder weniger schnell wieder abgebaut wird. Der Temperatureinfluss ist um so größer, je größer das augenblickliche Luftvolumen im Tensiometerrohr ist. Für genaue Messungen ist frühzeitig zu entlüften (siehe Handhabung) und das Tensiometer möglichst **nicht** der direkten Sonnenbestrahlung auszusetzen.

Bei Messungen mit langen Tensiometern ist eine Verrechnung der senkrechten Wassersäule im Tensiometerrohr erforderlich, da diese einen zusätzlichen Druck erzeugt. Weil aber der Messwert an der Keramikzelle interessiert, muss die Wassersäule in cm vom Anzeigewert abgezogen werden.

Die Korrektur erfolgt nach der Formel:

Saugspannung am Tonkörper = Messwert in hPa minus Höhe der Wassersäule in cm.

Beispiel für ein Tensiometer mit 20 cm Wassersäule:

Abgelesener Messwert in hPa	150 hPa
minus Wassersäule in cm	20 hPa (20 cm Wassersäule)
tatsächlicher Messwert	130 hPa

3.3.5.5 Einsatz

Bei bodenphysikalischen Untersuchungen kann mittels Tensiometern in verschiedenen Tiefen der Wasserhaushalt im Boden kontinuierlich gemessen werden. In Landwirtschaft und Gartenbau werden Tensiometer bei der Automation von Bewässerungsanlagen verwendet. Hierbei kann die Wassermenge so gesteuert werden, dass die Pflanzen optimal mit Wasser versorgt werden, ohne dass Wasser und Nährstoffe in den Untergrund ausgeschwemmt werden.

3.3.5.6 Begriffserklärung Tensiometer

Ein Tensiometer besteht aus einem Fühler-Unterteil und einer Tensiometer-Elektronik (Drucksensor bzw. Druckschalter) als Fühler-Oberteil. Der Begriff Stecktensiometer beschreibt im Folgenden nur das Tensiometerrohr mit Tonzelle, der Begriff Flächentensiometer nur den mit dem Substrat in Verbindung stehenden Tonfuss.

Auswahl des Tensiometers - Fühler-Unterteil

Bauart	Typ	Anwendung
Steck-tensiometer	L2 (ZB9602TML2)	Freilandböden und Kultursubstrate
	LV (ZB9602TMLV)	in flach wurzelnden Beetkulturen in grösseren Containern → für geringe Einstecktiefe u. trockenere Einstellung
	LKV2 (ZB9602TMK2)	in Topfpflanzen → für trockenere Einstellung bis 200 hPa
Flächen-tensiometer	FO (ZB9602TMFO)	in dünnen Substratschichten in lockeren oder granulierten Substraten (Seramis) → ca. 3-6 cm im Substrat einsenken) auf Substratoberflächen auf technischen Vliesen, Bewässerungsvliesen → bei Saugspannungen >300 hPa nur kurzfristiger Einsatz
	FV (ZB9602TMFV)	allg. Messungen auf feuchten Oberflächen → verbesserte Bruchfestigkeit durch Wärmeschrumpffolie

3.3.5.7 ALMEMO® Sensor Bodenfeuchte - Fühler-Oberteil

Die Tensiometer-Elektronik FDA 602TM1 ist ein Drucksensor mit dem Messbereich 0...1000 hPa Saugspannung, entsprechen Signalausgang 0...10 V/linear. Er kann wahlweise auf die verschiedenen Steck- bzw. Flächentensiometer (siehe Auswahl des Tensiometers - Fühler-Unterteil) aufgeschraubt werden. Die Verbindung zum Messgerät erfolgt mittels 7 m ALMEMO® Anschlusskabel (gehört zum Lieferumfang).

Über den ALMEMO® Stecker mit Spannungsteiler 100:1 (ZA 9602 FS/H) kann der Sensor mit allen ALMEMO® Geräten betrieben werden, die über den Bereich 'Diff-Millivolt2 DC (± 260 mV)' verfügen (siehe Geräteanleitungen). Die Parameter für Skalierung und Dimension sind im ALMEMO® Stecker hinterlegt, so dass der Messwert direkt in hPa Saugspannung angezeigt wird.

Tensiometer-Elektronik und ALMEMO® Anschlusskabel stehen auch einzeln als Ersatz zur Verfügung (siehe Technische Daten).

Mit Hilfe der ALMEMO® Relais-Trigger-Adapter ZA 8006 RTA3/4, ES5690RTA5 bzw. den Ausgangsmodulen ZA 1000 EGK/EAK oder ZA 1000 GK mit Relaisadapter ZB 2280 RA kann das ALMEMO® System auch zur Bewässerungssteuerung eingesetzt werden.

3.3.5.8 Handhabung

Vorbereitung



1 Tag – wässern

Der trockene Tonkörper muß zuerst einen Tag lang gewässert werden. Damit die Luft aus allen Poren entweichen kann, ist es günstig, wenn das Wasser zunächst einige Stunden einseitig einzieht, also erst das Rohr befüllt wird, bevor dann (über Nacht) der gesamte Tonkörper im Wasser steht. Eingeschlossene Luft kann die Tensiometerleistung am Anfang deutlich beeinträchtigen.

Befüllen



randvoll mit sauberem Wasser befüllen

Das Tensiometerrohr wird randvoll befüllt. Dafür eignet sich nicht zu hartes, sauberes Leitungswasser (ohne Düngerzusatz). Destilliertes Wasser ist nicht unbedingt erforderlich, obwohl man mit ihm Ablagerungen und einer frühen Veralkung vorbeugt. In sauerstoffreichem Wasser können sich mit steigendem Unterdruck zu Beginn zahlreiche Luftbläschen bilden, die jedoch keine Undichtigkeit anzeigen; abgekochtes Wasser bietet hier Abhilfe.

Verschliessen und Öffnen



Kappe nur leicht aufschrauben

Achtung! Der obere Rand (Dichtfläche) von Kunststoffgewinden kann mit einem harten Gegenstand beschädigt werden und Undichtigkeiten verursachen – nicht anschlagen!

Sensorkappe nicht zu fest aufschrauben! Zu hartes Zudrehen beschädigt die Dichtungen! Nach dem ersten leichten Widerstand nur noch etwa 1/4 Umdrehung zudrehen! Zum Öffnen wird zunächst die Kappe nach dem Aufschrauben hochgeschoben, um dann die Dichttülle seitlich anheben und abziehen zu können. Vor erneutem Verschließen müssen grundsätzlich Dichtfläche oder O-Ring und der obere Rand des Gewindestutzens gesäubert werden!

Einstecken allgemein

Für die einwandfreie, schnelle Wasserabgabe des Tonkörpers ist ein guter Kontakt mit dem Substrat oder Boden Voraussetzung. Außerdem muß ein Rest von Feuchtigkeit vorhanden sein, weil bei absolut trockenem Substrat oder Boden die Tensiometerfunktion nicht oder nur sehr schwer in Gang kommt.

in Topfpflanzen und Substratschichten:

Tonkegel muss vollständig von Substrat bedeckt sein



Bei lockerem Substrat wird das Steck-Tensiometer ohne vorzubohren direkt eingesteckt, insbesondere Typen mit dem kurzen Tonkegel. Eventuell kann das Substrat seitlich vom Tensiometer etwas angedrückt werden, um einen festen Stand zu erzielen. Am Tensiometerrohr sollte man später nicht wackeln, damit am Tonkegel kein Hohlraum entsteht. Bei Lang-Tonkegeln der Typen L oder LV empfiehlt es sich, das Loch dünn vorzustechen, damit die Kegel nicht unnötig belastet werden - kein seitlicher Druck, sonst Bruchgefahr!

Die Einsteck-Tiefe richtet sich nach der gewünschten Messtiefe. In jedem Fall muß so tief eingesteckt werden, daß der Tonkegel bedeckt ist.

in Bodenkulturen

möglichst tief einstecken



Zum Einstecken von längeren Tensiometern mit Lang-Tonkegeln wird in der Regel vorgebohrt, zum Beispiel mit einem Bohrstock (Probennehmer), Ø 25 mm. Sollte der Untergrund weich sein, läßt sich der Tonkegel das letzte Stück direkt einstecken (nur senkrecht drücken, sonst Bruchgefahr!), andernfalls muß er eingeschlämmt werden, wobei aber der obere Teil des Bohrloches nur locker verfüllt wird.

Die Einstecktiefe richtet sich nach der gewünschten Messtiefe, eventuell in Abhängigkeit von der Wurzelzone. Dabei sollte das Tensiometer nur soweit aus dem Boden ragen, dass die Wassersäule kontrolliert werden kann. Bei einem zu lang herausragenden Tensiometerrohr wirken sich Temperaturschwankungen ungünstig aus (Messfehler, höherer Wasserverbrauch).

Entlüften

Tensiometer regelmässig entlüften



Tensiometer der vorliegenden Bauart verbrauchen etwas Wasser, denn die Saugspannung entsteht durch Wasserabgabe mit geringen Verlusten beim Zurrücksaugen, insbesondere bei zunehmendem Luftvolumen im Rohr. Die größere Luftmenge verursacht zudem eine trägere Tensiometerreaktion. Tensiometer sollen deshalb regelmäßig kontrolliert und gelegentlich entlüftet werden, auch wenn sich die trägere Reaktion in der Bewässerungspraxis selten deutlich auswirkt. Als Empfehlung gilt: ein längerer Steck-Tensiometer für Bodenmessungen wird bei einer Luftsäule von ca. 10 cm aufgefüllt (entlüftet – befüllen siehe 8.2). Undichtigkeiten zeigen sich durch schnellen Wasserverlust schon nach 1-2 Tagen bei gleichzeitigem Abfall der Saugspannung. Dann sind zunächst Verschraubung und Gewindestutzen auf Verschmutzung und Beschädigung zu überprüfen, bevor die Ursache bei der Tonzelle oder einer Klebestelle vermutet wird (Tensiometer evtl. einsenden). Stecktensiometer KV 2

(für Topfpflanzen): Ein Entlüften und Nachfüllen während einer Vegetationsperiode ist durch die kurze Bauform kaum erforderlich, sofern diese Tensiometer im normalen Feuchtebereich eingesetzt werden (bis etwa 120 hPa). Es bildet sich ein Gleichgewicht zwischen Wasserfüllung und Luftvolumen.

Kontrolle



Tensiometer regelmässig kontrollieren

Eine regelmäßige Kontrolle ist ratsam, die durch vorsichtiges Herausziehen (drehend) und Kippen des Tensiometers erfolgt. Am Sichtfenster direkt unter der Kappe ist erkennbar, ob noch Wasser vorhanden ist. Beim Wiedereinstecken kann eine neue Position gewählt werden oder in das alte Einsteckloch wird lockeres Substrat eingefüllt, so dass die Tensiometerzelle wieder besseren Substratkontakt hat.

3

Wartung

Verschmutzung oder Veralgung des Tensiometerrohres am besten mechanisch mit einer Tüllenbürste (max. Ø 20 mm) reinigen. Hartnäckige Verschmutzung lässt sich auch mit einer 1 %-igen Zitronensäurelösung beseitigen. Die Tonfläche kann man mit feinstem Schleifpapier (Körnung 320) reinigen und auffrischen, jedoch nur wenn sie trocken ist.



Achtung! Fettige und ölige Stoffe oder Farben, die in die Poren einziehen, sind unbedingt von der Tonfläche fernzuhalten!

Bei Nichtgebrauch können Tensiometer entweder trocken oder auch der Tonkörper für nicht zu kurze Zeit in destilliertem Wasser gelagert werden. Letzteres dient der Regenerierung der Durchlässigkeit. Beobachtungen haben gezeigt, dass die Durchlässigkeit des Tonkörpers gelegentlich nachlässt, insbesondere im Zusammenhang mit intensiver Düngung.

Das Tensiometer kann über Winter auch im Boden verbleiben, wobei jedoch die Schraubkappe geöffnet werden soll, damit das restliche Wasser durchsickert.

3.3.5.9 Technische Daten

Tensiometer-Elektronik

Typ	FD 9602 TM1(Ersatz-Elektronik)	FDA 9602 TM1
Messbereich	0...1000 hPa	
Ausgangssignal	0...10 V / linear	
Versorgungsspannung	12-30 V/DC	12 V/DC über ALMEMO® Gerät
Betriebsbedingungen		
Einbaulage	vorzugsweise senkrecht	
Temperaturbereich	-20 bis +80 °C	
Schutzart	IP65	
Anschlusskabel	ZA 9602 AKTM1 (Ersatz-Anschlusskabel, 7m mit ALMEMO® Stecker)	7m mit ALMEMO® Stecker

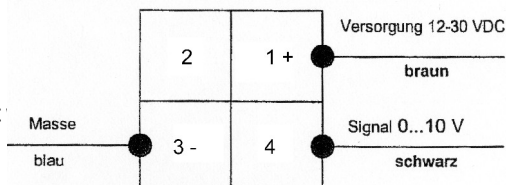


Achtung! Genannte Schutzart gilt nur bei Verwendung der standardgemäßen Steckereinheit (Kabel mit angespritztem Stecker) oder bei eigener Steckermontage durch Fachpersonal. Der Sensor darf nicht untergetaucht werden!

Anschlussbelegung

Kabelanschluss am Sensorstecker

Der Kabelschirm (blank) sollte auf Masse gelegt



Technische Daten Stecktensiometer

Typ	ZB 9602 TML2	ZB 9602 TMLV	ZB 9602 TMKV2
Messbereich	0...900 hPa		
Tonzelle	zylindrisch mit Spitze Ø 20 mm Länge 65 mm	zylindrisch mit Spitze Ø 15 mm Länge 40 mm	zylindrisch mit Spitze Ø 15 mm Länge 40 mm
Gesamtlänge	ca. 340 mm	ca. 210 mm	ca. 160 mm
Einstecktiefe	typ. 250 mm	typ. 120 mm	typ. 70 mm

Technische Daten Flächentensiometer

Typ	ZB 9602 TMFO	ZB 9602 TMFV
Messbereich	0...900 hPa	
Tonfuss	Ø 70 mm	Ø 70 mm
Gesamthöhe	65 mm	65 mm
Einsetztiefe	ca. 30-60 mm	

Weitere Längen und Ausführungen auf Anfrage

Etikettierung

Die Etikettierung eines Tensiometers beinhaltet folgende Daten:

die individuelle Prüfnummer T

die maximale Saugleistung der Tensiometerzelle 700-800-900 hPa

der Rücksaugfaktor als Maß für die Tensiometerreaktion 0,1-0,2-0,3 min.

3.3.6 Wasserdetektorsonde

Messprinzip

Die ALMEMO® Wasserdetektorsonde FH A936-WD arbeitet nach dem Leitwertprinzip. Dabei wird die Änderung des elektrischen Widerstandes zur Detektion von Wasser ausgenutzt. Über die Messelektroden wird der elektrische Widerstand gemessen.

ALMEMO® Fühler

Die ALMEMO® Wasserdetektorsonde FH A936-WD ermöglicht die sekunden-schnelle Detektion von ungebundenem Wasser vor allem im Baubereich an nicht einsehbaren Stellen (an Dichtfugen, unter Estrich usw.). Zeitraubende Messvorbereitungen sind nicht notwendig.

Messbereich	Auflös.	Dim	Bereich	Exp.
kein Wasser <10% Wasser >10%	0.1 %	%	d2600	3

Die Sonde besteht aus einem runden schwarzen Kunststoffgehäuse, an dem 2 Spannzangen angebracht sind. Die Messsonde wird einfach an ein ALMEMO® Messgerät angesteckt und ist sofort einsetzbar. Die Spannzangen können verschiedene Elektroden aufnehmen, die je nach Anwendungszweck unterschiedlich ausgeführt sind:

1. unisoliert mit abgerundeter Spitze 200 mm lang 3 mm Durchmesser
2. unisoliert mit scharfer Spitze 50 mm lang 3 mm Durchmesser
3. Federstahlband 200 mm lang 6 mm breit

Überprüfung der Sonden und Messvorgang

Vor der eigentlichen Messung sollte die Sonde einer Funktionsprüfung unterzogen werden. Dazu werden die Elektroden in ein Wasserbad gehalten. Das Messgerät sollte dann den Wert 100% anzeigen. Weicht der Kontrollwert grob vom Sollwert ab, muss die Sonde in unser Werk zurückgeschickt werden um den Abgleich zu erneuern.

Bei der Messung selbst muss darauf geachtet werden, dass die Elektroden während der Messung je nach Anwendung satt auf dem zu messenden Material aufliegen oder in das zu messende Material eingestochen werden:

1. Elektroden der Sonde auf das Material drücken.
2. Messgerät einschalten.
3. Messwert ablesen. Zum Festhalten des Maximalwertes kann die Funktion MAXWERT des Messgerätes nützlich sein.



Wird die Sonde in die Luft gehalten, wird ein negativer Wert angezeigt, da im Stecker die notwendigen Korrekturwerte abgelegt sind.

Auswechseln der Elektroden

Beim Wechseln der Elektroden muss das Spannfutter mit einem Gabelschlüssel (Spannweite 7mm) gehalten werden. Mit einem zweiten Gabelschlüssel (Schlüsselweite 7mm) kann nun die Spannmutter gelöst werden. Damit wird ein Verdrehen des Spannfutters und eine Beschädigung des Sondengriffes vermieden. Beim Aufziehen der Spannmutter muss wieder darauf geachtet werden, dass sich das Spannfutter im Gehäuse nicht dreht. Nach dem Elektrodenwechseln ist kein Neuabgleich erforderlich.

Technische Daten:

Messverfahren	Detektion von Wasser
Messwerte	<10% kein Wasser vorhanden
	>10% Wasser vorhanden
Gehäuse	Kunststoffgriff Ø 40mm, 130mm lang
Elektroden	nichtrostender Stahl
Gewicht	260 g
Nenntemperatur	23°C ±2°C
Einsatz-/Lagertemperatur	0 bis +60 °C / -20 bis +80 °C
Signalausgang	ALMEMO® (ca. 0 bis 2V)
Spannungsversorgung	7.5 bis 15V
Stromverbrauch	max. 10mA

3.3.7 Taupunktsensoren

3.3.7.1 Messprinzipien

Zur Bestimmung von Feuchtgrößen mit Hilfe des Taupunktes wird ein Messelement mit Peltierelementen solange gekühlt, bis das Messelement beschlägt. Die auf diese Weise erreichte Temperatur wird als Messwert Taupunkttemperatur ausgegeben. Sie ist von Umgebungstemperatur und Luftdruck völlig unabhängig und damit eine sehr genaue und zuverlässige Feuchtemessmethode. Zur Detektion des Taupunktes sind zwei Verfahren gebräuchlich:

Taupunkt-Spiegelmethode

Als Messelement wird ein Spiegel verwendet, der mit einem Lichtsensor optisch überwacht wird. Die Änderung der Lichtreflexion, die durch die Betauung hervorgerufen wird, zeigt den Taupunkt an.

3

CCC-Taupunktprinzip nach Heinze

Statt des gekühlten Spiegels befindet sich auf dem integrierten Sensorchip ein gekühlter Streufeldkondensator mit kapazitiver Kondensatdetektion (Condensate Controlled Capacitance), der auf einem Miniaturkühlelement montiert ist. Die aktive Sensorfläche, die mit dem Messmedium in Berührung steht, ist eine hygroskopisch neutrale verschleißfeste und chemisch beständige Isolierschicht, unter der sich der Streufeldkondensator befindet. Die Kapazität steigt nahezu sprunghaft, wenn sich Wasserkondensat bildet.

Der Sensoreinheit ist jeweils ein Regelkreis nachgeschaltet, mit dem der Betriebsstrom des Kühlelements so geregelt wird, dass sich ein definiertes Kondensat einstellt. Die daraus resultierende Taupunkttemperatur (eigentliche Messgröße ist die Sensoroberflächentemperatur) wird mit einem integrierten Temperatursensor gemessen und in auswertbarer Form ausgegeben.

3.3.7.2 Betauungsdetektor

Beschreibung und Anwendung

Der ALMEMO® Betauungsdetektor FH A946-1 dient zur Ermittlung von Betauungszuständen. Er besteht aus einem Temperatursensor NTC Typ N (1. Messkanal) und einem CCC-Taupunktsensor (2. Messkanal). Die dazugehörige Auswerteelektronik ist im ALMEMO® Stecker integriert. Der Betauungsdetektor liefert kein kontinuierliches Messsignal, sondern eine Sprungfunktion (0 >> 100%). Diese entspricht einer skalierten Spannung von ca. 0 bis 1 V. Damit der Sensor bei trockener Sensoroberfläche ("nicht betaut") exakt die Größe "0%" und bei kondensierter Sensoroberfläche ("betaut") die Größe "100%" liefert, ist die Ausgabefunktion Alarm programmiert (s. 6.10.4). Bei älteren ALMEMO® Geräten wird diese Funktion nicht unterstützt, sodass auch Zustände zwischen 0 und 100 entsprechend einer Teilbetauung der Sensoroberfläche auftreten können.

Der Betauungsdetektor wird möglichst an der kältesten Stelle des Messobjektes angebracht.



Achten Sie dabei auf einen guten Wärmekontakt (z. B. mit Hilfe von Wärmeleitpaste/-kleber) zwischen Sensorrückseite und Messstelle.

Der Stromverbrauch ist sehr gering (ca. 3mA) und ermöglicht so den Einsatz von Batteriegeräten auch für längere Messwertaufzeichnungen. Um dabei Speicher zu sparen, kann der Betauungsdetektor als EIN-AUS-Schalter für die automatische Messwertaufnahme eingesetzt werden, d. h. Messwerte werden erst im Falle der Betauung aufgezeichnet. Dabei können dann auch weitere Messgrößen wie Temperatur und Feuchte mit Uhrzeit und Datum protokolliert werden. Somit eignet sich der ALMEMO® Betauungsdetektor FH A946-1 besonders für Kontrollmessungen z. B. in der Bauphysik.

Technische Daten

Einsatzbereich	0°C bis +70°C (keine Eisbildung, keine salzhaltige Atmosphäre)
Einstellzeit	Endwert nach 2 bis 60 sec
Temperatursensor	NTC Typ N (10 k bei 25°C), Genauigkeit: $\pm 0.1^\circ\text{C}$ (im Einsatzbereich)
Signalausgang	skalierte Spannung ca. 0 bis 1 V
Wärmeleitplatte	Aluminium, 40 x 40 mm
Lagertemperatur	-10°C bis +70°C

3.3.7.3 Taupunktsensor Typ FHA 646 DTC1

Sicherheitshinweise

Vor Inbetriebnahme lesen!

Achtung: Druckbereich >50 bar bei Standardversion nicht überschreiten. Bei Sonderversion bis 350 bar.

Messbereiche des Messwertaufnehmers beachten!

Bei Überhitzung werden die Fühler zerstört.

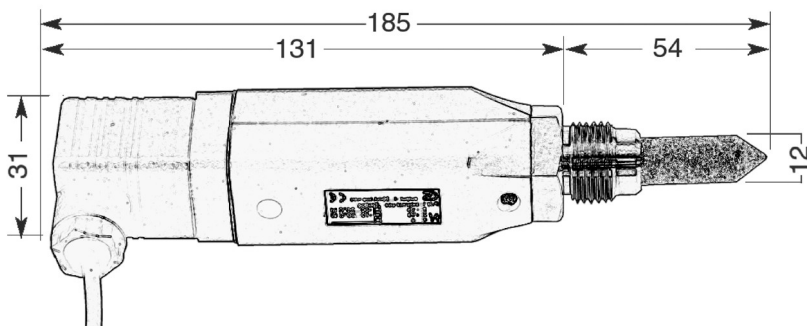
Zulässige Lager- und Transporttemperatur sowie die zulässige Betriebstemperatur beachten (z. B. Messgerät vor direkter Sonneneinstrahlung schützen). Bei Öffnen des Geräts, unsachgemäßer Behandlung oder Gewaltanwendung erlöschen die Gewährleistungsansprüche! Einstell- und Kalibrierarbeiten nur durch qualifiziertes Personal aus der Mess- und Regeltechnik durchführen lassen.

Wichtig: Vor der Installation kurz Druckluft abströmen lassen um Kondensat und Partikel zu entfernen. Verhindert die Verschmutzung des sensors. Stehende Luft führt zu langen Messzeiten.

Beschreibung

- Besonders geeignet für präzise und langzeitstabile Taupunktmessung
- Digitale Messwertübergabe an das ALMEMO® Anzeigergerät (keine Ungenauigkeiten vom Anzeigergerät oder Leitungen)
- Hohe Genauigkeit bis -80°C
- Schnelle Ansprechzeit
- Angezeigte Größen: Temperatur, rel. Feuchte, Taupunkt
- Prozessanschluss für hohe Drücke (optional bis 350 bar)

Maße



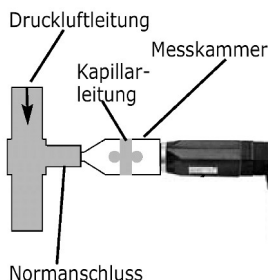
Installation

Hinweis: Bei besonders kritischen und kostenintensiven Produktionen empfehlen wir zur Sicherheit ein 2. Messgerät zu installieren und mit der Option Schaltkontakt zu überwachen.



Direkt im Druckluftnetz

Fühler mit dem G 1/2"-Gewinde druckdicht mittig oder oben in die zu messende Druckluftleitung einschrauben. Darauf achten, dass dicht am Druckluftstrom gemessen wird. Bei Sackleitungen und nicht strömender Druckluft ergeben sich sehr lange Reaktionszeiten für den Feuchtemesswert. Es empfiehlt sich nach Trocknen der Druckluft und allen Bypassleitungen oder auch bei kritischen Druckluft-Verbrauchern die Installation durchzuführen.



Indirekt im Druckluftnetz

Fühler mit dem G 1/2"-Gewinde in die Messkammer einschrauben. Messkammer verbinden mit der Druckluftleitung über einen Kugelhahn und eventuell eine diffusionsdichte Anschlussleitung (max. 5 m). Bei öl- und schmutzhaltiger Druckluft einen Vorfilter 40 µm vor der Messkammer installieren. Über die Kapillarleitung der Messkammer strömt kontinuierlich etwas Druckluft ab (bei 7 bar ca. 1 l/min expandiert). Die Reaktionszeiten für den Feuchtemesswert sind kürzer als bei der direkten Montage.

Vorteil: einfaches Einbauen und Ausbauen des Fühlers, schnelle Angleichzeit

Messbare Gase

Allgemein kann die Feuchte in allen nicht korrosiv wirkenden Gasen gemessen werden. Bei korrosiven Gasen bitte rückfragen bei Ahlborn Mess- und Regelungstechnik. Für präzise Messungen im Tieftaupunktbereich (-30...-80 °C td) sollte Messtemperatur des Gases möglichst bei Raumtemperatur (20..35 °C) liegen. Oft ist z.B. bei Granulattrocknern oder anderen Anwendungen die Temperatur des Messgases höher z. B. 80..120°C. In diesem Fall empfehlen wir eine "Abkühlstrecke" aus feuchtigkeitsundurchlässigem Material vor die aufschraubbare Messkammer zu installieren. Ideal eignet sich hier eine Teflonleitung oder eine Kupferleitung, in der das heiße Gas aufgrund der Leitungslänge ideal ca. 2..5m auf Umgebungstemperatur gekühlt wird.

Bitte keine normalen Plastikschräuche verwenden!

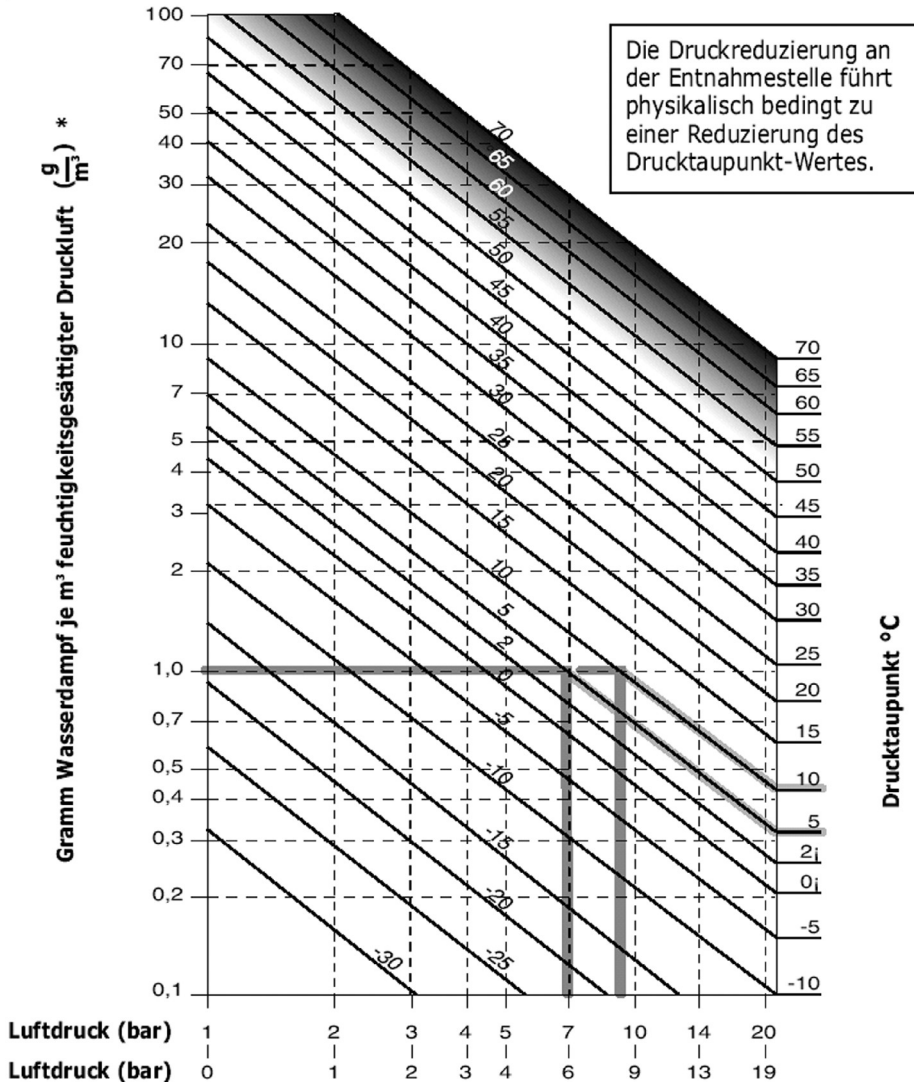
Die Taupunkttemperatur in °C td ändert sich beim abkühlen nicht, da es sich um eine absolute Feuchtigkeitsangabe handelt, die wie andere Messgrößen z.B. g/m³ temperaturunabhängig ist.

Einbauempfehlung

Die Taupunktmessgeräte können direkt in den Luftstrom eingebaut werden. Wir empfehlen jedoch generell eine aufschraubbare Messkammer zu verwenden.

Taupunkt diagramm für Druckluft

Dieses Diagramm gibt Aufschluss über die Drucktaupunkt-Veränderung bei Druckverlust. Als Beispiel ist ein Druckverlust von 8 bar auf 6 bar Betriebsüberdruck dargestellt. Der Drucktaupunkt wandert in diesem Fall von 10°C auf 5°C ab.



* bezogen auf 0bar und 20°C

Technische Daten

Messbereich	-80°C ... +20°C DT Taupunkttemperatur
Messgenauigkeit	± 0,5°C von -10 bis +50°C DT typisch ± 2°C DT bei -40°C DT
Arbeitstemperatur	-20 bis +70 °C
Prozessanschluß	Einschraubgewinde G1/2" Edelstahl
Druckbereich	-1 ... 50 bar Standard
Lagertemperatur	-40 ... 80 °C
Versorgungsspannung Stromverbrauch	über ALMEMO® Stecker 5 mA
Ausgang auf Anfrage	ALMEMO® digital 4 ... 20 mA in 2-Draht-Technik Stromverbrauch: 25 mA Bürde: für Analogausgang: < 500
Anschlussleitung	1,5 m mit ALMEMO® Stecker
Gehäuse Material Schutzart	Polycarbonat IP65

Ausführung

Taupunkttransmitter mit 1,5m Anschlussleitung
und ALMEMO® Stecker

Best.Nr. FHA646DTC1

Option:

Taupunktsensor für Prozessdruck bis 350 bar

Best.-Nr. OA9646DTCP

Zubehör:

Aufschaubare Messkammer zum Anschluss eines Taupunkttransmitters an
Druckluftleitungen über einen Kugelhahn Best.-Nr. ZB9646DTCK

Vorteil: schnelle Messung ohne Installationsaufwand !