

Automatische Umweltkompensation AUK 500

Zur Kompensation der Umwelteinflüsse stehen beim ZLM 2 Varianten zur Verfügung:

1. **"Handeingabe"** der momentanen Werte für Lufttemperatur, -feuchte, -druck und der Materialtemperatur des Messobjekts über die Rechnertastatur in den PC. Dabei müssen die, von separaten Messinstrumenten abgelesenen Messwerte regelmäßig aktualisiert werden. In Messräumen sollte das mindestens einmal pro Tag, in Produktionshallen mehrmals pro Tag geschehen, um eine Messgenauigkeit von **2 $\mu\text{m/m}$** zu erreichen.
2. **"Automatische Umweltkompensation AUK 500"** (269302-5053.226) mit Sensoren für Lufttemperatur, Luftdruck und Luftfeuchte und der Möglichkeit des Anschlusses von bis zu 5 Materialtemperatursensoren. Die Aktualisierung der Messwerte erfolgt hierbei automatisch mit einer Abfragerate von < 1 Hz. Wenn beim Aufbau der Laserinterferometer - Messanordnung keine groben Fehler gemacht werden (z.B. Einhaltung des Abbéschen Komparatorprinzips), kann eine Messgenauigkeit von **0.9 $\mu\text{m/m}$** erreicht werden.

Ermittlung des Brechungsindexes der Luft

Um die hohe Messgenauigkeit des Zweifrequenz-Laserwegmesssystems ZLM 700/800 jederzeit zuverlässig zu gewährleisten, muss, soweit nicht im Hochvakuum gearbeitet wird, der Brechungsindex der Luft ständig erfasst und eine Wellenlängenkorrektur der Laserwellenlänge durchgeführt werden. Dazu gibt es grundsätzlich 3 Methoden:

1. Ablesen der Messwerte für Lufttemperatur, -druck und -feuchte von klassischen Analoginstrumenten und Eingabe dieser Werte über die Tastatur in den PC. Die Zeitintervalle, in denen abgelesen werden muss, richten sich nach der Geschwindigkeit, mit der sich die Luftparameter verändern. Diese Methode ist am einfachsten und in vielen Fällen auch ausreichend.

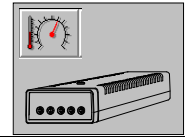
Messunsicherheit: 2 $\mu\text{m/m}$

2. Einsatz von hochauflösenden Messfühlern (*Parameterverfahren*). Die Messfühler erfassen, in Verbindung mit einem PC, automatisch Lufttemperatur, -druck und -feuchte. Damit besteht die Gewähr, dass die Luftparameter ständig mit einer hohen Präzision erfasst und aktualisiert werden. Darüber hinaus besteht in der Regel noch die Möglichkeit, spezielle Materialtemperaturfühler zur automatischen Kontrolle der Temperatur des Messobjektes bzw. des gesamten Messkreises einzusetzen.

Messunsicherheit : 0.6 $\mu\text{m/m}$

3. Installierung eines Refraktometers (*Referenzverfahren*). Die teuerste Methode. Die Variantenvielfalt ist hier, in Abhängigkeit vom speziellen Anwendungsfall, sehr groß und reicht von "einfachen" Wellenlängenverfolgern (Tracking-Refraktometer) bis hin zu sehr aufwendigen Mehrkammer-Vakuum-Refraktometern. Ihnen gemeinsam ist, dass immer gegen eine äußere Referenzlänge gemessen wird, und immer ein zusätzlicher Interferometerkanal benötigt wird.

Messunsicherheit : 0.3 $\mu\text{m/m}$



Automatischer Umweltkompensation AUK 500

Wurde der Brechungsindex der Luft nach einem der drei genannten Verfahren ermittelt, wird über die Beziehung

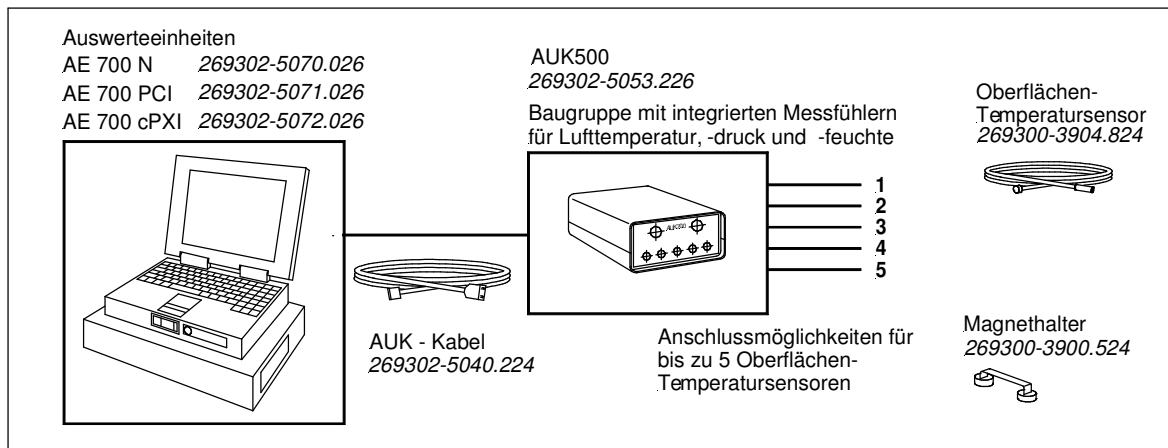
$$\lambda = \lambda_0/n$$

mit λ : Wellenlänge des Laserlichtes in Luft
 λ_0 : Wellenlänge des Laserlichtes im Vakuum
 n : Brechungsindex der Luft

die Wellenlänge des Laserlichtes in der Luft berechnet.

Aufbau und Wirkungsweise

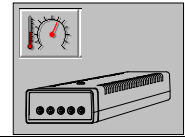
Die "Automatische Umweltkompensation AUK 500" arbeitet nach dem Parameterverfahren. Mit den in der AUK integrierten Messfühlern werden kontinuierlich und mit hoher Präzision die Werte für Lufttemperatur, Luftdruck und Luftfeuchte gemessen und an den PC übergeben. Der PC ermittelt über die **Edlen-Formel** /1/ den Brechungsindex n der Luft und daraus die aktuelle Wellenlänge des Laserlichtes.



Die **Edlen-Formel** gilt für feuchte "Standardluft" (außer Stickstoff und Sauerstoff wird noch ein Gehalt von 300 ppm Kohlendioxid berücksichtigt):

$$n = 1 + (2,8793 \cdot 10^{-7} \cdot P) : (1 + 0,003671 \cdot T) - (3,6 \cdot 10^{-8} \cdot P_w)$$

B : Brechungsindex der Standardluft
 P : Luftdruck in hPa
 T : Lufttemperatur in °C
 P_w : Wasserdampfpartialdruck in hPa
 100% rel. Luftfeuchte bei 20°C : 23hPa)



Automatischer Umweltkompensation AUK 500

Unter der Voraussetzung der folgenden **messraumtypischen** Bedingungen

$$\begin{aligned} T &= 20^{\circ}\text{C} \pm 1\text{K} \\ P &= 1013 \text{ hPa} \pm 10\text{hPa} \\ F &= 50\% \pm 20\% \end{aligned}$$

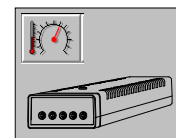
folgt aus dieser Formel eine mittlere Brechzahl für die Messraumluft von

$$n = 1,0002712 \pm 4 \cdot 10^{-6}$$

Die Notwendigkeit der ständigen Brechungsindexkorrektur wird aus dem Betrag der Brechzahlsschwankung deutlich.

Für vorgegebene Messlängen und beliebige Schwankungen der Luftparameter ist in der folgenden Tabelle dargestellt, wie groß die mit dem Laserinterferometer gemessene scheinbare Längenänderung in Abhängigkeit von der Änderung der Luftparameter ist:

Parameter	Abweichung vom Messwert
<i>Lufttemperatur</i>	- 0,92 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{K}$ ($dn/dT \approx -0,92 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$)
<i>Luftdruck</i>	0,27 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{hPa}$ ($dn/dP \approx +0,27 \cdot 10^{-6} \text{hPa}^{-1}$)
<i>Luftfeuchte</i>	0,01 $\mu\text{m}/\text{m}/\%$ rel.Feuchte ($dn/dP_w \approx -3,6 \cdot 10^{-8} \text{hPa}^{-1}$)



Automatischer Umweltkompensation AUK 500

Der Einfluss von Fremdgasen

Die Parametermethode geht von einer Standardzusammensetzung der Luft aus. Im industriellen Einsatz können jedoch auch erheblich andere Gasgemische auftreten, die durch die "Automatischen Umweltkompensation AUK 500" jedoch nicht berücksichtigt werden. Um die in diesem Falle auftretende Brechzahländerung berechnen zu können, ist in der folgenden Tabelle für die wichtigsten Gase die für eine Änderung der Brechzahl um $1 \cdot 10^{-7}$ notwendige Konzentration in Luft angegeben:

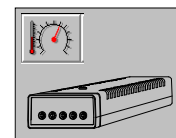
	Spez. Brechzahl N - 1 ($\cdot 10^{-4}$)	für $dn = 1 \cdot 10^{-7}$ erforderliche Konzentration in Luft In ppm
Luft	2,72	-
Kohlenmonoxid	3,2	2100
Kohlendioxid	4,2	680
Schwefeldioxid	6,3	280
Cyanwasserstoff	4,0	780
Ammoniak	3,5	1300
Propan	10,3	130
Butan	12,9	98
Oktan	23,0	50
Benzol	15,8	77
Äthanol	8,1	190
Aceton	10,2	130
Äthylacetat	13,0	97
Perchloräthylen	18,7	63
Frigene F22	7,3	220
F12	10,3	130
F1281	12,0	110

Die angegebenen Werte gelten bei einer Lufttemperatur von 20 °C und einem Luftdruck von 1013 hPa.

Oberflächentemperaturfühler

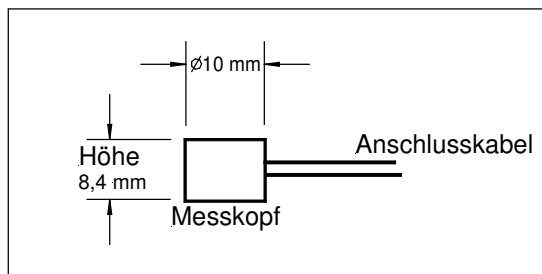
In der Praxis wird die Grenze der Messunsicherheit nicht nur durch die Unsicherheit der Brechzahlmessung bestimmt.

Um Fehlmessungen zu vermeiden, ist neben der Berücksichtigung der Luftparameter eine exakte Kenntnis der Messobjekttemperatur bzw. der Temperaturverteilung innerhalb des gesamten Messkreises notwendig (thermischer Ausdehnungskoeffizient der Materialien!). Aus diesem Grund sind an der "Automatischen Umweltkompensation AUK 500" auch Anschlussmöglichkeiten für bis zu 5 Materialtemperaturfühler (Oberflächentemperaturfühler) vorhanden.



Automatischer Umweltkompensation AUK 500

Sie sind geeignet zur präzisen Temperaturmessung an technischen Körpern mit einem Wärmeleitvermögen von besser $10 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ auf einer ebenen, glatten Kontaktfläche.



Die Fühler werden serienmäßig mit Kabellängen von 5 m geliefert. Andere Längen sind auf Anforderung lieferbar. Die Fühler sind hermetisch abgeschlossen und deshalb auch für robusten Werkstatteinsatz geeignet.

Zur Befestigung der Fühler am Messobjekt werden Schraub-, Magnet- und Klebhalterungen angeboten.

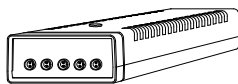

Dynamisches Verhalten

Das dynamische Verhalten ist abhängig von den konkreten Messbedingungen. Die angegebenen Zeitprozentwerte sind nur als Richtwerte zu betrachten und beziehen sich auf ein Messobjekt aus Stahl mit einem Wärmeleitvermögen von $50 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

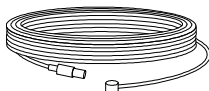
Zeitprozentwerte (in sec)	T/50	T/90	T/95	T/98
	3,2	7,8	12,4	30

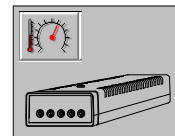
Die Fühler können auf Wunsch mit Werkzertifikat bzw. Zertifikat des DKD / PTB geliefert werden. Der angegebene Messfehler beinhaltet nicht die anwenderspezifischen Fehlereinflüsse (Wärmeleitvermögen des Messobjektes, Wärmeübergangsbedingungen an der Kontaktstelle zwischen Fühler und Messobjekt).

Lieferumfang und Bestellnummern

AUK 500 Umweltkompensation 269302-5053.226	
AUK 500 Anschlusskabel 269302-5040.224	

Erweiterung zum AUK 500 Materialtemperatursensor
(Materialkompensation)

Oberflächenfühler 2 269300-3904.824	
Magnethalter 2 269300-3900.524	



Automatischer Umweltkompensation AUK 500

Technische Daten

Automatischer Umweltkompensator AUK

Messbereich

Lufttemperatur	10 °C...40 °C
Luftdruck	800 hPa...1200 hPa
Luftfeuchte	10 %...90 % rel. Feuchte

Abfragezyklus der Messfühler

1 s

Messunsicherheit der Einzelkomponenten

Lufttemperatur	100 mK
Luftdruck	0,4 % des Messbereiches
Luftfeuchte	5,0 % rel. Feuchte

Messunsicherheit, bezogen auf die Messstrecke 1,5 µm/m

Oberflächentemperaturfühler

Messbereich

Typ OF 040050	-20 °C...+ 40 °C
Typ OF 060050	0 °C...+ 60 °C

Abfragezyklus der Messfühler

1 s

Messunsicherheit

100 mK

Literatur

/1/ Edlen, B.: The Refractive Index of Air.
Metrologia 2 (1966), 71 - 80