



Messtechnik von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit

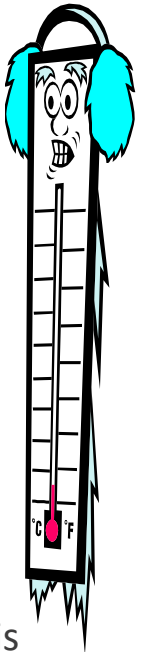
Eine Übersicht

Swiss Cleanroom Community Event
Mutzens, 11. April 2013



Definition der Temperatur

- Die Temperatur kennzeichnet den Wärmezustand eines Systems
- Absoluter Nullpunkt: 0 K oder -273.15°C
- Grad Celsius Temperaturskala: definiert über den Schmelz- und Siedepunkt von Wasser bei äusserem Luftdruck = 1.01325 bar
- Tripelpunkt von Wasser: 273.16 K oder 0.01°C
(Wasser ist hier in allen 3 Aggregatzuständen Eis (fest), Wasser (flüssig) und als Wasserdampf (gasförmig) vorhanden. In diesem Zustand verdampfen ständig etwas Eis (Sublimation) und Wasser (Verdunstung) zu Wasserdampf, ebenso schmilzt etwas Eis zu Wasser. Dieser Tripelpunkt wird als Eis/Wassermischung oft als 0°C Referenz für Kalibrierungen verwendet)



Celsius - Kelvin - Fahrenheit Skala

Die **Celsius-Skala** ist wohl die bekannteste Temperaturskala und die Einheit ist das Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Zur Festlegung der Celsius-Skala dienen der Gefrierpunkt und der Siedepunkt von reinem Wasser (bei Luftdruck von 1013,15 hPa) als Fixpunkte. Die Differenz wird zwischen diesen beiden Phasenänderungspunkten in 100 Teile geteilt.

Der Gefrierpunkt gilt als Nullpunkt (0°C) und somit liegt der absolute Nullpunkt bei $-273,12^{\circ}\text{C}$.

Umrechnungsformel von Grad Celsius in Grad Kelvin: Temp. in K = $273,15 + \text{Temp. in } ^{\circ}\text{C}$, gleiche Schrittweite ($1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$).

Den Namen Celsius-Skala verdankt diese Temperaturskala dem schwedischen Astronom Anders Celsius (1701-1744), der zwei Jahre vor seinem Tod, also 1742, den Gedanken zu dieser Einteilung veröffentlichte.

Die Einheit der **Kelvin-Skala** ist das Kelvin (K). Die Kelvin-Skala wird auch als Absolutskala bezeichnet, denn ihr Nullpunkt (0 K) fällt mit dem absoluten Nullpunkt zusammen, an dem jede Molekülbewegung zum Erliegen kommt. Zur Festlegung der Skala werden der Gefrier- und Siedepunkt von reinem Wasser bei Luftdruck 1013,15 hPa herangezogen. Die Differenz zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 Schritte (Grade) geteilt. Schließlich erhält man so den Gefrierpunkt bei 273,15 K und logischerweise den Siedepunkt von Wasser bei 373,15 K. Bei der Kelvin-Skala gibt es dadurch keinen Minus-Bereich.

Benannt wurde die Kelvin-Skala nach dem britischen Physiker Lord Kelvin (1824-1907), der vor seiner Adligsprechung William Thompson hieß und besonders auf dem Gebiet der Thermodynamik forschte

Die **Fahrenheit-Temperaturskala** ist eine Temperaturskala, die derzeit in Großbritannien sowie den USA standardmäßig verwendet wird. Sie wurde 1714 von D.G. Fahrenheit eingeführt. Als unteren Fixpunkt (= 0 F) der Skala wählte Fahrenheit die tiefste, bis dahin gemessene Temperatur in Danzig (sein Geburtsort) sowie als oberer Fixpunkt die Körpertemperatur des Menschen ($100\text{F} = 37,8^{\circ}\text{C}$).

Für die Umrechnung von Grad Fahrenheit in Grad Celsius und umgekehrt existiert immerhin ein einfacher, linearer Zusammenhang: $T[^{\circ}\text{C}] = 5/9 * (T[\text{F}]-32)$; $T[\text{F}] = 9/5 * T[^{\circ}\text{C}] + 32$

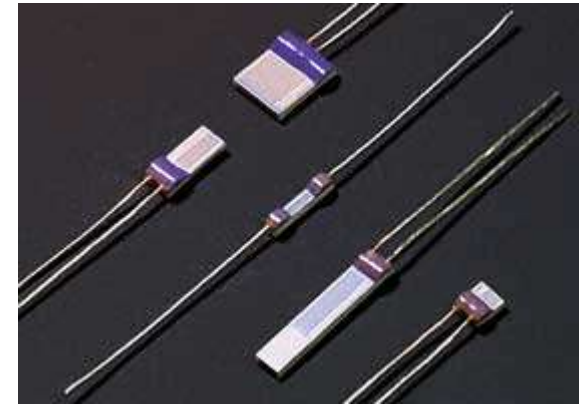


Pt100 Sensoren (Pt1000 Sensoren)

- PT = Platin-Schicht auf Substrat aufgebracht
- Pt100: 0 °C = 100 Ohm
Pt1000: 0 °C = 1000 Ohm

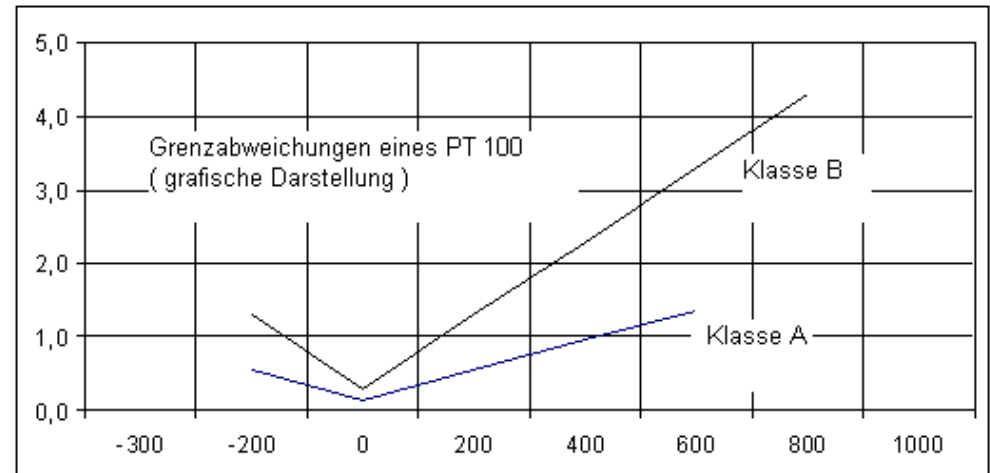
Vorteile:

- Hohe Genauigkeit,
- Grosser Temperaturbereich
- Hohe Langzeitstabilität,
- Relativ linear



Nachteile:

- Niederohmig,
- Kleine Änderung des Widerstandes pro Grad



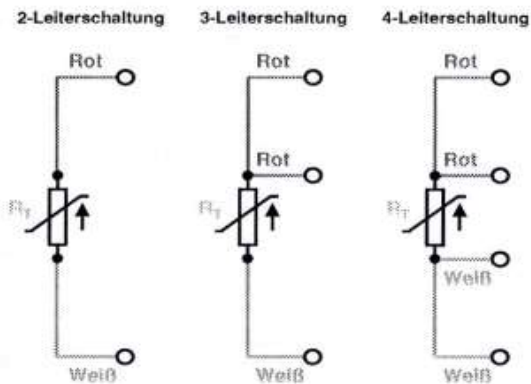
PT 100 Temperaturfühler

Platin hat sich als Widerstandsmaterial zur Herstellung von Pt100-Temperatursensoren, für die industrielle Temperaturmessung im Temperaturbereich von -200 bis +850°C weltweit durchgesetzt.

Vorteile, wie chemische Resistenz, hohe Temperaturbeständigkeit, die präzise Darstellung und gute Reproduzierbarkeit seiner thermo-elektrischen Eigenschaften, sowie die fast lineare Kennlinie haben dazu maßgebend beigetragen.

Um einen universellen Austausch zu gewährleisten sind in der Europeanorm EN 60751 der elektrische Widerstand und die zulässige Abweichung in Abhängigkeit zur Temperatur, sowie der Temperaturkoeffizient für Pt100-Temperatursensoren definiert. PT100 bedeutet, dass der Widerstand bei 0°C = 100 Ohm ist.

Die EN 60751 legt zwei Toleranzfelder, die Klasse "B" mit einer Abweichung z.B. bei 0°C von $\pm 0,3^\circ\text{C}$ und die Klasse "A" mit $\pm 0,15^\circ\text{C}$ fest.



Um den Einfluss der Messleitungen zu minimieren, werden die Sensoren so angeschlossen, dass deren Widerstandswert kompensiert werden kann. Dies geschieht durch die sog. 3-Leiter oder 4-Leiter Schaltung. Das Messsystem misst dabei jeweils der Leitungswiderstand, welcher dann vom Gesamtwiderstand abgezogen wird.



NTC Sensoren (Thermistoren)

NTC's sind sehr präzise, genaue, gesinterte Metalloxyde. Diese modernen Sensorelemente werden vor allem im Temperaturbereich von -70° bis 150°C eingesetzt.

NTC: "Negative Temperature Coefficient"
da der Widerstand bei steigender Temperatur abnimmt

Vorteile:

- Hohe Genauigkeit,
- Klein mit schneller Ansprechzeit,
- Gute Langzeitstabilität
- Hoher ohmscher Widerstand

Nachteile:

- Keine internationale Standardisierung,
- Begrenzter Temperaturbereich





Thermoelemente

Thermoelemente bestehen aus zwei unterschiedlichen Metallegierungen. An der Messstelle sind diese zusammengeschweisst. Dadurch entsteht an den Enden eine Thermospannung proportional der Temperaturdifferenz.

Vorteile:

- geringe Herstellkosten,
- für hohe Temperaturen bis $+1820^{\circ}\text{C}$ (mit PtRh),
- sehr schnelle Reaktionszeit

Nachteile:

- nicht sehr genau, breite Toleranzfelder,
- Störungsempfindlich,
- Zusatzmessung für Absolutwert,
- Für lange Leitungen sind spezielle Ausgleichsleitungen notwendig

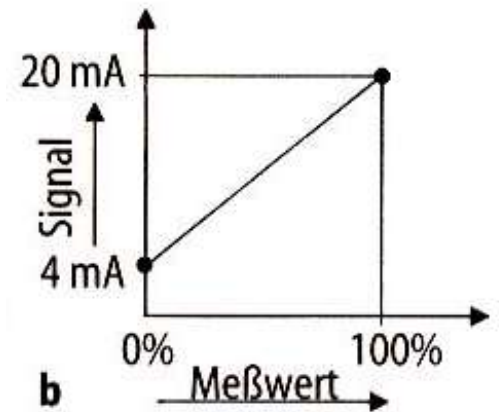




Temperaturwandler

Wenn weite Distanzen überbrückt werden müssen, werden Temperaturfühler oft indirekt, über Wandler an ein Messgerät angeschlossen. Verlustfrei kann dies über den Industriestandard von 4 bis 20 mA gemacht werden.

Für die Verarbeitung müssen die Sensorsignale durch Messumformer in Standardwerte umgeformt, vom Messgerät dann wieder in die echte Grösse umgerechnet werden.



PT Kompensation
oder
TE Ausgleichsleitung



Cu-
leitung
4-20 mA





Genauigkeit der Temperaturfühler

Die Genauigkeit eines Messsystems hängt von vielen Faktoren ab. Sie kann durch eine Kalibrierung (ggf. Validierung) der Temperatur überprüft werden.

1. Neugeräte:

Alle Datenlogger werden im Werk mit Präzisionswiderständen oder im Kalibrierbad überprüft und erhalten ein Kalibrierzertifikat.

Die NTC Widerstandsfühler (Thermistor) sind austauschbar in der Genauigkeit gemäss Tabelle. Die PT100 Fühler sind austauschbar innerhalb ihrer Genauigkeitsklasse.

2. Periodische Nachkalibrierung:

Datenlogger und Temperaturfühler: Alle 1-2 Jahre durch den Anwender oder durch die ELPRO Servicestelle, im Kalibrierlabor oder vor Ort.

Was ist „Temperaturkalibrierung“?

Unter Temperaturkalibrierung versteht man die Dokumentation der Genauigkeit eines Messgeräts, z.B. eines Datenloggers oder eines Temperatursensor, z.B. ein Platinumwiderstandsthermometer (PRT oder PT-100), ein Thermistor oder ein Thermoelement.

Zum Kalibrieren werden Thermometer normalerweise in eine stabile Temperaturumgebung (Temperaturquelle) gebracht, und anschließend wird ihre Ausgabe mit der eines kalibrierten "Referenzthermometers" oder "Standardthermometers" verglichen. Als Temperaturquellen dienen für den Einsatz vor Ort etwa Temperatur-Blockkalibratoren oder Mikro-Bäder. Für den Einsatz im Kalibrierlabor sind dies Flüssigkeitsbäder und Thermoelementöfen oder Fixpunktzellen für "primäre" Kalibrierungen.

Werkkalibrierung (ISO 9000 Kalibrierung)

Bei der Werk- oder Isokalibrierung werden Vergleichsmessgeräte mit einer höheren Qualitätsstufe z.B. SCS kalibrierte Fühler und Geräte verwendet. Die verwendeten Prozesse erfüllen die Anforderungen an ein Qualitätssystem. Auf den Zertifikaten sind die Gebrauchsnormale aufgeführt. Eine Werkskalibrierung genügt für Messgeräte welche in einem Prozess verwendet werden.

SCS Kalibrierung (ISO 17025)

Diese geschieht durch ein zertifiziertes und SCS akkreditiertes Messlabor (z.B. die ELPRO). Es werden vor allem Messgerät SCS kalibriert, wenn diese zur Vergleichsmessung (z.B. eine Kalibrierung) anderer Messgeräte dienen sollen. Für solche Vergleichsgerät muss ein gültiges SCS Kalibrierzertifikat vorhanden sein. ISO 17025 ist ein international anerkannter Standard.

Kalibriervorgang

Temperaturkalibrierung im Labor

Labor- oder sekundäre Temperaturkalibrierung bezieht sich auf die Kalibrierung von referenzfähigen PRT oder PT-100, Präzisionsthermistoren (NTC) und ganzen Datenlogger. Bäder und horizontale Öfen mit ultrastabiler und einheitlicher Temperatur werden zusammen mit Referenzthermometern und hochgenauen Thermometeranzeigen verwendet. Solche Systeme können Kalibrierungen von 0,5 °C bis 0,02 °C liefern.

Temperaturkalibrierung vor Ort

Temperaturkalibrierung vor Ort (oder "industrielle"-oder "portable" Temperaturkalibrierung) bezieht sich auf Thermometer, die außerhalb des Labors getestet werden, in der Regel mit Genauigkeiten etwa 0.1 bis 0,5 °C. Temperatur-Blockkalibratoren, Präzisions-Blockkalibratoren, Mikro-Bäder und andere portable Temperaturquellen liefern stabile Temperaturen, während portable Thermometeranzeigen und Thermometernormale die Referenztemperaturen anzeigen.



Kalibrieren - Justieren

Kalibrieren

Beim Kalibrieren wird ein Messgerät überprüft und die Abweichung zu einem Referenznormal protokolliert. Über die Protokollierung hinausgehende Eingriffe finden bei der Kalibrierung nicht statt. Ziel der Kalibrierung ist es ein Kalibrier-Zertifikat zu erstellen. Es dürfen nach einer Kalibrierung keine Änderungen am Gerät vorgenommen werden, da ansonsten die Kalibrierung ungültig wird. Das Kalibrier Intervall ist oft ein Jahr, es kann jedoch verlängert oder verkürzt werden aufgrund: Herstellerspezifikationen, Normenforderungen, Erfahrungswerte, Umwelteinflüsse

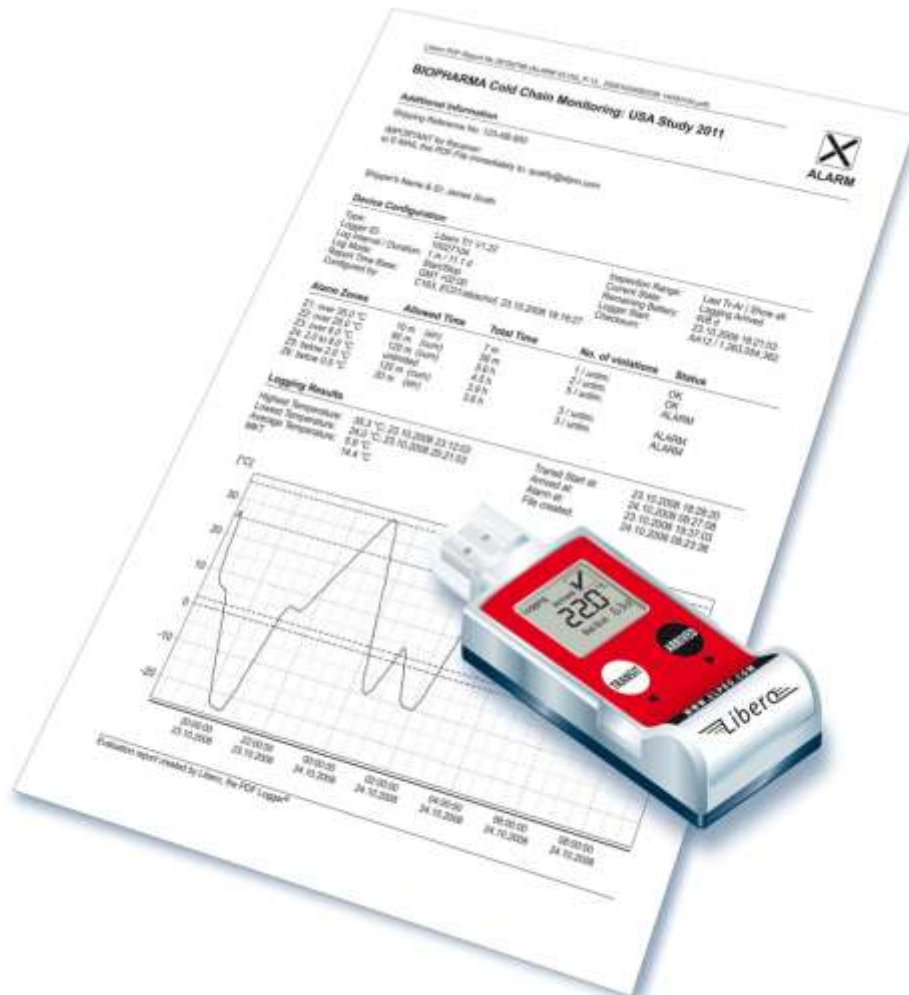
Justieren

Die ist das Einstellen eines oder mehrerer Messpunkte je nach Spezifikation des Herstellers durch einen Eingriff in das Messsystem. Dies kann nach einer Abweichung von der Herstellertoleranz durchgeführt werden. Beim Justieren wird die Anzeige eines Messgerätes korrigiert, also der gemessene Wert auf den richtigen Wert, den so genannten Soll-Wert, so gut wie möglich korrigiert. Ziel ist es, eine korrekte Anzeige zu erhalten. Es soll auf keinen Fall ein Fehler, z.B. ein defekter Temperaturfühlers, justiert werden. Dieser muss ausgetauscht werden. Viele modernen Messgeräte lassen aus diesem Grunde keine Justierung mehr zu. (Ausnahme: Feuchtemessgeräte)

Nach jeder Justierung muss eine Kalibrierung durchgeführt werden, um ein Zertifikat zu erstellen.



Die kontinuierliche Aufzeichnung

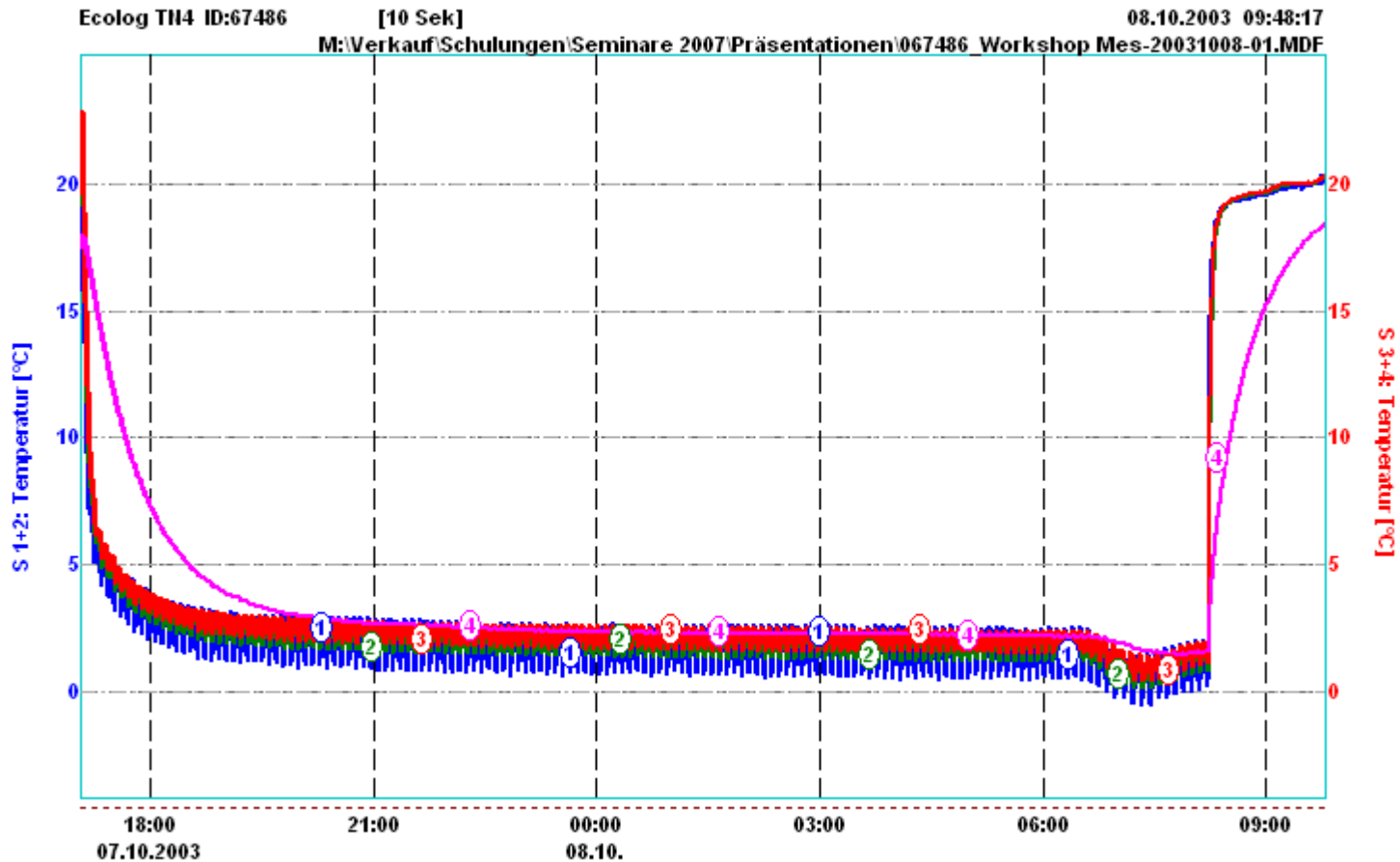


Heute werden zwar immer noch Handmessgeräte eingesetzt, zu einem grossen Teil sind diese jedoch durch Datenlogger ersetzt worden.

Nur die kontinuierliche Aufzeichnung der Messwerte über eine bestimmte Zeit kann nachweisen, ob ein Produkt ordnungsgemäss produziert, transportiert und gelagert wurde.

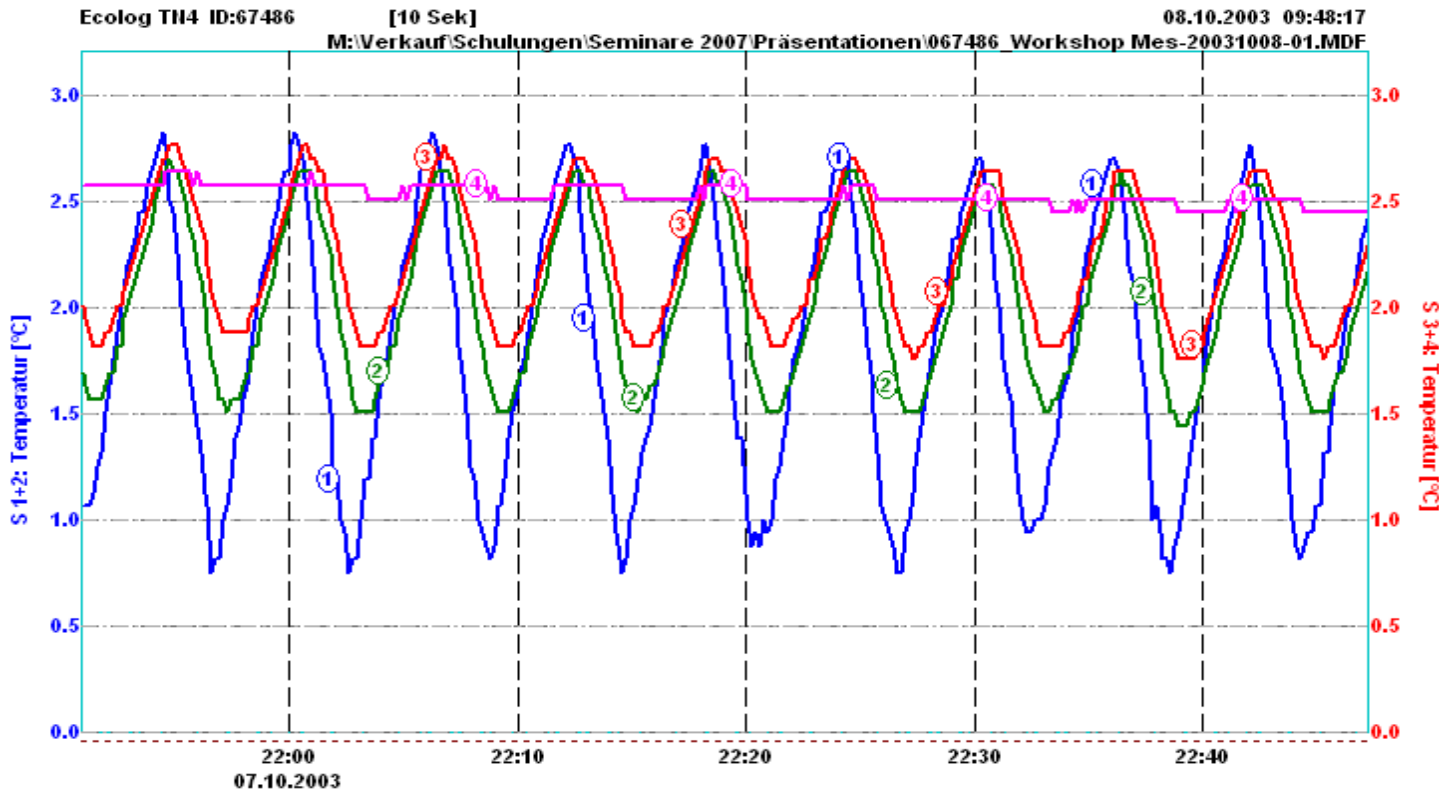


Das Verhalten eines Kühlschranks



Sensor 4: langsame Reaktionszeit durch grosse Masse

Reaktionszeit je nach Masse des Fühlers

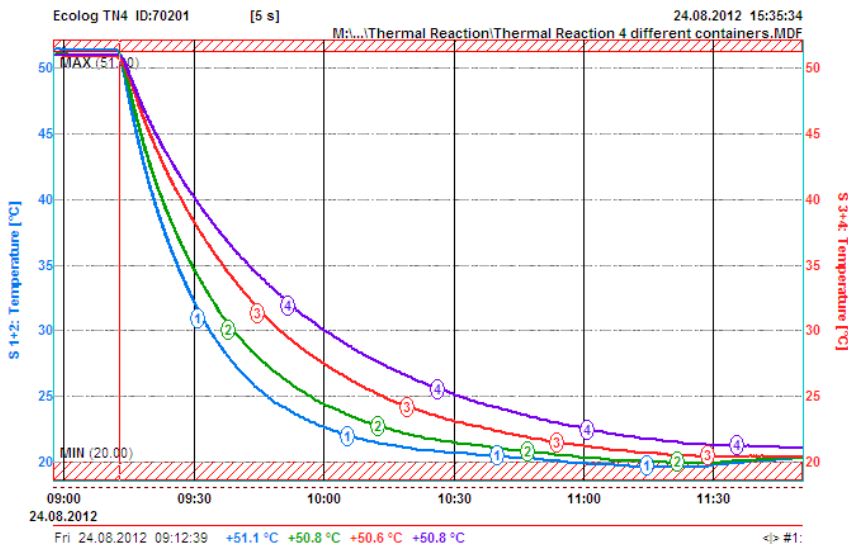


Sensor 1 bis 3: zeigt Regelverhalten von Kühlschrank, schnell reagierend
Sensor 4: stabile Temperatur, ähnlich Kerntemperatur des Produkts mit 200g

Thermische Reaktionszeit

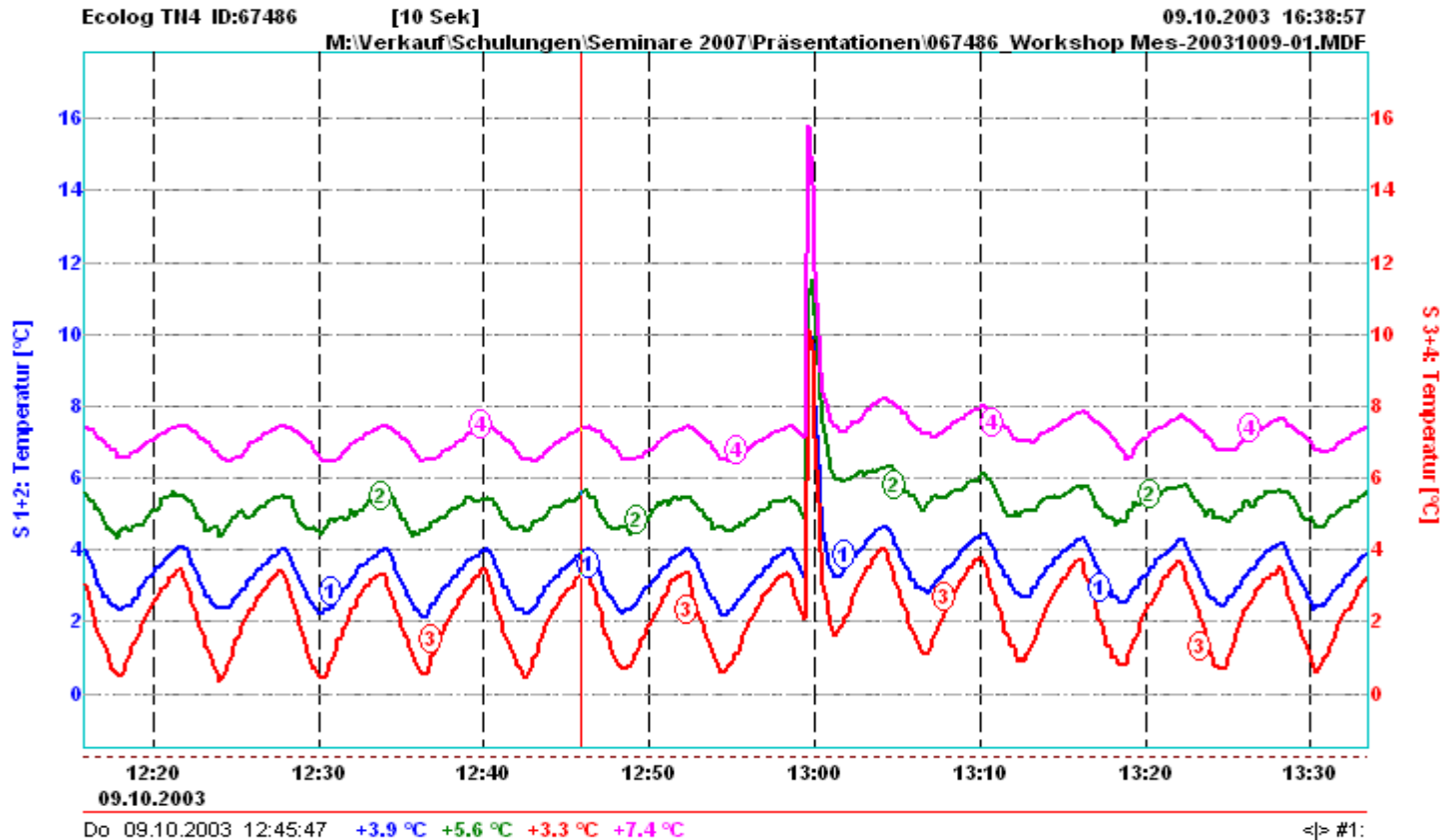
Die Thermische Zeitkonstante τ ist die Zeit, die ein Fühler benötigt um 63.2 % der Differenz eines Temperaturwechsels des Mediums anzuzeigen.

Aussagekräftiger ist der Wert τ_{90} (Zeit bis 90 % des Temperatursprunges erreicht sind)



Flasche	Grösse	Total Gewicht	Reaktionszeit TAU 90
1	25 ml	53 g	45 Min.
2	50 ml	95 g	58 Min.
3	100 ml	173 g	79 Min.
4	200 ml	325 g	101 Min.

Ein Kühlschrank mit Türöffnung



**Messung im Kühlschrank: Grosse Unterschiede oben zu unten
S4: Fühler liegt auf dem Kühlaggregat hinten unten im KS**



Die Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit – oder kurz Luftfeuchte – bezeichnet den Anteil des Wasserdampfs am Gasgemisch der Erdatmosphäre oder in Räumen. Flüssiges Wasser (zum Beispiel Regentropfen, Nebeltröpfchen) oder Eis (z.B. Schneekristalle) werden der Luftfeuchtigkeit folglich nicht zugerechnet.

Die Luftfeuchtigkeit ist eine wichtige Kenngröße für zahlreiche technische und meteorologische Vorgänge sowie für Gesundheit und Behaglichkeit.

In der Luft ist stets Feuchte in Form von Wasserdampf vorhanden.

Bei Messungen wird die Luftfeuchte entweder als absolute Feuchte oder als relative Feuchte angegeben.



Die absolute oder relative Luftfeuchtigkeit

Die **absolute Feuchte** sagt aus, wie viel Wasserdampf in der Luft enthalten ist - Angabe in Gramm pro Kubikmeter. Da die Luft abhängig von der Temperatur ganz unterschiedliche Mengen an Wasserdampf aufnehmen kann, kommt die relative Feuchte ins Spiel:

Bei jeder Temperatur kann in einem bestimmten Luftvolumen nur eine Höchstmenge Wasserdampf enthalten sein. Das geläufigste Maß für die Luftfeuchtigkeit ist die **relative Luftfeuchtigkeit**, angegeben in Prozent (%). Sie bezeichnet das Verhältnis des momentanen Wasserdampfgehalts zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt bei derselben Temperatur und demselben Druck.

→ Wenn die Temperatur steigt, dann sinkt die relative Feuchte

→ Wenn die Temperatur sinkt, dann steigt die relative Feuchte



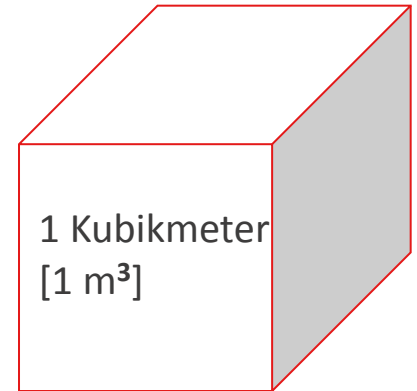
Das Gewicht der Luft

Stellen sie sich ein Volumen von 1 m x 1 m x 1 m vor

1 m³ Luft wiegt bei mittlerem Druck ca. 1.2 kg

Bei 20 °C kann diese Luft maximal 17 gr. Wasser aufnehmen

Bei höheren Temperaturen, z.B. bei 30 °C maximal 30 gr.



Wenn weniger Wasser aufgenommen ist, dann ist die relative Luftfeuchtigkeit tiefer als 100 %: z.B. bei 20 °C und 12 gr. resultiert eine rel. Feuchte von ca. 70 %
Dies gilt für saubere Luft im geschlossenen System.

Vergleich: Wie viel Wasser passt in Holz?

Holz kann pro m³ bis 50 kg Wasser aufnehmen!

Vergleich: Luft kann pro m³ nur 15-30 gr. Wasser aufnehmen



Damit kann die Feuchte z.B. einer Wand die Raumfeuchte dominieren!



Feuchte und Temperatur

Einfluss einer Temperaturschwankung von $\pm 1^\circ\text{C}$ bei verschiedenen Temperaturen und Feuchten:

T	10 °C	20 °C	30 °C	50 °C	70 °C
% rF					
10 %	$\pm 0.7 \%$	$\pm 0.6 \%$	$\pm 0.6 \%$	$\pm 0.5 \%$	$\pm 0.5 \%$
50 %	$\pm 3.5 \%$	$\pm 3.2 \%$	$\pm 3.0 \%$	$\pm 2.6 \%$	$\pm 2.3 \%$
90 %	$\pm 6.3 \%$	$\pm 5.7 \%$	$\pm 5.4 \%$	$\pm 4.6 \%$	$\pm 4.1 \%$

Für Messungen der relativen Feuchte ist es enorm wichtig, dass die Messsonde und das Messgut die gleiche Temperatur haben!

Wenn in einem geschlossenen Raum (10°) die Temperatur um 3 Grad sinkt kann die relative Feuchte um 18% steigen (Bedingung: geringe Wasseraktivität)

→ **Es besteht hohe Betauungsgefahr**

→ **Verpackungen können Schaden nehmen, Pulver kann zusammenpappen.**



Reales (offenen) System

- Die Wassermenge im Material erzeugt die rel. Luftfeuchte welche sich in einem Lagerraum oder Container einstellt. Verantwortlich dafür ist die sogenannte Wasseraktivität (A_w)
- **Wasseraktivität: A_w (oder Gleichgewichtsfeuchte %ERH)**
ist ein Mass für den Dampfdruck, erzeugt durch ein hygroskopische Produkt. Bei einigen Produkten kann aufgrund des A_w auf die Wassermenge im Produkt geschlossen werden

Ein Lagerraum ist oft mit hygroskopischem Material gefüllt:

- Die relative Feuchte der Luft in diesem System wird weitgehend durch die Feuchte des hygroskopischen Materials bestimmt
- Der Einfluss der umgebenden Luft auf die Luftfeuchte im Lagerraum ist nur gering
Zum Vergleich: Wasser in 1 m³ Luft = 30gr. / in 1 m³ Holz bis zu 1000 x mehr (30kg)
- Die relative Luftfeuchtigkeit ändert sich in diesem System nicht proportional zu Temperaturschwankungen, sondern bleibt relativ stabil



Taupunkttemperatur

Taupunkt (Dp)

- Der Taupunkt ist diejenige Temperatur, auf welche ein Gas abgekühlt werden muss, um gerade eben den Wasserdampf in Form von flüssigem Wasser zu kondensieren. (Kondensation, Dunst, Nebel und Regen)
- Der Taupunkt kann auch unter 0°C herrschen (unterkühltes Wasser). Er ist dann zu unterscheiden vom Frostpunkt (Wasserdampf kondensiert in Form von Eis aus. (es schneit)

Praktische Bedeutung:

- Wenn ein Produkt aus dem Kühllager (6°C) an die Umgebung kommt, kann es feucht werden. Es bildet sich Kondensat aussen auf dem Produkt.
Korrosion: bei Kondensation besteht Korrosionsgefahr z.B. an Gebäudestrukturen. Um dies zu verhindern soll die Raumtemperatur wesentlich über der Taupunkttemperatur liegen.

Feuchte Messmethoden

Relative Luftfeuchte wird schon seit langer Zeit gemessen. Verschiedene Messprinzipien wurden entwickelt und kontinuierlich verbessert.



Hygrometer
Messprinzip: Haar



Taupunktspiegel
Messprinzip:
Präzisions-Thermometer



Thermohygrograph
Messprinzip: Haar
oder Kunstfaser



Kapazitive Messzelle
Messprinzip:
Präzisions-Thermometer



Stimmen die Feuchte Messungen?

Checkliste für beste Messresultate:

1. Analysieren Sie das Medium, Welche Schwebstoffe und / oder Chemikalien sind in welcher Konzentration vorhanden.
2. Wählen Sie den richtigen Messort aus: in der Nähe der Ware, ohne Beeinträchtigung des Betriebs, nicht unter tropfenden Decken, nicht im Durchzug etc.
3. Bei rauen Einsatzbedingungen wechseln Sie den Filter häufiger. Die Filter können im Wasser mit etwas Alkohol oder im Ultraschallbad gereinigt werden.
4. Überprüfen Sie die einwandfreie Funktion des Messfühlers durch einen Kalibrierung alle 6 oder 12 Monate. (z.B. im sauberen Lager alle 12 Monate, im Käseereifungskeller alle 3-6 Monate)
5. Einfachtest: ca. 100% Feuchte erhalten sie mit einem nassen Tuch um den Sensor (Raumtemperatur!)
6. Benutzen Sie für genaue Prüfungen unsere SCS-zertifizierten Feuchtestandards. Sie gewinnen dadurch rückführbare Messwerte.

Anwendungen Feuchte und Temperatur



Museen
Produktion / Lagerräume
Umgebungs-klima
Temperatur und Feuchtigkeit





Anwendungen Feuchte und Temperatur



Pharmaproduktion und Reinraum

Messungen von rF / Temperatur /
Differenzdruck mit ECOLOG-NET
Datenlogger

In Klimaschränken: rF / T mit Alarm mit
ECOLOG-NET Datenlogger



Fragen?

Vielen Dank für ihr Interesse

Alois Bischof

CEO

alois.bischof@elpro.com

ELPRO-BUCHS AG | Langäulistrasse 62

9470 Buchs SG | Switzerland

T + 41 81 750 03 11 | www.elpro.com