

Messung von Klimaelementen

1) Messung von Strahlung

• Pyrheliometer

Die Strahlung wird von einem schwarzen Thermometer (bestehend aus einem schwarzgefärbten Metallstreifen) absorbiert. Dieses erwärmt sich dabei. Die Temperatur des erwärmten Thermometers wird mit einem zweiten Thermometer verglichen, das der Sonnenstrahlung nicht ausgesetzt ist und auf Lufttemperatur gehalten wird. Die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Thermometern ist proportional zur Sonnenstrahlung. Das funktioniert aber nur, wenn das durch die Strahlung erwärmte Thermometer nicht durch den Wind gekühlt werden kann. Damit das nicht geschieht, wird über dem exponierten Thermometer eine durchsichtige Halbkugel angebracht. Wenn eine Kalotte aus Quarzglas benutzt wird, kann die kurzwellige Solarstrahlung (0.3–3.0 mm) gemessen werden. Wenn eine Kunststoffhaube (Lupolen) benutzt wird, kann die gesamte Strahlung (kurz- und langwellig, 0.3–60 mm) gemessen werden.

• Heliographen

Mit einem Heliographen kann die Dauer des direkten Sonnenscheins gemessen werden. Das geschieht, indem man das Sonnenlicht auf eine Glaskugel fallen lässt. Die Glaskugel bündelt die von der Sonne kommende Strahlung wie ein Brennglas. Hinter der Kugel befindet sich horizontal ein Papierstreifen. Wenn die Sonne über den Himmelsbogen wandert, wird (wenn keine Wolken da sind) durch die gebündelten Sonnenstrahlen eine Linie in das Papier gebrannt. Bei Wolken reicht die Strahlung nicht aus, um das Papier zu verbrennen. Das Brandmuster wird danach ausgewertet, um die Sonnenscheindauer zu erhalten.

2) Messung von Lufttemperatur

Die Lufttemperatur wird mit **Thermometern** gemessen. Das Grundprinzip ist, dass das Thermometer durch den Kontakt mit der Luft Wärme aufnimmt und nach einer gewissen Zeit mit seiner Temperatur im Gleichgewicht mit der Luft ist. Damit ist klar, dass für genaue Messungen der Lufttemperatur ein Luftstrom um das Thermometer erzeugt werden muss, um lokale Aufheizungen oder Abkühlungen zu vermeiden (ventilieren). Zum eigentlichen Messen der Temperatur benutzt man unterschiedliche physikalische Effekte:

- Ausdehnung einer Flüssigkeit (Quecksilber, Alkohol) in einem Kapillarrohr mit steigender Temperatur. Die Genauigkeit beträgt im Normalfall 1/10tel °C, Laborthermometer erreichen eine Genauigkeit von 1/100stel °C.
- Vergrößerung des elektrischen Widerstandes eines Metalldrahtes mit steigender Temperatur. Dazu wird in der Regel ein Platinwiderstand mit einem Wert von 100 W bei 0 °C benutzt. Er heißt Pt100 Messwiderstand. Die Genauigkeit liegt bei 1/10tel °C bis 1/1000stel °C.
- Kontaktspannung zwischen zwei Metallen. Wenn zwei Metalle sich berühren, entsteht eine elektrische Spannung. Diese Spannung ist abhängig von der Temperatur. Zum Messen der Temperatur werden in der Regel mit diesem Effekt NiCrNi (Nickel-Chrom-Nickel) Elemente benutzt. Die Genauigkeit liegt bei 1/10tel °C bis 1/1000stel °C.
- Verformung eines Streifens zweier unterschiedlicher Metalle, die zusammengeklebt sind. Da beide Metalle unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen, verbiegt sich der Streifen. Man bezeichnet diese Streifen als Bimetallstreifen. Die Genauigkeit liegt bei 1 bis 1/10tel °C.

3) Messung von Luftfeuchte

Die relative Feuchte bzw. der Wasserdampfgehalt der Luft kann auf unterschiedliche Art gemessen werden:

a) Relative Feuchte

- Längenausdehnung von Menschenhaaren mit einem **Haarhygrometer**. Haare nehmen Feuchtigkeit aus der Luft in Abhängigkeit vom Sättigungsdefizit auf. Damit ist eine Längenausdehnung mit steigender relativer Feuchte verbunden. Diese Längenausdehnung wird gemessen.
- Durch Temperaturmessung mit einem **Psychrometer**. Das Psychrometer beruht auf dem Prinzip, dass die Verdunstung von Wasser Energie verbraucht. Deshalb kühlt sich ein Körper, an dessen Oberfläche Wasser verdunstet, gegenüber einem gleichen Körper auf dessen Oberfläche kein Wasser verdunstet, ab. Die Temperaturdifferenz kann mit einer Psychrometertafel in relative Luftfeuchtigkeit umgerechnet werden. In der Praxis benutzt man dazu zwei gleiche Thermometer. Ein Thermometer wird mit einem Stoffstrumpf überzogen, der mit Wasser getränkt wird. Beide Thermometer werden in den Luftstrom eines Ventilators gestellt und die Temperaturdifferenz wird gemessen.
- Mit polymeren Kunststoffen. Bestimmte Kunststoffe haben die Eigenschaft, Wasserdampf aus der Luft aufnehmen zu können. Die Menge des aufgenommenen Wasserdampfes hängt von der relativen Luftfeuchte ab. Durch Aufnahme des Wasserdampfes ändert sich der elektrische Wechselstromwiderstand des Kunststoffes. Dieser wird gemessen.

- Durch die Messung des Taupunktes mit dem **Taupunkt-Hygrometer**. Wird die Temperatur der Luft gesenkt, kondensiert ab einer relativen Luftfeuchte von 100 % der überschüssige Wasserdampf. Nimmt man eine spiegelnde Metalloberfläche und kühlt sie ab, so beschlägt sie bei einer Temperatur, bei der 100 % relative Feuchte erreicht ist. Diese Temperatur bezeichnet man als Taupunkttemperatur. Durch Messung der Differenz zwischen Lufttemperatur und Taupunkttemperatur kann die relative Feuchte bestimmt werden.

b) Absolute Feuchte

- Durch Messung der Absorption ultravioletter Strahlung an den Wasserstoffatomen des Wassermoleküls im Wasserdampf. Wasserstoff absorbiert Strahlung unter anderem bei einer Wellenlänge von 218 nm. Die Absorption von UV-Strahlung dieser Wellenlänge ist abhängig von der Konzentration der Wasserstoffatome in der Luft. Diese ist proportional zur absoluten Feuchte. Zur Messung werden eine UV-Strahlungsquelle und ein UV-Detektor benötigt. Die Strahlungsquelle durchstrahlt eine definierte Wegstrecke. Die gemessene Abschwächung der Strahlung wird in absolute Feuchte umgerechnet.

4) Messung von Luftdruck

Luftdruck wird mit **Barometern** gemessen:

- **Dosen-Barometer:** Eine Metalldose, deren Inneres evakuiert ist, verändert ihr Volumen, wenn der Luftdruck sich verändert, da ein erhöhter Druck die Dose stärker zusammendrückt. Die mechanische Deformation der Dose wird in einen Zeigerausschlag umgesetzt.
- **Kristall-Druckmesser:** Silizium-Kristalle erzeugen eine elektrische Spannung, wenn sie unter mechanischen Stress gesetzt werden. Der Stress wird ähnlich wie bei der Metalldose erzeugt, indem eine Deformation des Kristalls durch Vakuum auf der einen und Atmosphärendruck auf der anderen Seite des Kristalls herrscht.

5) Messung von Wind

Wind ist ein Vektor mit einem Betrag und einer Richtung. Aus diesem Grund müssen bei der Messung von Wind zwei Größen gemessen werden: **Windgeschwindigkeit und Windrichtung**.

- **Windgeschwindigkeit** (m/sec oder Beaufort): Gängigstes Windmessgerät ist das **Schalenkreuzanemometer**. Dabei wird ein (meist dreigliedriges) Kreuz aus Halbkugelschalen senkrecht zur Windrichtung drehbar aufgestellt. Da die Schalenkreuze mit der offenen Seite einen größeren aerodynamischen Widerstand haben als mit der runden Seite, wird ein Impuls vom Wind auf das Anemometer übertragen und der Wind versetzt es in Drehung. Die Umdrehungszahl des Anemometers ist über einen weiten Bereich proportional zur Windgeschwindigkeit. Bei der Drehung ist ein Anlaufwiderstand zu überwinden, deshalb sind die Anemometer nicht für sehr kleine Windgeschwindigkeiten zu gebrauchen (< 0.5 m/sec).

Die Windgeschwindigkeit wird in m/sec oder als Klassengröße in Windstärke (BEAUFORT) angegeben. Es gibt insgesamt 17 Windstärken (hier sind 15 angeführt):

Windstärke (Beaufort)	v (m/sec)	v (km/h)	Name
0	0 – 0.2	< 1	Stille
1	0.3 – 1.5	1 – 5	leichter Zug
2	1.6 – 3.3	6 – 11	leichter Wind
3	3.4 – 5.4	12 – 19	schwacher Wind
4	5.5 – 7.9	20 – 28	mäßiger Wind
5	8.0 – 10.7	29 – 38	frischer Wind
6	10.8 – 13.8	39 – 49	starker Wind
7	13.9 – 17.1	50 – 61	steifer Wind
8	17.2 – 20.7	62 – 74	stürmischer Wind
9	20.8 – 24.4	75 – 88	Sturm
10	24.5 – 28.4	89 – 102	schwerer Sturm
11	28.5 – 32.6	103 – 117	orkanartiger Sturm
12	32.7 – 36.9	118 – 133	Orkan
13	37.0 – 41.3	134 – 149	Orkan
14	41.5 – 46.1	150 – 166	–
15	46.2 – 50.9	167 – 183	–

Eine weitere Möglichkeit zur Messung der Windgeschwindigkeit ist das **Staurohr**. Es beruht auf der Druckerhöhung in einem an der windabgewandten Seite geschlossenen Rohr. Wird das Rohr senkrecht angeblasen, steigt der Druck im Rohr mit steigender Windgeschwindigkeit. Dieses Prinzip wird oft in Flugzeugen benutzt, um die Fluggeschwindigkeit zu messen.

- **Windrichtung:** Sie wird mit der **Windfahne** gemessen. Windfahnen haben eine lange und eine kurze Seite, sind drehend gelagert und richten sich so aus, dass die **kurze** Seite in die Windrichtung zeigt (ein Ostwind ist ein Wind, der aus Osten kommt!).

6) Messung von Niederschlag

Niederschlag wird in mm gemessen.

a) Niederschlagssammler

Niederschlagssammler bestehen aus einer normierten Öffnung in Form eines Trichters und einem Gefäß. Der Trichter dient als Verdunstungsschutz. Die Niederschlagssammler werden in einer definierten Messhöhe aufgestellt. Dabei ist wichtig, dass die Messung nicht durch Bäume oder Gebäude in der Nähe gestört wird.

Zwei Arten von Niederschlagssammlern werden benutzt:

- Der **Totalisator** sammelt den Niederschlag zwischen zwei Wartungsintervallen und wird normalerweise manuell geleert. Die gemessene Niederschlagsmenge (Kubikzentimeter) wird in mm umgerechnet.
- Der **Intensitätsmesser** sendet einen Impuls, wenn eine bestimmte Menge Niederschlag (in der Regel 0.1 mm) gefallen ist. Die Intensität des Niederschlags (in mm/h) wird bestimmt, indem man die Zeit zwischen zwei Impulsen misst.

Die größten Fehler bei der Niederschlagsmessung treten durch folgende Fehlerquellen auf:

- Windeinfluss, dabei werden die Tropfen aus ihrer senkrechten Fallrichtung abgelenkt. Hinzu kommt die Hydraulik um den Niederschlagsmesser, die bei hohen Windgeschwindigkeiten ähnlich wie bei einem Cabrio die Öffnung umströmt, ohne dass Regentropfen hineinfallen.
- Verdunstung, vor allem bei Totalisatoren, die nur selten (z. B. jedes halbe Jahr) geleert werden.

Ein paar wichtige Fakten:

- In Deutschland repräsentiert ein Totalisator eine Fläche von ca. 100 km², in Indien von ca. 15.000 km².
- Die Auffangfläche aller Niederschlagsmesser, die von der WMO (World Meteorological Organization) benutzt werden, um die globalen Niederschlagskarten zu erzeugen, ist zusammengenommen ungefähr so groß wie ein Fußballfeld!
- Obwohl Niederschlagssammler genormt sein sollten, werden von den meteorologischen Organisationen weltweit ca. 60 verschiedene Niederschlagssammler verwendet.

b) Radar-Niederschlagsmessung

Die Radar-Niederschlagsmessung basiert auf dem gleichen Prinzip wie die Ortung von Flugzeugen mit einem Flughafen-Radar. Radar-Impulse werden dabei am Körper des Flugzeuges reflektiert. Danach wird aus der Richtung und Laufzeit der Radar-Impulse die Position, aus der Stärke und Charakteristik des Echos der Typ und aus der Verschiebung der Frequenz (Doppler-Effekt – Vorbeifahren des Rettungswagens!) die Geschwindigkeit des Flugzeuges bestimmt. Radar-Impulse werden auch an Wassertropfen und Eiskristallen reflektiert, wenn der Radarstrahl auf eine Wolke gerichtet wird. Es lässt sich also damit die Anzahl und Größe der Regentropfen und Eiskristalle in einer Wolke bestimmen. Misst man gleichzeitig den Niederschlag unter der Wolke an einigen Stellen, ist die Bestimmung der Niederschlagsverteilung möglich.

Quelle: http://www.geographie.uni-muenchen.de/ggf/Multimedia/Klimatologie/klimaelemente_allgemein.htm