



**DAS** Meeno Schrader  
**WETTERBUCH**  
für Wassersportler



---

DEL I U S K L A S I N G



**DAS** Meeno Schrader  
**WETTERBUCH**  
für Wassersportler

Delius Klasing Verlag

## **Danksagung**

Vielen Dank allen, die zur Entstehung dieses Buches beigetragen haben! Der allergrößte Dank geht liebevoll an Jule.

3. Auflage 2018

© Delius Klasing & Co. KG, Bielefeld

Folgende Ausgaben dieses Werkes sind verfügbar:

ISBN 978-3-667-11364-1 (Print)

ISBN 978-3-667-11387-0 (PDF)

Alle Fotos und Abbildungen Meeno Schrader bis auf:

Rainer Krause (S. 15, 74, 134 links); Uwe Roch (S. 40);

Jimmy Cornell (S. 33, 147); NASA (S. 37, 94, 106);

Meteosat EUMETSAT (S.40); UK MetOffice (S. 94, 101, 175);

Traugott Müller-Frey (S.103 unten); Kristina Färman (S.104);

Oliver Reischke (S.108 rechts); Kerstin Gade (S.108 links, 114);

G.Wille (S.117 oben); Marlene & Bert Frisch (S.123, 125);

Ben Scheurer (S.145); Jörg Drexhagen (S.158 oben)

Lektorat: Felix Wagner, Dr. Petra Demmler

Zeichnungen: Planstelle Jens Rademacher, Hamburg

Einbandgestaltung und Layout: Gabriele Engel

Lithografie: scanlitho.teams, Bielefeld

Datenkonvertierung E-Book: HGV Hanseatische Gesellschaft für Verlagsservice, München

Alle Rechte vorbehalten! Ohne ausdrückliche Erlaubnis des Verlages darf das Werk, auch Teile daraus, nicht vervielfältigt oder an Dritte weitergegeben werden.

[www.delius-klasing.de](http://www.delius-klasing.de)

# Inhalt

---

Vorwort	9
---------	---

---

---

<b>1</b>	<b>Ohne Sonne geht nichts</b>	<b>11</b>
1.1	Was ist Wetter?	12
1.2	Was ist Seewetter?	12

---

---

<b>2</b>	<b>Ohne Luft geht auch nichts</b>	<b>13</b>
2.1	Temperatur	14
2.2	Feuchte	15
2.3	Luftdruck	17
2.4	Isobarenkarten	19
2.5	Hoch oder Tief?	20
2.6	Wie entsteht Wind?	21
2.7	Von den Isobaren zur Windgeschwindigkeit	22
2.8	Von den Isobaren zur Windrichtung	23
2.9	Das Barometer – Informationsgehalt	25
2.10	Der Barograph – viel nützlicher	26

---

---

<b>3</b>	<b>Die großen Windsysteme der Erde</b>	<b>28</b>
3.1	Die innertropische Konvergenzzone ITCZ	30
3.2	Subtropisches Hochdruck- gebiet und Passate	31
3.3	Wellenstörungen oder »Easterly Waves«	37
3.4	Kalmen – Doldrums – ITCZ	38
3.5	Die Westwindzonen-Pumpe	41

---

---

<b>4</b>	<b>Tiefdruckgebiete</b>	<b>42</b>
4.1	Eigenschaften und Entstehung von Tiefdruckgebieten	42
4.2	Thermisches Tief	42
4.3	Dynamisches Tief	43
4.3.1	Aufgabe	43
4.3.2	Luftmassen	45
4.3.3	Fronten	46
4.3.4	Trog	48
4.4	Ein Tief zieht durch	51
4.4.1	Luftdruckveränderung	51
4.4.2	Windverlauf	52
4.4.3	Wolkenverlauf	55
4.4.4	Wetterverlauf	60
4.4.5	Nord- und Südhalbkugel	61

---

---

<b>5</b>	<b>Wolken</b>	<b>62</b>
5.1	Vom unsichtbaren Wasser- dampf zur sichtbaren Wolke	62
5.2	Wolkenentstehung	63
5.3	Wolkenarten	65
5.3.1	Schichtwolken (Stratus)	67
5.3.2	Haufenwolken (Cumulus)	67
5.4	Was uns die Wolken sagen	70
5.5	Einfluss der Wolken auf das bodennahe Windfeld	73
5.5.1	Quellwolken – nicht abregnend	73
5.5.2	Quellwolken – abregnend	74

---

---

<b>6</b>	<b>Regionale und Küsteneffekte</b>	<b>76</b>
6.1	Kapeffekt	76
6.2	Düseneffekt	77
6.3	Küstenkonvergenz	78
6.3.1	Wind weht aufländig	79
6.3.2	Wind weht ablandig	79
6.4	Küstendivergenz	80
6.4.1	Wind weht ablandig	80
6.4.2	Wind weht parallel oder schräg aufländig	81
6.5	Inseln	82
6.5.1	Windfeld	82
6.5.2	Wellenbild	83

---

<b>7</b>	<b>Lokale Windsysteme</b>	<b>84</b>
7.1	Einflüsse	84
7.2	Seewind	85
7.2.1	Seewind ohne Gradientwind	86
7.2.2	Seewind mit Gradientwind	89
7.3	Landwind	92

---

<b>8</b>	<b>Regionale Windsysteme im Mittelmeer</b>	<b>94</b>
8.1	Mistral	96
8.2	Meltemi/Etesien	98
8.3	Bora	99
8.4	Schirokko	102
8.5	Föhn	102

---

---

<b>9</b>	<b>Wann wird's gefährlich?</b>	<b>104</b>
9.1	Nebel	104
9.1.1	Was ist Nebel?	104
9.1.2	Wie entsteht Nebel?	104
9.1.3	Nebel – was tun?	106
9.2	Gewitter	108
9.2.1	Frontgewitter	108
9.2.2	Wärmegewitter	108
9.2.3	Gewitterhäufigkeit und -zeiten	110
9.2.4	Woran erkennt man Gewitter?	111
9.2.5	Warum ziehen Gewitter »gegen den Wind« auf?	114
9.2.6	Zieht die Wolke vorbei?	115
9.2.7	Was tun bei Gewitter?	115
9.3	Wasserhosen	116
9.4	Sturm	118
9.4.1	Psychologische Wirkung	120
9.4.2	Sturm Vorbereitung	121

---

---

<b>10</b>	<b>Wellen und Seegang</b>	<b>122</b>
10.1	Windsee	122
10.2	Dünung	123
10.3	Grundsee	124
10.4	Kreuzsee	125
10.5	Eigenschaften von Seegang	126
10.5.1	Wellenlänge	126
10.5.2	Wellenperiode	126
10.5.3	Wellenhöhe	126
10.6	Kaventsmänner, Monster- wellen und Freak Waves	128

---

---

<b>11</b>	<b>Wetterbeobachtungen an Bord</b>	<b>130</b>
11.1	Luftdruck	130
11.2	Wind	131
11.3	Abschätzen von Wind- und Wellenhöhen	132
11.4	Böen	132
11.5	Wolken lesen	134
11.6	Küste lesen	135

---

---

<b>12</b>	<b>Meteorologische Törnplanung</b>	<b>137</b>
12.1	Wochenendtörn 1–2 Tage	138
12.2	3–7-Tage-Törns	139
12.3	2–4-Wochen-Törns	139
12.4	Langstrecke – Blauwasser	140
12.5	Überführungstörns	143
12.6	Regatta	144
12.7	Die Crew	145
12.8	Die Sicherheit	145
12.9	Das Schiff/das Boot	145
12.10	Nebenwirkungen	146
12.11	Welche Wettervorhersagen für welchen Törn?	146

---

---

<b>13</b>	<b>Moderne Wetterversorgung an Bord</b>	<b>148</b>
13.1	Seewettervorhersagen per SMS	148
13.1.1	Vor- und Nachteile von SMS-Seewettervorhersagen	150
13.1.2	Reichweite des Mobilfunks	150
13.2	Apps	150
13.3	Törnberatungen	151
13.4	Internet	153
13.5	Zugriff auf das Internet von Bord aus	153
13.6	GRIB-Daten und Wettersoftware	154
13.7	GRIB-Datenempfang auf hoher See	156

---

---

<b>14</b>	<b>Gezeiten</b>	<b>159</b>
-----------	-----------------	------------

---

---

<b>15</b>	<b>Strömung</b>	<b>162</b>
-----------	-----------------	------------

---

---

<b>16</b>	<b>Revierwetter</b>	<b>167</b>
16.1	Ostsee	167
16.2	Nordsee	167
16.3	Mittelmeer	168

---

---

<b>17</b>	<b>Klimawandel – Auswirkungen auf Wetter, Wind und Wasserstand</b>	<b>170</b>
-----------	--	------------

---

---

<b>18</b>	<b>Regattawetter</b>	<b>173</b>
18.1	Kleines Regatta 1 × 1	173
18.1.1	Das »Big Picture«	173
18.1.2	Gradientwind	175
18.1.3	Küsteneinflüsse	178

---

---

<b>19</b>	<b>Glossar</b>	<b>182</b>
-----------	----------------	------------

---



# Vorwort

Als ich mit vier Jahren das erste Mal an der Pinne stand, wusste ich zwar ungefähr, wie man das Wort »Wetter« ausspricht, aber ich wusste keineswegs einzuordnen, was das war.

Als ich mit neun Jahren bei Windstärke 6 und 1 Meter sehr steiler, kurzer Welle über die Leda (einem Nebenfluss der Ems bei uns quasi hinter dem Haus) mit meinem Opti peitschte, wusste ich, dass Wetter sehr viel Spaß machen kann! Als ich jedoch mit 16 Jahren auf der Ems beinahe ertrunken wäre, weil der böige 5-Windstärken-Wind unseren Korsaren immer wieder umwarf, ich den Kontakt zum Schiff verlor und Panik bekam, in der brechenden »Wind-gegen-Strom«-Welle in die nahen Stellnetze zu treiben, wurde mir bewusst, dass man es auch überreizen kann. Wetter und Seegang hatten uns plötzlich Grenzen aufgezeigt. Es gab Momente, da hatte ich noch als 11-Jähriger Angst vor dem Wasser und dem Segeln. Meist dann, wenn die Küste weit wegrückte – und doch konnte ich nicht widerstehen. Auf einem unserer unzähligen Wochenendtörns nach Borkum wurde plötzlich aus Angst Faszination. Faszination, was physikalisch mit einem Segelboot machbar ist: nur unter Segeln von A nach B zu reisen, sogar gegen den Wind voranzukommen – und das mit beeindruckender Geschwindigkeit! Sich der Natur zu stellen, sich mit ihren wunderschönen, aber auch hässlichen Facetten auseinanderzusetzen, sie zu genießen

und sich zugleich immer wieder respektvoll mit ihr zu messen.

Ich weiß gar nicht mehr, warum es an mir hängen blieb. Auf jeden Fall war ich es, der allabendlich die Aufgabe übernahm, den Seewetterbericht zu hören und mitzuschreiben. Die Wetterlage zu notieren, zu skizzieren, zu versuchen, ein spärliches Bild zu malen, wie so ungefähr die Wetterlage vielleicht am nächsten Tag aussehen sollte – zumindest der Stimme nach, die dem immerwährenden monotonen Rasseln des Weckers folgte und behauptete Norddeich Radio zu sein. Ob es nun stimmte, was die Stimme mir sagte, oder nicht: Sie war ehernes Gesetz. Abends wurde in der Nordsee Norddeich Radio gehört, in der Ostsee war es Kiel oder Rügen Radio. Damals gab es keine Alternative und alle unter Deck mussten still sein. Die Stimme war das eine, die Verkündung dessen, was mit dem Wetter werden sollte, das andere, das viel Wichtigere. Mein Vater war der Skipper. Er war weiß Gott kein höriger Mensch und meinte einige Dinge besser zu wissen, aber hier gab er respektvoll nach. Ab- und Weiterfahrt wurden (meist) nach dem Wetter entschieden.

Bis heute sind über vier Jahrzehnte vergangen. Wir shutteln quasi »Linie« zum Mond, rasen mit dem Rennwagen durch die Wüste, glauben beim Fallschirmfliegen Herr der Lüfte zu sein und meinen mit dem Supertanker immer den direkten Weg bei



voller Marschgeschwindigkeit fahren zu können. Nichts kann uns scheinbar aufhalten, und doch gibt es etwas, das das fertigbringt. Wir nennen es schlicht »Wetter«. Sechs Buchstaben für die Urkräfte unseres Planeten, der nicht nur aus Land- und Wassermassen besteht, sondern der noch von einer dünnen Lufthülle eingeschlossen ist. Wir nennen sie Troposphäre. Diese Hülle der Luft, die es erst ermöglicht, dass wir überhaupt auf dieser Erde leben können. Faszinierend, wie dünn sie ist: Nimmt man einen Globus von 2 m Durchmesser, ist diese Lufthülle nicht einmal 3 mm dick! Und doch steckt in ihr die gigantische Energie von über 1000 Atomkraftwerken! Bei so viel Energie muss der Mensch nicht kapitulieren, aber er darf auf keinen Fall glauben, alles zu können. Wer auf die See hinausfährt, der kann das mit den unterschiedlichsten schwimmbaren Untersätzen tun, und er sollte die Angst an Land

lassen, der Respekt jedoch gehört mit an Bord! Er ist der (überlebens-)wichtigste Wegbegleiter. Respekt vor dem Wetter hilft, immer richtig zu handeln und zu entscheiden, auch und gerade wenn es kritisch wird – und kritisch wird es mit Sicherheit irgendwann einmal.

Wetter erscheint manchen Menschen so, als sei es Zauberei. Doch es ist Physik. Mal einfache, mal sehr komplizierte Physik. Dieses Buch soll helfen, dem Wetter die Kompliziertheit zu nehmen, ihm den Zauber aber zu lassen. Mit etwas mehr Verständnis können die vielen, oft einfachen Zeichen des Himmels besser verstanden und gedeutet werden. Wenn man weiß, was kommt, hat man die Möglichkeit, rechtzeitig und aktiv die richtige Entscheidung zu treffen.

Es ist dieses Wissen um das Wetter, das viel Unsicherheit und Anspannung nimmt und stattdessen Vertrauen zwischen Crew und Skipper/Skipperin schafft, Sicherheit, Spaß und Erholung an Bord bringt und all das erst möglich macht, wofür der Wassersport steht.

Das Buch soll helfen, dieses Vertrauen herzustellen, sodass es möglich ist, mit dem Wetter aktiv umzugehen und sich das Wetter zum Freund zu machen!

*Viel Spaß dabei!*

# 1 Ohne Sonne geht nichts



Man schrieb das Jahr 1816, als der Sommer ausblieb. Bei einem der größten Vulkanausbrüche der Erde ein Jahr zuvor wurden um die 100 Kubikkilometer Asche in die Tropo- und Atmosphäre geschleudert. Diese gigantische Menge an Staub und Partikeln verteilte sich über Monate hinweg gleichmäßig in der Lufthülle um die ganze Erde und platzierte damit eine dicke Staubschicht, die nur noch einen klitzekleinen Teil an Sonnenlicht und -energie durchließ. Der so verdunkelte Himmel führte allein in Europa zu einem derma-

ßen kalten Sommer, dass in vielen Ländern Mitteleuropas nichts mehr gedeihte und Vieh und Menschen zu Tausenden verhungerten.

Leben auf der Erde braucht Sonne. Sie liefert die Energie für sämtliche chemischen, physikalischen und biologischen Prozesse. Sie sorgt für die Temperaturen, die es uns Menschen erst möglich machen, auf der Erde leben zu können. Sie bringt Wärme, die in der Atmosphäre kleine wie große Bewegungen auslöst, die schließlich in Wetter enden.

## 1.1 Was ist Wetter?

Wetter spielt sich innerhalb der Atmosphäre ab, genau gesagt in ihrem untersten Stockwerk, der Troposphäre. Wetter ist das Ergebnis des Zusammenspiels von Sonne und Luft in der Troposphäre. Sie ist im Mittel 12 Kilometer hoch, in den Tropen sind es bis zu 18 Kilometer, an den Polen um die 9 Kilometer.

Zahlreiche und komplexe Wechselwirkungen zwischen Sonnenenergie und Gasmolekülen führen zu teils sichtbaren, teils unsichtbaren Vorgängen. Diese nennen wir Wetter. Wetter ist der Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem Ort.

## 1.2 Was ist Seewetter?

Seewetter ist Wetter auf und über dem Wasser. Hier spielt nicht nur die Troposphäre eine gewichtige Rolle, sondern auch das Wasser mit allen seinen Kräften und Zustandsformen. Zum Seewetter gehören:

- ▶ Wind
- ▶ Wettererscheinungen
- ▶ Seegang
- ▶ Strömung
- ▶ Eis

## 2 Ohne Luft geht auch nichts

Wetter braucht Luft und damit eine Atmosphäre! Der Begriff »Atmosphäre« kommt aus dem Griechischen und setzt sich zusammen aus den Worten »atmos« = Dampf, Dunst, Hauch und »sphaira« = Kugel. Die Atmosphäre ist die gasförmige Hülle um einen Himmelskörper. Das für das Wetter maßgebliche unterste Stockwerk der Atmosphäre ist die Troposphäre.



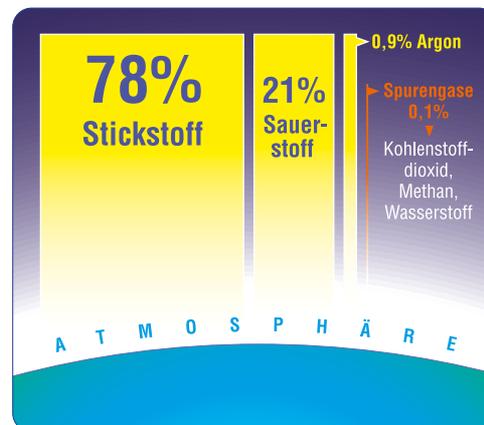
◁ Bei einem Durchmesser der Erde von 2 m hat die Gashülle (= Troposphäre) nur eine Dicke von gerade einmal 3 mm! Hier spielt sich das gesamte Wetter ab.

Offensichtlich gibt es eine bestimmte Zusammensetzung eines Gasgemisches, das erst Leben auf der Erde möglich macht.

Beeindruckend sind die Verhältnisse der Gasanteile untereinander. 78 % Stickstoff, »nur« 21 % überlebenswichtiger Sauerstoff und 0,93 % Argon, das neben seiner Bedeutung im Gasgemisch als Lebenselixier im Allgemeinen vom Menschen auch als Schutzgas zum Schweißen und für Glühbirnen entdeckt wurde. 99,9 % der Anteile der Atmosphäre sind damit erklärt, es bleibt ein winziger Rest von 0,1 %, die sogenannten Spurengase. So vernachlässigbar sie erscheinen, sind sie für das Leben auf der Erde von immenser Bedeutung. Besonders deutlich wird ihr Einfluss im Hinblick auf den Klimawandel.

0,0018 %; Helium 0,0005 %; Methan 0,00017% – Tendenz steigend. Weitere 15 Spurengase sind in noch sehr viel geringeren Mengen enthalten. Trotz der vergleichsweise sehr geringen Mengen ist der Einfluss von Kohlenstoffdioxid und Methan gewaltig. Ihre Mengen nehmen

Die Anteile der Spurengase betragen: Wasserdampf (über die gesamte Atmosphäre gemittelt) 0,04 %; Kohlenstoffdioxid oder meist in der Kurzform als Kohlendioxid bezeichnet zurzeit (Stand 2014) 0,0402 % – Tendenz steigend; Neon

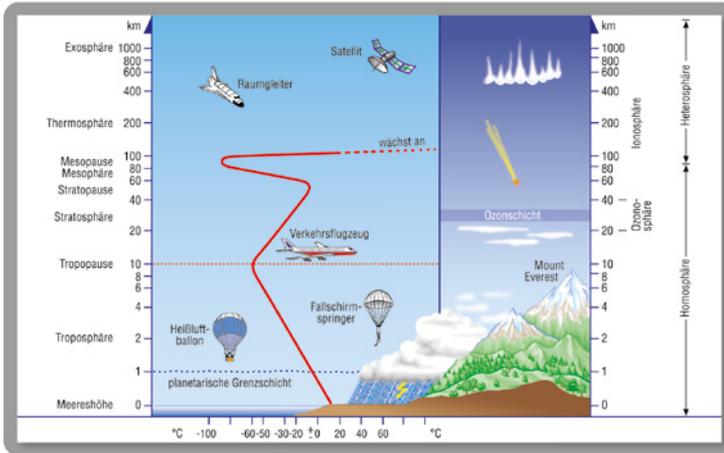


◁ Chemische Zusammensetzung der Atmosphäre.

immer mehr zu, sie sind Hauptursache für die Erwärmung der Atmosphäre als Folge des Treibhauseffektes.

Die Zutaten unserer Lebensgrundlage sind eigentlich denkbar einfach:

### Sonnenenergie + Gasmisch



△ Die Lufttemperatur (rote Kurve) nimmt mit der Höhe ab. In den mittleren Breiten bei ca. 10 km Höhe kehrt sich der Verlauf um zu einer Zunahme. Diese Inversion heißt Tropopause. Sie bildet eine sehr wirksame Obergrenze des Wettergeschehens, das sich damit komplett nur in der im Vergleich zum Erddurchmesser sehr dünnen Gashülle, der »Troposphäre«, abspielt (oben). Hier entstehen alle imposanten Wolken und Wettersysteme (unten).

Ob an Land, an Bord, auf dem Berg oder im Flachland: Überall auf der Erde sind wir ihr »ausgeliefert« – der Luft, diesem Gemisch aus unterschiedlichen Gasen und Molekülen. Sie ermöglicht uns nicht nur das Leben im Allgemeinen, sondern sie ist auch für das Wetter verantwortlich oder noch besser: Sie ist förmlich das Wetter – und sie ist (fast) immer in Bewegung. Selbst wenn die Luft scheinbar einmal »steht«, hat das Auswirkungen. Nur: Luft ist unsichtbar! Es gibt jedoch Möglichkeiten ihr auf die Schliche zu kommen und zu »erkennen«, was sie gerade tut oder was sie demnächst vorhat zu tun. Zwei Möglichkeiten machen die Luft »sichtbar«:

#### 1. Messen ihrer Eigenschaften

#### 2. Beobachten, um Vorgänge in der Luft zu erkennen (z. B. Wolken).

Allein hierdurch lassen sich viele direkte Erkenntnisse gewinnen oder indirekt ableiten.

### Die wichtigsten Parameter

So phänomenal und unglaublich komplex das Wetter eigentlich ist, so einfach sind seine Grundzutaten – drei Stück an der Zahl:

1. Wärme
2. Wasserdampf
3. Luftdruck

Alles in einen Topf geworfen und miteinander vermischt, kommt es zu Wechselwirkungen und Kettenreaktionen mit Folgeerscheinungen, die »Wetter« heißen.

## 2.1 Temperatur

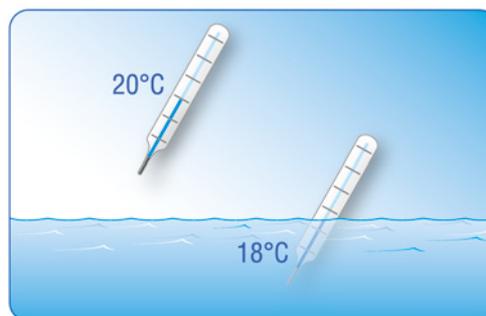
Um die Wärme eines Körpers zu bestimmen, hilft das Thermometer. Seine offizielle physikalische Einheit ist *Kelvin*. In vielen Ländern Europas hat sich *Grad*

*Celsius* durchgesetzt, in Großbritannien und in den USA die Einheit *Fahrenheit*.

$$\text{Grad Celsius} = (T \text{ Fahrenheit} - 32) \times \frac{5}{9}$$

Im Grunde genommen ist es egal, welche Einheit verwendet wird. In der Atmosphäre geht es immer nur um den Wärmevergleich benachbarter Luftmassen: Zeigt das Thermometer einen hohen Wert an, bezeichnen wir diese Luftmasse als warm; ist es ein niedriger Wert, gilt sie als kalt. Auch wenn wir Menschen immer wieder versuchen, »warm« und »kalt« bestimmte Gradzahlen zuzuordnen, physikalisch gesehen ist dies nicht nötig. Beispiel: Gebe ich jemandem die Hand, und seine Hand ist kälter als meine, spreche ich ihm eine kalte Hand zu, ohne zu wissen wie viel Grad Körpertemperatur er wirklich hat. Damit ist die Wärmeverteilung »warm/kalt« ohne Thermometer ausreichend geklärt. Die Antwort beruht also nur auf dem Verhältnis der Wärme beider Körper zueinander. Der Wärmere wird als warm, der andere als kalt bezeichnet.

Genauso verhält es sich in der Atmosphäre. Die Luft besteht aus unterschiedlichen Luftmassen, die nicht gleich temperiert sind. Es gibt Luftpakete, die wärmer und andere, die kälter sind. Über



◁ Messung Wassertemperatur 18 °C, Messung Lufttemperatur 20 °C. Die Luft ist wärmer als das Wasser – das hat vielerlei Konsequenzen.

die Messung der Lufttemperatur kann man feststellen, welches das warme Luftpaket ist, und welches das kalte.

Der genaue Temperaturwert spielt aber eigentlich kaum eine Rolle. Von Bedeutung sind die Temperaturunterschiede, und diese führen zu wichtigen thermodynamischen Konsequenzen:

Warme Luftmasse = geringe Dichte  
= leichte Luft = Aufsteigen  
Kalte Luftmasse = große Dichte  
= schwere Luft = Absinken

Die Temperaturdifferenz zweier benachbarter Luftpakete entscheidet, welche Luft bestrebt ist aufzusteigen und welche bleibt, wo sie ist oder absinken wird. Der Unterschied gibt lediglich die Information, wie schnell die warme Luft aufsteigt. Je krasser die Gegensätze, desto heftiger die Bewegungen der Luft.

## 2.2 Feuchte

Auf der Erde gibt es etwa 1,4 Milliarden Kubikkilometer Wasser. Gut 98 % des Wassers sind flüssig, 1,8 % sind fest (Eis) und eine ganz kleine Menge – nur 0,001 % – sind gasförmig, befinden sich also in der Luft.

◁ Um festzulegen, welche Hand warm und welche kalt ist, benötigt man kein Thermometer, es reicht der direkte Kontakt. Die absolute Temperatur spielt erst einmal keine Rolle.

▷ Wenn die Lufttemperatur die Taupunkttemperatur erreicht und genügend Luftfeuchtigkeit (Wasserdampf) vorhanden ist, bildet sich Nebel.

Von dieser winzig kleinen gasförmigen Menge soll nachfolgend die Rede sein. Sie heißt »Wasserdampf« und spielt für das Wetter die wichtigste Rolle!

Wie viel Wasserdampf in der Luft vorhanden ist, besagt die sogenannte Feuchte der Luft. Wie bei den Temperaturen, kommt es auch hier nur auf das Verhältnis an. In diesem Fall handelt es sich um das Verhältnis zwischen der Anzahl trockener Luftmoleküle gegenüber der Anzahl feuchter Moleküle (= Wasserdampfmoleküle). Daher erfolgt die Messung gleich in »Prozent relativer Feuchte«. Bei 0 % ist die Luft knochentrocken, bei 100 % besteht sie nur aus Wasserdampf.

Der Wohlfühlwert für den Menschen liegt zwischen 40 % und 70 %, er hängt aber noch stark vom Wind und der Lufttemperatur ab.

**Warme Luft nimmt mehr Wasserdampf auf als kalte Luft!**

Wie alle Gase, ist auch Wasserdampf unsichtbar. Allerdings streng genommen nur solange die Luftfeuchte < 100 % beträgt.

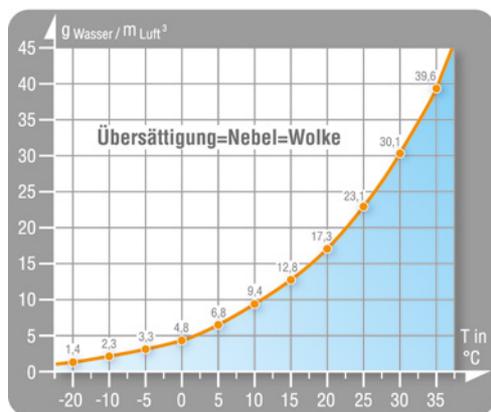


Ist sie genau 100 %, ist von der »Sättigungsfeuchte« die Rede. Mehr unsichtbaren Wasserdampf kann ein Luftpaket nicht aufnehmen. Wie viel Wasserdampf ein Luftpaket genau aufnehmen kann, hängt von seiner Temperatur ab.

Wenn ein Luftpaket 100 % Feuchte besitzt, dann passiert etwas sehr Bedeutsames: In diesem Moment kann die Luft keinen unsichtbaren Wasserdampf mehr aufnehmen. Der Wasserdampf kondensiert zu Wassertröpfchen und wird damit sichtbar! Es entsteht Tau. Daher heißt die Lufttemperatur bei genau diesem Zustandswechsel »Taupunkttemperatur«. Weil warme Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann als kalte, ist die Taupunkttemperatur in warmer Luft höher als in kalter Luft.

Die Taupunkttemperatur gibt Auskunft über das unterschiedliche Speichervermögen von Wasserdampf in warmer und kalter Luft: 10 °C kalte Luft kann 9,4 g Wasser pro Kubikmeter Luft enthalten, dann sind 100 % relative Feuchte erreicht. 35 °C warme Luft kann dagegen 39,6 g Wasser pro Kubikmeter Luft enthalten bis die Sättigungsfeuchte erreicht ist. So kann heiße Wüstenluft mehr Wasser beinhalten als kühle Herbstluft in Mitteleuropa, obwohl sich die Herbstluft deutlich feuch-

▷ »Taupunkttemperatur«. Je niedriger die Temperatur eines Luftpakets, desto weniger Wasserdampf kann es halten und desto eher bildet sich Nebel. Die Taupunkttemperatur (die Temperatur, bei der Kondensierung stattfindet) ist in warmer Luft höher als in kalter Luft.





◁ Feuchte-Messgeräte: Klassisches mechanisches Haar-Hygrometer (links). Fühler eines elektronischen Gerätes mit kapazitivem Feuchte-sensor, der die Änderung der elektrischen Eigenschaften infolge der Änderung des Feuchtegehaltes misst (rechts).

ter anfühlt! Bei 20 % Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von 40 °C enthält der Kubikmeter Luft etwa 10 g Wasser. Bei 90 % Luftfeuchtigkeit und 10 °C sind es nur gut 8 g Wasser. Entscheidend ist nicht die absolute, sondern die relative Feuchte.

## 2.3 Luftdruck

So leicht Luft zu sein scheint, Luft hat ein Gewicht. Jedes einzelne Molekül hat ihrem Element und dem Volumen entsprechend ein zwar extrem niedriges, aber dennoch ein Gewicht! Ein Atom hat (je nach Element) einen Radius von ~ 1 Angström = 0,1 Nanometer =  $1 \times 10^{-10}$  m, d. h. auf einen Nanometer passen nebeneinander ca. 5–10 Atome. Auf einen Millimeter passen nebeneinander 5–10 Mio. Atome,

5–10 Milliarden auf einen Meter. Bei einem Erdumfang von 40 017 607 Metern und einer Dicke der Troposphäre von im Mittel 14 000 Metern kommt eine gigantische Masse an Molekülen zusammen – ein enormes Gewicht.

Rechnet man das Gewicht der Luft über ihr Molekulargewicht aus, bekommt man folgende Werte: 1000 Liter Luft wiegen ca. 1 kg. Ein anderes Maß: Auf einer Fläche von einem Quadratmeter lasten im Mittel 10 Tonnen Luft. Das ist das Gewicht der Luftsäule von der Erd-/Wasseroberfläche bis ins Weltall in 1000 km Höhe. Gewicht ist dabei nichts anderes als Druck pro Fläche.

Gemessen wird dieser Druck mit einem Barometer. Das Gewicht der Luft auf die Erdoberfläche heißt Luftdruck. Mit dem Barometer wird der Luftdruck zu jedem



◁ Barometer: elektronisch (links), mechanisch (rechts).

Zeitpunkt genau dort gemessen, wo es steht. Die Aussage der Messung besagt, wie viele Luftmoleküle sich über dem Messort gerade auftürmen und übereinanderstapeln.

Die physikalische Einheit des Luftdruckes ist hPa (Hektopascal). Zur Zeit der Erfindung des Quecksilberbarometers waren es mmHg (Millimeter Quecksilbersäule). Bei den ersten mechanischen Druckmessungen wurde TORR verwendet. Hieraus wurde später mb (Millibar). Die Amerikaner verwenden auch heute noch mb, korrekt ist hPa. Dabei ist die Umrechnung denkbar einfach: 1 mb = 1 hPa.

Der mittlere Luftdruck auf der Erde liegt bei 1013 hPa. 1040 hPa ist ein hoher Wert, 980 hPa ein niedriger Wert. Der bisher höchste Luftdruck wurde mit 1083,8 hPa in Oimjakon, in der Teilrepublik Jakutien im Osten Russlands am 31.12.1968 gemessen. Der niedrigste protokollierte Luftdruck betrug 870 hPa im Taifun »TIP« westlich von Guam am 12.10.1979.

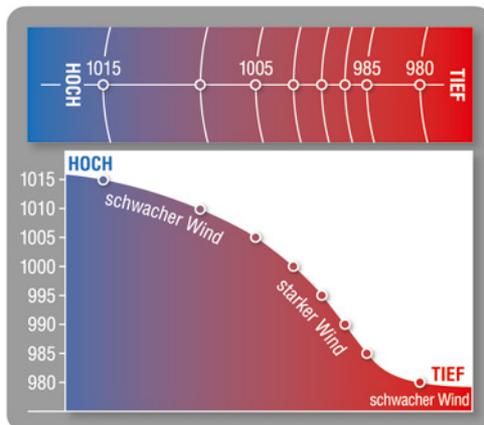
Macht man in der unmittelbaren Umgebung einer Luftdruckmessung (z. B. 200 m weiter) eine zweite Messung, ist festzu-

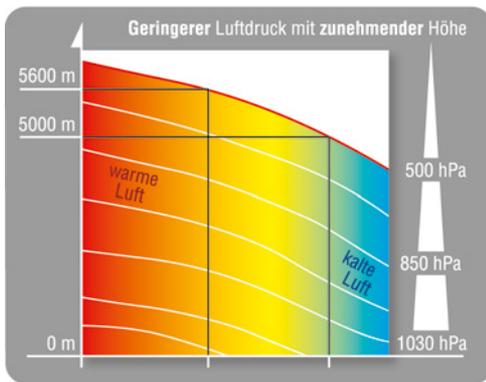
stellen, dass der Luftdruck ähnlich oder gleich hoch ist. Das beweist, dass sich die Luftteilchen nicht nur über einem Quadratmeter oder einer noch kleineren Säule stapeln, sondern es sich um größere Luftpakete handelt. Diese Luftpakete heißen Luftdrucksysteme. Um sie unterscheiden zu können, tragen sie Namen. Ist der gemessene Luftdruck eher niedrig, heißen sie Tiefdruckgebiete, kurz: Tief. Ist der Wert eher hoch, heißen sie Hochdruckgebiete, kurz: Hoch. Doch es ist nicht nur der Betrag des Luftdrucks, der zu dieser Unterscheidung führt, sondern auch die Dynamik innerhalb der Systeme, wie sich die Luftmoleküle in der Senkrechten bewegen: im Tief ist ihre Bewegung nach oben gerichtet (aufsteigend), im Hoch nach unten (absinkend).

Durch die Abwärtsbewegung der Luftmoleküle entsteht also ein Hochdruckgebiet. Dies kann man sich als einen riesigen Berg von Luftmolekülen vorstellen. Jeder (!) Berg hat um sich herum ein Tal oder zumindest ein Gebiet, das flacher ist als der Berg selbst. Dieses Tal stellt bereits das Tiefdruckgebiet dar. Wieder sind, wie bei den Temperaturen und der Feuchte, nicht die gemessenen absoluten Werte von entscheidender Bedeutung, sondern nur das Verhältnis. Der absolut gemessene Luftdruck spielt also kaum eine Rolle, sondern vielmehr das Nebeneinander von einer Region mit sehr vielen gestapelten Luftmolekülen zu der benachbarten Region mit weniger gestapelten Luftmolekülen. Schon der direkte Vergleich (»hier hoher Luftdruck, da niedriger«) reicht aus, um von einem Hoch und einem Tief sprechen zu dürfen.

In dem Moment, wo die Luftmoleküle

▷ Hoch und Tief verhalten sich wie Berg und Tal. Wo sich die Luftmoleküle am meisten stapeln ist das Hoch. Wo das Gefälle am größten ist, fließen die Luftmoleküle am schnellsten ins Tal. Hier ist der Wind am stärksten.





einem Druckgefälle (Gradient) folgen, entsteht Wind. Dieser Wind heißt Gradientwind. Er weht als großräumiges Windfeld zwischen den Hochs und den Tiefs.

Apropos Berg: Es kommt sehr wohl darauf an, wo ich den Luftdruck messe. Je näher am Erdboden, desto höher ist der Luftdruck. Er ist auf dem Berg also deutlich geringer. Dort oben stapeln sich nicht mehr so viele Luftmoleküle übereinander wie im Flachland. Damit trotzdem alle Messungen weltweit miteinander vergleichbar sind, wird der Luftdruck immer auf Meeressniveau heruntergerechnet.

Der Luftdruck nimmt also mit der Höhe ab. Die Abnahme beträgt 1 hPa auf 8 m, oberhalb von 5 km erfolgt die Abnahme langsamer, da sind es 1 hPa auf 16 m.

Der mittlere Luftdruck beträgt 1013,2 hPa. Dies ist der über die ganze Erde gemittelte Luftdruck bezogen auf Meeressniveau.

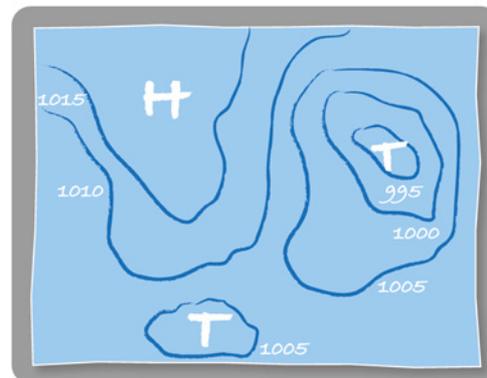
## 2.4 Isobarenkarten

Misst man den Luftdruck auf der Erde gleichzeitig an verschiedenen Orten, stellt sich Folgendes heraus: Der Luftdruck ist an einigen (sehr wenigen) Orten gleich, an

den meisten Orten aber misst man unterschiedliche Werte. Trägt man alle Messungen in eine Landkarte ein, und verbindet danach jeweils die Punkte, an denen der gleiche Wert gemessen wurde, dann erhält man eine Reliefkarte des Luftdrucks. Die Linien gleichen Luftdrucks heißen »Isobaren«. Üblicherweise werden dabei die ganzzahligen durch 5 teilbaren Luftdruckwerte bevorzugt miteinander verbunden und eingezeichnet, also Isobaren für 1000 hPa, 1005 hPa, 1010 hPa usw. Die so eingezeichneten Isobaren haben einen Abstand von 5 hPa (in angelsächsischen und amerikanischen Wetterkarten beträgt der Abstand lediglich 4 hPa!) So entsteht eine Isobarenkarte als einfachste Wetterkarte.

Dort, wo innerhalb des betrachteten Kartenausschnittes der höchste Luftdruck vorhanden ist, liegt ein Hochdruckgebiet. Es wird mit einem H (englisch: H für High oder auch A für Anticyclone) gekennzeichnet. Dort, wo der niedrigste Luftdruck gemessen wird, befindet sich ein Tiefdruckgebiet. Hier steht ein T (englisch: L für Low).

Innerhalb eines betrachteten Gebietes (einem Kartenausschnitt) gibt es in



◁ Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe. Bis 5000 m nimmt er auf 8 m um 1 hPa ab, darüber auf 16 m um 1 hPa. Da sich warme Luft stärker ausdehnt, erfolgt die Abnahme in warmer Luft langsamer als in einer kalten Luftmasse.

◁ Eine Isobarenkarte – die einfachste aller Wetterkarten.