



DFS Deutsche Flugsicherung

METEOROLOGIE – WETTER – KLIMA

ARBEITS- UND MATERIALBLÄTTER FÜR SCHÜLER DER JAHRGANGSSTUFEN 9-13

Ausgabe 01|2014

KAPITEL

1. Die Bedeutung des Wetters
2. Wo und wie entsteht das Wetter?
3. Meteorologie – Die Kunst der Wettervorhersage
4. Meteorologie in der Fliegerei
5. Werden Sie „Wetterfrosch“!

EINFÜHRUNG

„Wer sich sonst nichts zu sagen hat, unterhält sich über das Wetter.“ Dieser Spruch beschreibt die Banalität der Kommunikation, nicht aber des Gesprächsgegenstands, denn Wetter, Klima und Meteorologie spielen in fast allen Lebensbereichen eine erhebliche Rolle.

Die ökonomische Bedeutung unvorhersehbarer Wetterereignisse steht in **Kapitel 1** im Vordergrund der Überlegungen. Hier können sich die Schüler nicht nur über die Kosten solcher Ereignisse für verschiedene Wirtschaftsbereiche informieren. Sie erfahren zudem, wie sich Versicherungswirtschaft und Staaten zwischen Risikomanagement und Daseinsvorsorge auf bereits absehbare Folgen klimatischer Veränderungen einstellen.

Was ist eigentlich das Wetter und wie entsteht es? Diese Frage beantworten die Schüler in **Kapitel 2**, u.a. indem sie die grundlegenden Wetterelemente in ihren Zusammenhängen kennen lernen.

Kapitel 3 und 4 widmen sich der Meteorologie, der Kunst der Wettervorhersage einerseits und der Bedeutung der Meteorologie für einen zentralen Bereich unserer modernen Mobilität: der Fliegerei. Hier steht die Beantwortung folgender Fragen im Vordergrund: Wie kommen die Meteorologen zu einer Wettervorhersage oder gar zu einer Warnung vor ungewöhnlichen oder gefährlichen Wetterereignissen? Welche meteorologischen Erkenntnisse macht sich die Luftfahrt zu Nutze, um ihre Sicherheit und Effizienz immer weiter zu verbessern?

Schließlich können die Schüler den praktischen Nutzen meteorologischer Grundkenntnisse etwa über den Luftdruck oder die Wolkengattungen anhand eigener Wettervorhersagen überprüfen (**Kapitel 5**).

Viel Spaß mit einem spannenden Unterrichtsthema, das uns alle interessiert – fast immer und fast überall!



© Iakov Kalinin - Fotolia.com



LÖSUNGEN

LÖSUNGEN ZU ARBEITSBLATT 2, FOLIE 1:

Wetterelement	Messinstrument oder Berechnung	Physikalische Einheit
Luftdruck	Barometer	hPa (mittlerer Luftdruck auf Meereshöhe = 1013,25 hPa)
Lufttemperatur	Thermometer	°C (bzw. SI-Einheit K)
Luftdichte	Berechnung	kg/m ³
Taupunkt	Berechnung	°C (bzw. SI-Einheit K)
Luftfeuchtigkeit	Hygrometer	relativ: % Wasserdampf je m ³ absolut: g Wasser je m ³
Windrichtung	Windfahne oder Windsack	Grad (°)
Windgeschwindigkeit	Anemometer (Schalenkreuz oder Ultraschall)	Meter pro Sekunde (m/s) Kilometer pro Stunde (km/h) Knoten (kn) = 1,852 km/h
Niederschlag	Niederschlagsmesser (analog oder digital)	mm
Wolken	Ceilometer (Wolkenhöhe, Wolkenuntergrenze) Beobachtung/Kamera	km/m/ft Anteil der Bedeckung in Achteln (Okta, 8/8 = vollkommen bedeckt)
Sichtweite	Transmissometer Beobachtung von Sichtmarken	m km

nach: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Meteorology Basic Edition 4.5, Juli 2010, Teil 1 Seite 8



LÖSUNGEN

LÖSUNGEN, ARBEITSBLATT 3, AUFGABE 1

Wettervorhersage:

- a) Ca. 2.000 feste Wetterwarten, -stationen und Messstellen am Boden; 17 Wetterradarstationen; ca. 7.000 Wetterballon-Aufstiege jährlich; meteorologische Satelliten; Stationen in Verkehrsflugzeugen, Schiffen und Meeresbojen; weltweites meteorologisches Datennetz
- b) Erhebung, Speicherung, Qualitätskontrolle, Archivierung
- c) Computergestützte Simulation des Wetters mit Hilfe eines numerischen Wettervorhersagemodells
- d) Obwohl numerische Vorhersagen großräumiger Wetterentwicklungen heute bis zu zehn Tagen relativ zuverlässig sind, wächst der Prognosefehler mit jedem Tag.
- e) Eine Vorhersage für sechs Tage ist heute genauso zuverlässig, wie eine 24-Stunden-Prognose vor 40 Jahren.

Warnmanagement:

- a) ab 5 Tagen: Frühwarninformation für ganz Deutschland
ab 2 Tagen: Vorwarninformationen für Deutschland und die Bundesländer
ab 12 Stunden: (Un)wetterwarnung für einzelne Landkreise
ab 2 Stunden: Radar-Wetterstationen liefern lückenlose Beobachtungen
- b) Wetterwarnung (gelb)
Warnung vor markantem Wetter (ocker)
Unwetterwarnung (rot)
Warnung vor extremem Unwetter (violett)
- c) Behörden (Polizei, Feuerwehr, Katastrophenschutz, Hochwasservorhersage-Zentralen, Bundesamt für Bevölkerungsschutz)
- d) 25.000 Warnlageberichte und etwa 1.500 Unwetterwarnungen

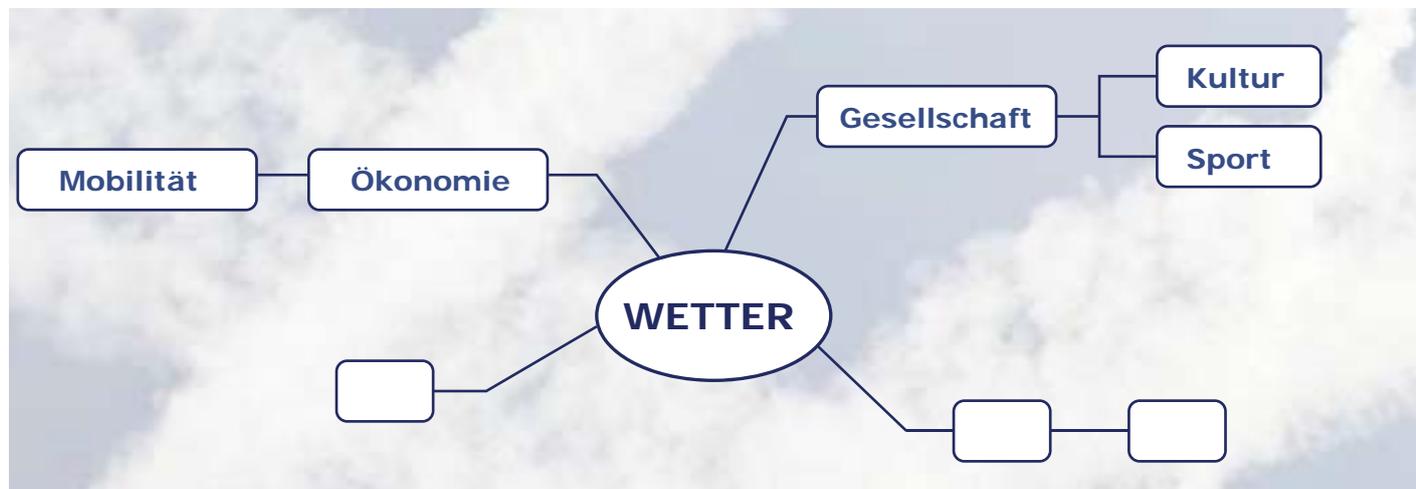
LÖSUNGEN ARBEITSBLATT 4, AUFGABE 3

- a) Der PFJ entsteht in der Troposphäre in etwa 10 km Höhe zwischen dem 40. und 60. Breitengrad.
- b) Durch das Zusammentreffen warmer Luftmassen von Äquator mit kalter Polarluft mit starken Druck- und Temperaturunterschieden.
- c) Durch die Erdrotation wird die Windströmung nach Osten abgelenkt. Der PFJ ist ein Westwind.
- d) Trotz längerer Flugroute können Flugzeiten der West-Ost-Verbindungen durch den starken Rückenwind des Jetstreams erheblich verkürzt werden.

ARBEITSBLATT 1 → DIE BEDEUTUNG DES WETTERS

„Wer sich sonst nichts zu sagen hat, unterhält sich über das Wetter.“ Dieser Spruch beschreibt die Banalität der Kommunikation, nicht aber des Gesprächsgegenstands. Denn das „Wetter“ interessiert uns alle, sei es auf dem Schulweg, beim Sport oder beim Open-Air-Festival.

1. Vervollständigen Sie die folgende Mindmap zum Thema „Wetter“ in Partnerarbeit. Berücksichtigen Sie alle Bereiche, auf die das Wetter Ihrer Ansicht nach Einfluss hat. Notieren Sie Beispiele, mit deren Hilfe Sie Ihre Gedankengänge erläutern können.



2. Tragen Sie Ihre Ergebnisse im Plenum in einer gemeinsamen Mindmap zusammen. Diskutieren Sie ggfs. Abhängigkeiten und Einflussfaktoren und einigen Sie sich auf eine gemeinsame Darstellung in einer Mindmap. Führen Sie Ihre Mindmap während der Unterrichtsreihe weiter, indem Sie regelmäßig neue Aspekte ergänzen.
3. Informieren Sie sich mit Hilfe der **Folie 1** und des **Materialblatts 1** über die ökonomischen Folgen „zunehmender alltäglicher Wetterabweichungen“ aus Sicht eines Industrierversicherers.
 - Vergleichen Sie die Kosten „zunehmender alltäglicher Wetterabweichungen“ und von „Naturkatastrophen“.
 - Bewerten Sie die Argumentation des Industrierversicherers vor dem Hintergrund ökonomischer und ökologischer Ziele.
4. Vergleichen Sie das Risikomanagement des Industrierversicherers mit den Empfehlungen, die das Bundesumweltamt anlässlich der Veröffentlichung des zweiten Teils des Weltklimaberichts am 31.3.2014 durch den IPCC in einer Presseinformation gibt (**Materialblatt 2**).
 - Wie stellen sich die „zunehmenden alltäglichen Wetterabweichungen“ aus Sicht des Umweltbundesamts dar?
 - Welche unterschiedlichen Arten des Risikomanagements können Sie erkennen?
5. Ergänzen Sie Ihre Erkenntnisse in Ihrer Mindmap.

DIE KOSTEN DES WETTERS

Der Industrierversicherer AGCS (Allianz Global Corporate & Specialty SE) rechnet in seiner Studie „The Weather Business“ vom November 2013 die Kosten der „Abweichungen vom normalen Wetter“¹ für die Wirtschaft hoch. Für die Vereinigten Staaten basiert die Studie auf den Daten der National Science Foundation, der Federal Aviation Administration und des US Department of Transportation sowie eigener Berechnungen des Versicherers.

Einige Kennzahlen:

→ Jährliche Kosten normaler Wetteränderungen:



→ Folgen normaler Wetteränderungen für das Verkehrswesen der USA:



70% aller Verspätungen in der Luftfahrt sind wetterbedingt.

10.000 - 40.000

Arbeitsstunden gehen monatlich durch wetterbedingte Verspätungen in der Luftfahrt verloren.

\$2,2 Mrd. - \$3,5 Mrd.

kosten die wetterbedingten Verspätungen im Transportwesen jährlich.



\$3Mrd.

kosten wetterbedingte Verkehrsunfälle, Verletzungen, Verspätungen und Betriebsausgaben jährlich.

→ Kosten für den Landwirtschaftssektor in den USA:

12% der durchschnittlichen jährlichen Ernteerträge der US-Landwirtschaft sind von normalen Wetteränderungen bedroht. Das entspricht einem Verlust von 22,4 Milliarden US Dollar.



¹ „routine weather variations“

² Anmerkung der Redaktion, Angaben für 2012 nach de.statista.com, Umrechnung zum Interbank-Kurs vom 1.4.2014



→ WETTER-KAPRIOLEN SCHLECHT FÜR UNTERNEHMENSGEWINNE

- Enger Zusammenhang zwischen unvorhersehbaren Wetterlagen und Unternehmensperformance.
- Schlechtes Wetter ist „keine gute Ausrede mehr“ für nicht erreichte Verkaufsziele.
- Die Vorweihnachtszeit im Einzelhandel ist nur eines der zahlreichen Beispiele für bedeutende wetterbedingte Risiken.
- Die jährlichen Kosten für Abweichungen vom normalen Wetter¹ können drei Mal so hoch ausfallen, wie die weltweiten Naturkatastrophenschäden, die bisher die Schlagzeilen bestimmten.
- Steigende Nachfrage an Spezialprodukten, um die Schäden durch unvorhersehbare Wetterlagen auszugleichen. Viele Unternehmen sind jedoch nicht über die Möglichkeiten zur Bewältigung dieser Herausforderung informiert.

Unvorhersehbare Wettersituationen nehmen weltweit zu, wie die jüngsten folgenschweren Ereignisse in Zusammenhang mit Taifun Haiyan auf den Philippinen und der Überschwemmung mit dem Namen Cleopatra in Sardinien zeigten. Obwohl Extremereignisse die Schlagzeilen beherrschen, können auch geringere Abweichungen vom üblichen Wetter große Auswirkungen auf die Unternehmensperformance diverser Sparten haben.

In seinem neuen Bericht 'The Weather Business – How companies can protect against increasing weather volatility', der sich mit der zunehmenden Bedeutung von wetterbedingten Risiken für Unternehmen befasst, weist der Industrierversicherer Allianz Global Corporate & Specialty SE (AGCS) auf die wirtschaftlichen Folgen ungewöhnlicher Wetterbedingungen hin und wie Betriebe sich mit Hilfe neuer Ansätze im Bereich 'Wetter-Risikomanagement' davor schützen können.

Diesem Bericht zu Folge übersteigen die finanziellen Folgen der zunehmenden alltäglichen Wetterabweichungen bei weitem die ohnehin hohen Summen, die jährlich in Zusammenhang mit Naturkatastrophen zu zahlen sind. AGCS geht davon aus, dass sich die Kosten der Wetterabweichung in der EU-Wirtschaft möglicherweise auf insgesamt 406 Milliarden € (561 Milliarden US \$) jährlich belaufen könnten. Zum Vergleich: 2012 gab es weltweit 905 Naturkatastrophen, von denen 93 Prozent wetterbedingt waren und zu Kosten von 170 Milliarden US\$ führten². Und was noch schlimmer ist: Auf dem gesamten Globus steigen die direkten Kosten der Wetterunwägbarkeiten ganz erheblich. Nach Aussage der Allianz haben die Versicherer allein in den vergangenen drei Jahren jedes Jahr weltweit Schadenersatz in Höhe von 70 Milliarden US\$ in Zusammenhang mit wetterbedingten Schäden geleistet. In den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts beliefen sich die Auszahlungen für solche Schäden auf „nur“ 15 Milliarden US\$ jährlich.

MATERIALBLATT 1.2 → PRESSEMITTEILUNG DER ALLIANZ SE, MÜNCHEN, 26.11.2013

In Deutschland ist der Einzelhandel ein Sektor, der von schlechtem Wetter besonders betroffen sein kann, insbesondere in der Vorweihnachtszeit, wenn die Laufkundschaft der Einzelhändler traditionsgemäß exponentiell ansteigt: Erst letztes Jahr haben 400.000 deutsche Konsumgüterunternehmen das Wetter („zuerst zu mild, dann zu viel Regen“) für das enttäuschende Weihnachtsgeschäft (-4,7 Prozent im Dezember 2012 gegenüber Dezember 2011³) verantwortlich gemacht. Andere Branchen, die in Deutschland schwer darunter leiden können, sind u.a. Agrar- und Ernährungswirtschaft, Baugewerbe, Vertrieb, Energieversorgung, Tourismus und Verkehr.

¹ Abweichungen vom normalen Wetter: jegliche Abweichung hinsichtlich durchschnittlicher Temperaturdaten, Taupunkt, Windgeschwindigkeit und -richtung, Niederschlägen, Wolkendecke und -höhe, Sicht und Luftdruck über einen bestimmten Zeitraum hinweg.

² Quelle: MunichRe

³ Quelle: Statistisches Bundesamt

Quelle: https://www.allianz.com/de/presse/news/unternehmen/standpunkte/news_2013-11-26.html
[1.4.2014]



© Thaut Images - Fotolia.com

→ ANPASSUNG AN KLIMAWANDEL: JETZT VORBEUGEN UND SCHÄDEN BEGRENZEN

Bei Investitionen den künftigen Klimawandel berücksichtigen

Der Klimawandel wird global bereits bestehende Risiken, wie Armut, Umweltverschmutzung und Artensterben, verstärken und die wirtschaftliche Entwicklung abbremsen. Darauf verweist der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) im zweiten Teil des aktuellen Weltklimaberichtes zu Klimafolgen, Verwundbarkeit und Anpassung an den Klimawandel. Dieser wurde heute im japanischen Yokohama veröffentlicht. Untersuchungen des Umweltbundesamtes (UBA) zeigen, wie man sich rechtzeitig gegen häufigere Hitze, Dürre und Überflutung wappnen kann. Wird der Klimawandel beispielsweise in Investitionsplänen, bei der Durchführung von Großprojekten oder in der Raumplanung vorsorgend berücksichtigt, können Schäden oft vermindert oder ganz vermieden werden.

Der IPCC schlussfolgert in seinem heutigen Teilreport, dass ein zunehmender Klimawandel das Wirtschaftswachstum global verlangsamt, die Ernährungssicherheit gefährdet, soziale Ungleichheiten verschärft und damit die Gefahr von Konflikten und verstärkter Migration hervorrufen kann. UBA-Vizepräsident Thomas Holzmann: „In den nächsten Jahrzehnten sind extreme Wetterereignisse weltweit besondere Schlüsselrisiken. Diese können unter anderem zu starken gesundheitlichen Beeinträchtigungen und zu Hochwasser führen oder Infrastrukturen zerstören. Durch Anpassungsmaßnahmen lassen sich mögliche Schäden durch Extremwetter verringern oder gar verhindern. Die bisherigen Investitionen in Anpassungsmaßnahmen sind jedoch unzureichend. Nur grundlegende gesellschaftliche und technische Veränderungen mit weitreichenden Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen können eine nachhaltige Entwicklung unterstützen.“



Für Deutschland berechnete die Strategische Behördenallianz zur Klimaanpassung unter bestimmten Annahmen, dass Hitze, Starkregen und Sturm künftig häufiger auftreten können: Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts dürfte in Süddeutschland bis zu 30 Tagen im Jahr das Thermometer auf mehr als 30°C steigen. An der Küste könnten es immerhin bis zu 15 Tage werden. Hitzeereignisse, die heute nur alle 25 Jahre vorkommen, könnten dann alle 1 bis 3 Jahre auftreten. Winterliche Starkniederschläge könnten dann an den Küsten drei Mal so häufig werden, in weiten Teilen nimmt deren Häufigkeit um bis zu 50 Prozent zu.

[...]

Wichtig ist zudem ein „Klima-Check“ bei der Entwicklung neuer oder der Instandsetzung langlebiger Infrastrukturen, wie Verkehrsadern oder Energieerzeugungs- und -versorgungssysteme. Für die Planung solcher und anderer Anpassungsmaßnahmen in Kommunen, Unternehmen und Bildungsträger stellt der Bund Finanzierungshilfen zur Verfügung.

Kommunen, Unternehmen und Haushalte ziehen oft direkt und sofort Nutzen aus vorsorgenden Maßnahmen zur Anpassung. Dazu zählen etwa Dachbegrünung gegen sommerliche Hitze, die Renaturierung von Auenwäldern zum Schutz vor Hochwasser oder den Einsatz hitzeresistenter Beläge gegen Straßenschäden. In einem neuen Handbuch gibt das UBA Tipps, wie Kommunen, Unternehmen sowie Bürgerinnen und Bürger gute Maßnahmen zur Anpassung finden und für sich nachnutzen können. Zum Beispiel das „Hitzetelefon Sonnenschirm“ in Kassel, der Waldumbau in den Thüringer Wäldern oder auch der Hochwasserschutz in Dresden. Die „Tatenbank“ des UBA zeigt weitere gute Beispiele aus ganz Deutschland auf.

Das Gesundheitsrisiko während Hitzewellen lässt sich zum Beispiel durch verschiedene technische Maßnahmen mindern, wie Kühlung, Abschattung und Gebäudeisolation. Damit Anpassung an Klimawandel langfristig funktioniert, müssen Warn-, Überwachungs-, Gesundheits- und Pflegesysteme aufrechterhalten, angepasst und ggf. weiter ausgebaut werden.

[...]

Umweltbundesamt Hauptsitz
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau
Deutschland

Quelle:
<http://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/anpassung-an-klimawandel-jetzt-vorbeugen-schaeden> [1.4.2014]



ARBEITSBLATT 2.1 → WO UND WIE ENTSTEHT DAS WETTER?

Eine simple Frage, die jeder beantworten kann? Untersuchen Sie die Wetterelemente und versuchen Sie sich selbst an einer Definition des „Wetters“.

Aufgaben

1. Verfassen Sie ohne weitere Vorbereitung in Partnerarbeit eine Definition des Begriffs „Wetter“, indem Sie die Fragen nach dem „Wo“ und „Wie“ der Entstehung des Wetters beantworten. Einigen Sie sich im Plenum auf eine gemeinsame Definition und halten Sie diese schriftlich (Tafel, OHP-Folie, Smartboard) fest.
2. Vergleichen Sie Ihre Definition mit der des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auf **Materialblatt 3**.
 - Welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten können Sie feststellen?
 - Ändern bzw. ergänzen Sie ihre Definition so weit wie nötig.
 - Warum ist die Entstehung des Wetters auf die untere Erdatmosphäre, die so genannte Troposphäre, beschränkt?
 - Wie unterscheiden sich die Begriffe Wetter, Witterung und Klima? Recherchieren Sie ggf. im Lexikon des DWD.
3. Recherchieren Sie im Internet in arbeitsteiliger Gruppenarbeit die in der Tabelle (**Folie 2**) aufgeführten Wetterelemente.
 - Erstellen Sie jeweils eine Kurzpräsentation in elektronischer Form (z. B. mit MS PowerPoint, Libre(Open)Office Impress o.ä.). Beachten Sie bei Zitaten und Bildern die Quellenangaben.
 - Stellen Sie dabei die jeweilige physikalische Größe, das Messverfahren und den Einfluss auf die Wetterbildung (in Kurzform) vor.
 - Nutzen Sie die Linktipps für Ihre Recherche.
4. Stellen Sie Ihre Präsentation im Plenum vor und vervollständigen Sie gemeinsam die Tabelle auf **Folie 2**.
5. Tragen Sie Ihre Präsentationen zusammen (z. B. in Form eines PDF-Dokuments) und veröffentlichen Sie sie im Rahmen eines Artikels mit Dateianhang auf Ihrer Schulhomepage. Bitte beachten Sie bei Veröffentlichungen insbesondere bei Fotos das Urheberrecht.
6. Vervollständigen Sie Ihre Mindmap um die Wetterelemente.



ARBEITSBLATT 2.2 → WO UND WIE ENTSTEHT DAS WETTER?

→ LINKTIPPS:

Deutscher Wetterdienst

<http://www.dwd.de/>

Jürgen Heise, Wetterkunde für Segler [PDF], Dezember 2000, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin

<http://www.met.fu-berlin.de/~manfred/segler.pdf>

Sascha Kerschhofer, Alpenwetterfibel für Hänge- und Paragleiter

<http://www.kerschhofer.net/wetterkunde-paragleiter/>



MATERIALBLATT 3 → WO UND WIE ENTSTEHT DAS WETTER?

→ DEFINITION DES BEGRIFFS „WETTER“

Als "Wetter" wird der physikalische Zustand der **Atmosphäre** zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem auch kürzeren Zeitraum an einem bestimmten Ort oder in einem Gebiet bezeichnet, wie er durch die meteorologischen Elemente und ihr Zusammenwirken gekennzeichnet ist.

Das Wettergeschehen spielt sich in der unteren Atmosphäre ab, die als **Troposphäre** bezeichnet wird. In höheren Atmosphärenschichten gibt es zwar auch meßbare Luftbewegung und **Temperatur**, aber so gut wie keine **Feuchte**. Deswegen gibt es dort auch kein Wetter im engeren Sinne, wenn man davon absieht, dass gelegentlich sehr hohe **Eiswolken** auftreten können.

Ursache der Wetterabläufe sind die unterschiedliche Erwärmung der Erdoberfläche und daraus resultierend der darüberliegenden Luftschichten in Abhängigkeit von der geographischen Breite, der Höhenlage über NN, der Land-Meer-Verteilung, der Orographie, des Bewuchses usw..

Das Wetter wird mit Hilfe quantifizierbarer Parameter charakterisiert. Diese Parameter sind fundamentale Größen des Wetters (Wetterelemente) wie z.B. **Lufttemperatur**, **Luftfeuchtigkeit**, **Luftdruck**, Drucktendenz, **Windrichtung** und **Windgeschwindigkeit**, Bewölkung, **Niederschlag** und Sichtweite.

Quelle: Zit. nach: Deutscher Wetterdienst, Wetterlexikon
<http://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102936&lv3=103132>



FOLIE 2 → WETTERELEMENTE

→ FOLGENDE ELEMENTE CHARAKTERISIEREN DAS WETTER:

Wetterelement	Messinstrument oder Berechnung	Physikalische Einheit
Luftdruck		
Lufttemperatur		
Luftdichte		
Taupunkt		
Luftfeuchtigkeit		
Windrichtung		
Windgeschwindigkeit		
Niederschlag		
Wolken		
Sichtweite		

nach: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Meteorology Basic Edition 4.5, Juli 2010, Teil 1 Seite 8

ARBEITSBLATT 3.1 → METEOROLOGIE – DIE KUNST DER WETTERVORHERSAGE

Die Meteorologen beschäftigen sich der Wortbedeutung nach mit Himmels- oder Lufterscheinungen oder – streng genommen – mit allem, was in der Luft schwebt, Meteoriten eben (von griechisch *metéoros* = in der Luft schwebend). Fallende Hydrometeore kennen Sie als Regen, Schnee oder Hagel, schwebende als Wolken oder Nebel. Aber wie kommen die Meteorologen eigentlich zu einer Vorhersage solcher und noch vieler anderer Wetterphänomene oder gar zu einer Warnung vor ungewöhnlichen oder gefährlichen Wetterereignissen?

1. Recherchieren Sie mit Hilfe des Youtube-Kanals des Deutschen Wetterdienstes unter <http://www.youtube.com/user/DWDderWetterdienst> (Slideshows „Wie entsteht eine Wettervorhersage?“ und „Warnmanagement“) wie eine Wettervorhersage entsteht und wie die amtlichen Wetterwarnungen des DWD erstellt und verbreitet werden. Beantworten Sie dazu folgende Fragen:

Wettervorhersage:

- a) Von welchen Quellen bezieht der DWD seine Wetterbeobachtungsdaten?
- b) Welchen Weg durchlaufen die Wetterdaten bis zur Archivierung?
- c) Was versteht man unter einer numerischen Wettervorhersage?
- d) Warum beschränkt sich der DWD auf Vorhersagen für sieben Tage?
- e) Wie hat sich die Zuverlässigkeit von Wetterprognosen in den vergangenen 40 Jahren entwickelt?

Warnmanagement:

- a) Welche Zeitstufen durchlaufen die Warnmeldungen des DWD und wie sind sie jeweils charakterisiert?
- b) Welche Warnstufen werden unterschieden?
- c) An welche Zielgruppen richten sich die amtlichen Wetterwarnungen?
- d) Wie viele Warnlageberichte und Unwetterwarnungen gibt der DWD im Jahresdurchschnitt heraus?

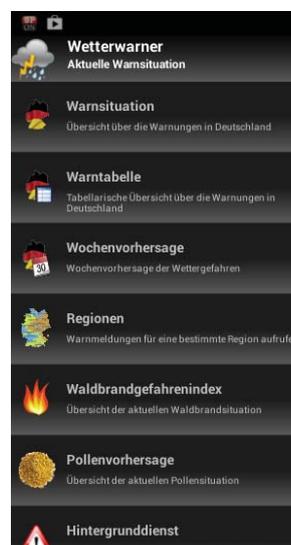
2. Testen Sie verschiedene Wetterwarner-Apps für mobile Endgeräte und bewerten Sie ihren Nutzen, z.B.:

Hitzewarn-App des Deutschen Wetterdienstes (DWD) (nur Android unter

<https://play.google.com/store/apps/details?id=de.dwd.ku1fg.biowetter>)

„**Wetterwarner**“, Private App auf Basis der Daten des DWD, s. Bild (Android unter

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.stephan.dwd>)





ARBEITSBLATT 3.2 → METEOROLOGIE – DIE KUNST DER WETTERVORHERSAGE

3. Wie sieht es mit Ihrem „Risikomanagement“ in Sachen Wetterkapriolen aus? Zu welchen Anlässen und über welche Kanäle (Radio-/Fernsehsender, Websites, Apps) informieren Sie sich über das Wetter? Welche Vorhersageparameter (Niederschläge, Wind, Temperatur etc.) interessieren Sie besonders?

- Erstellen Sie Ihr „Wetterprofil“. Führen Sie eine Woche lang eine Liste, in die Sie die Anlässe, Informationskanäle (Zeitung, Radio, Fernsehen, Internet, Apps) und Parameter eintragen (zum Beispiel mit Ihrer Office- oder Kalender-App auf dem Smartphone oder dem Tablet-PC).
- Vergleichen Sie Ihre „Wetterprofile“ im Plenum. Welche Quellen bevorzugen Sie? Inwiefern sind diese von den Anlässen Ihrer Informationssuche abhängig?
- Erstellen Sie gemeinsam einen kleinen Ratgeber in Sachen „Wettervorhersagen“ für Ihre Mitschüler, z. B. einen Flyer für Ihre Schülerzeitung oder die Schulhomepage.

4. Ergänzen Sie Ihre Mindmap um die wichtigsten Erkenntnisse zum Thema Meteorologie.

→ LINKTIPPS ZUM WEITERLESEN:

Numerische Wettervorhersagen

<https://www.synoptische-meteorologie.de/meteorologische-grundlagen/numerische-wettervorhersage/>

Wissenswertes über Wettervorhersagen und Warnungen

http://www.dwd.de/DE/wetter/schon_gewusst/schongewusst_node.html

Probabilistische und deterministische Wettervorhersagen

<https://www.synoptische-meteorologie.de/probabilistische-und-deterministische-vorhersagemethoden/>

ARBEITSBLATT 4.1 → METEOROLOGIE IN DER FLIEGEREI

Kein Bereich unserer modernen Mobilität ist so wetterabhängig wie die Luftfahrt. Und so liegt es auf der Hand, dass aktuelle und präzise Wettervorhersagen hier schon aus Sicherheitsgründen wichtig sind. Denn ohne Kenntnis von Sichtweite, Wolkenuntergrenzen und -höhen, Niederschlägen, Luftdruck, Luftdichte und Temperatur wäre ein sicherer Flugverkehr nahezu unmöglich. Gleiches gilt für die Gefahren der Vereisung, von Turbulenzen oder von Gewittern.

Diese Abhängigkeit hat zu zahlreichen Anpassungen der Luftfahrt an meteorologische Gegebenheiten geführt, von denen wir uns hier einige genauer ansehen werden.

1. Die meteorologischen Prozesse in der Atmosphäre sind hochkomplex. Praktisch nirgendwo auf der Welt herrschen identische Wetterbedingungen. Um Größen wie Luftdruck, Lufttemperatur und Luftdichte für die Fliegerei ortsunabhängig vergleichbar zu machen und so besser nutzen zu können, hat die International Civil Aviation Organization (ICAO) diese Werte in der sogenannten Standardatmosphäre (der ICAO Standard Atmosphere = ISA) auf Durchschnittsgrößen festgelegt.

- Informieren Sie sich mit Hilfe der Beschreibung auf **Materialblatt 4** über die in der ISA festgelegten Konstanten.
- Formulieren Sie in Partnerarbeit eine kurze schriftliche Beschreibung der ISA.
- Stellen Sie im Plenum Vermutungen über Gründe für die Normierung an und halten Sie diese stichwortartig fest.

2. Wenn in bestimmten Höhen der Luftdruck, die Lufttemperatur und die Luftdichte in der ISA definiert sind, müsste man doch mit Hilfe des Luftdrucks die Höhe errechnen können. Genau deswegen ist jedes Flugzeug mit einem barometrischen Höhenmesser ausgestattet. Er verfügt über eine zusätzliche Skala, auf der sich der Luftdruck einstellen lässt (s. Bild).



Obwohl der barometrische Höhenmesser nicht die tatsächliche Höhe über dem Grund anzeigt, eignet er sich hervorragend um Flugzeuge vertikal zu staffeln, wenn die Piloten denselben Luftdruck (in der Regel auf Meereshöhe) eingestellt haben. Vertikal gestaffelt werden die Flugzeuge nach sogenannten Flugflächen (engl. flight level, FL) in Schritten von 100 Fuß. FL 100 entspricht demnach 10.000 Fuß.

Beantworten Sie in arbeitsteiliger Gruppenarbeit die folgenden Fragen jeweils mit Hilfe einer kleinen Skizze. Stellen Sie Ihre Ergebnisse anschließend im Plenum vor.

- **Gruppe A:** Warum ändert sich der vertikale Abstand zwischen zwei Flugzeugen mit derselben Luftdruckeinstellung des Höhenmessers auch dann nicht, wenn sich die meteorologischen Gegebenheiten (Luftdruck oder Lufttemperatur) ändern?
- **Gruppe B:** Was verbirgt sich hinter den Pilotenweisheiten „Von warm nach kalt knallt“ und „Im Winter sind die Berge höher“?
- **Gruppe C:** Warum lernt jeder Pilot in der Ausbildung den Satz „Vom Hoch zum Tief geht ´s schief“?

ARBEITSBLATT 4.2 → METEOROLOGIE IN DER FLIEGEREI

3. In der Fliegerei spielt auch der Wind eine entscheidende Rolle. Stärke und Richtung sind schon bei Start und Landung entscheidend, denn beide erfolgen immer gegen den Wind – das eine Mal um den Auftrieb zu erhöhen und das andere Mal um die Geschwindigkeit zu reduzieren. Starke Auf- und Abwinde (z.B. in Gewitternähe) sind hingegen zu meiden, an einem laserbasierten Früherkennungssystem für die bisher nicht vorhersehbaren sogenannten Clear Air Turbulenzen wird gearbeitet. Aber es gibt auch Windsysteme, die in der Verkehrsfliegerei gerne genutzt werden: die durch die globale Zirkulation entstehenden Strahlströme, besser bekannt als Jetstreams. Informieren Sie sich mit Hilfe des Videos „So entsteht ein Jetstream“ des „Planet Schule“ des SWR unter <http://www.youtube.com/watch?v=O4VqwW-dR3g> über den Polarfrontjetstream (PFJ) und beantworten Sie folgende Fragen:
- Wo entsteht der PFJ?
 - Wie entsteht der Jetstream?
 - Wie beeinflusst die Corioliskraft die Windströmung?
 - Welche Auswirkung hat der Jetstream auf die Luftfahrt?
4. Erweitern Sie Ihre Mindmap um die gewonnenen Erkenntnisse zum Thema Meteorologie in der Fliegerei. Ergänzen Sie ggf. Informationen aus anderen Bereichen der Mobilität.



© lassedesignen - Fotolia.com

MATERIALBLATT 4 → DIE STANDARDATMOSPHERE DER LUFTFAHRT

→ Die ICAO (International Civil Aviation Organization) hat für die Luftfahrt eine **Norm-Atmosphäre** definiert, für die gilt:

→ Luft wird als ein absolut trockenes Gas betrachtet, d.h. die Relative Luftfeuchte U beträgt $U = 0\%$.

→ Die Konstanten als globale Mittelwerte im mittleren Meeresniveau (NN) lauten:

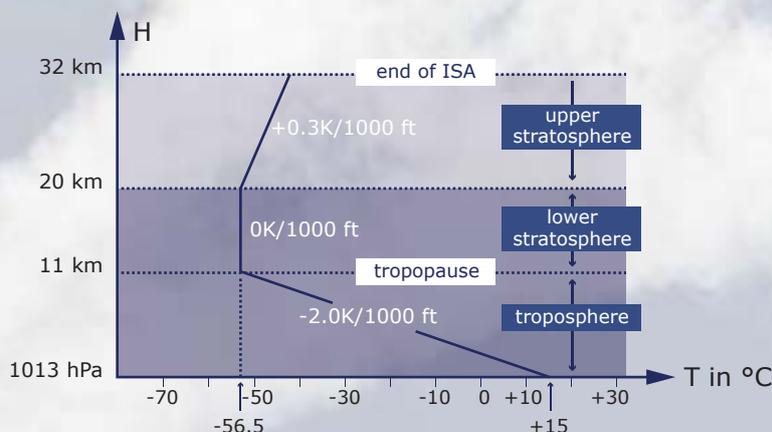
- Lufttemperatur $T_0 = 288,15 \text{ K } (15 \text{ }^\circ\text{C}),$
- Luftdruck $p_0 = 1.013,25 \text{ hPa} = 29,92 \text{ InHG}^1$ und
- Luftdichte ρ_0 (griech. Rho) $= 1,2250 \text{ kg m}^3$

→ Die vertikale Temperaturänderung beträgt

- bis 11.000 m ü. NN $-0,0065 \text{ K pro m}$ (Abnahme mit der Höhe)
- von 11.000 bis 20.000 m 0 K (keine Temperaturänderung) und
- von 20.000 bis 32.000 m $0,0010 \text{ K pro m}$ (Zunahme mit der Höhe).

Die ICAO-Standardatmosphäre (ISA) zeigt eine lineare Temperaturabnahme von $0,65 \text{ K } (= 0,65 \text{ }^\circ\text{C})$ pro 100 m bis zur Tropopause in 11 km Höhe. Das entspricht einer Temperaturabnahme von etwa 2 K je 1000 ft. Von 11 bis 20 km bleibt die Temperatur der ISA dann konstant.

nach: <http://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102564>



Der Luftdruck nimmt bis 1000 m je 8 m Höhenzunahme um ca. 1 hPa ab, ab 1000 m rechnet man je 11 Meter mit einer Abnahme des Luftdrucks um 1 hPa. In der Fliegerei gilt die Faustformel: je 30 ft machen 1hPa Unterschied aus.

Quelle: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Meteorology Basic Edition 4.5, Juli 2010, Teil 2 Seite 2

→ WERTE DER ICAO-STANDARDATMOSPHERE (ISA)

Höhe [m ü. NN]	Luftdruck [hPa]	Lufttemperatur [°C]	Luftdichte [kg m ⁻³]
-1.000	1.139,29	21,5	1,3470
0 (NN)	1.013,25	15,0	1,2250
1.000	898,75	8,5	1,1116
2.000	794,95	2,0	1,0065
3.000	701,09	-4,5	0,9091
5.000	540,20	-17,5	0,7361
7.000	410,61	-30,5	0,5895
9.000	307,42	-43,5	0,4663
11.000 (Tropopause)	226,32	-56,5	0,3692
13.000	165,10	-56,5	0,2665

Quelle: Deutscher Wetterdienst, ICAO-Standardatmosphäre (ISA), <http://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102564>

¹ Der Standardluftdruck auf Meereshöhe beträgt 1013,25 Hectopascal. Dies entspricht 29,92 InHG (sprich: Inch of Mercury = Inch der Quecksilbersäule).



ARBEITSBLATT 5.1 → WERDEN SIE „WETTERFROSCH“!

Nein, Frösche können das Wetter nicht vorhersagen, ebenso wenig wie Murmeltiere. Selbst die alte Meteorologenweisheit, nach der das Wetter morgen dem heutigen ähnelt, ist wesentlich genauer, weil sie für jede einigermaßen stabile Wetterlage zutrifft. Aber dennoch können Sie selbst – jedenfalls kurzfristige – Vorhersagen über die Wetterentwicklung treffen. Dass diese sich auf ein recht kleines Beobachtungsgebiet beschränken, ist gegenüber großräumigen Vorhersagen der Wetterdienste ebenso von Vorteil wie ihre Aktualität.

Dabei helfen Ihnen die Beobachtung der Luftdruckentwicklung, des Windes, der Wolken und anderer Erscheinungen. Mit der Kombination mehrere Elemente steigt die Aussagekraft der Vorhersage, wobei sich auch aus einigen Einzelercheinungen deutliche Hinweise auf die Wetterentwicklung gewinnen lassen.

1. Bilden Sie **zwei Gruppen** und erarbeiten Sie jeweils die auf **Materialblatt 5.1 bzw. 5.2** dargestellten Möglichkeiten einer eigenen Wettervorhersage.
 - **Gruppe A:** Beschäftigen Sie sich mit dem Luftdruck und dem Wind. Recherchieren Sie ggf. weitere Hintergründe bzw. klären Sie Verständnisfragen.
 - **Gruppe B:** Machen Sie sich mit Wolken und weiteren Erscheinungen vertraut. Recherchieren Sie ggf. weitere Hintergründe bzw. klären Sie Verständnisfragen.
2. Überprüfen Sie die Gültigkeit der Wetterregeln in eigenen Testreihen.
 - Stellen Sie jeweils in kleinen Teams über mehrere Tage Wetterbeobachtungen an, indem Sie die angegebenen Regeln mit Datum und Uhrzeit ihrer Beobachtung und die anschließende Wetterregel protokollieren.
 - Bewerten Sie die einzelnen Wetterregeln nach Zuverlässigkeit (Erwartung und Ergebnis), Aufwand (Dauer und Geräte) und Praktikabilität (Anwendbarkeit).
3. Vergleichen Sie Ihre Testreihen und stellen Sie die drei bis fünf besten/nützlichsten/einfachsten Regeln für die private Wettervorhersage zusammen.

MATERIALBLATT 5.1 → WETTERVORHERSAGE DURCH BEOBACHTUNG

Luftdruck:

Das klassische Instrument zur Wettervorhersage ist das Barometer, das den aktuellen Luftdruck in Hektopascal (früher Millibar, 1 hPa = 1 mBar) anzeigt. Im Idealfall ist es auf die Ortshöhe eingestellt (s. Bild), um die Druckdifferenz von 1 hPa je 8 Höhenmetern zum Normaldruck (1013,25 hPa) auf Meereshöhe auszugleichen.

Beim Barometer **ist** aber nicht der absolute Messwert entscheidend, sondern die Tendenz seiner Änderung. Folgende Regeln lassen sich ableiten:



© Ralf Foltz

- **Gleichbleibender Luftdruck:** keine wesentliche Wetteränderung, insbesondere eine sonnige und trockene Wetterlage ist stabil.
- **Langsamer und stetiger Anstieg:** Hochdruckgebiet naht, absinkende Luft erwärmt sich, trocknet und Wolken lösen sich auf.
- **Schneller Anstieg bei wechselhaftem Wetter:** Ein sogenannter Zwischenhochkeil sorgt für eine meist nur kurze Wetterbesserung.
- **Langsames und stetiges Fallen:** Tiefdruckgebiet naht, aufsteigende Luft kühlt ab, Luftfeuchte kondensiert und bildet Wolken, Wind frischt auf
- **Gleichbleibend oder weiter fallend nach Tiefdruckgebiet:** weist auf Bildung eines Trogs auf der Rückseite des Tiefs (Kaltfront) hin, bei dem mit Starkwind oder Sturm zu rechnen ist.
- **Schneller Luftdruckabfall:** bei mehr als 1 hPa pro Stunde ist mit Sturm zu rechnen; nicht jedoch bei sonnigem Wetter am Nachmittag, wenn der Abfall abends aufhört, da er dann nur Zeichen des der Temperatur folgen den Tagesgangs des Luftdrucks ist.

Wind:

Im Wesentlichen ist Wind eine Folge von Luftdruckunterschieden zwischen einem Hoch- und einem Tiefdruckgebiet. Die Luftmassen bewegen sich vom Hoch zum Tief, um den Druckunterschied auszugleichen. Je größer der Druckunterschied, desto stärker weht der Wind (s.o. „Schneller Luftdruckabfall“).

Aufgrund der Corioliskraft (vgl. Jetstream) wird der Wind auf der nördlichen Halbkugel nach rechts abgelenkt. Die vorherrschende Hauptwindrichtung ist demnach der Westwind. Die Hauptwindrichtung (angegeben mit der Gradzahl der Kompassrose) ist die Richtung, aus der der Wind weht.

Die Windgeschwindigkeit wird in m/s angegeben, ist aber auch mit der Beobachtung der Auswirkungen der Windgeschwindigkeit im Binnenland nach den 13 Stufen der Beaufortskala (von 0 = Windstille, bis 12 = Orkan = ab 118 km/h) gut einzuschätzen. Für die Wettervorhersage sind folgende Regeln von Bedeutung:

- **Änderung der Hauptwindrichtung:** Wenn nach einigen Tagen gleicher Windrichtung eine deutliche Änderung eintritt, ist auch mit einer Änderung der Wetterlage zu rechnen.
- **Ausbleiben der Land-Seewind-Zirkulation im Sommer:** weist auf eine Wetteränderung hin.

Wetterregeln nach: Jürgen Heise, Wetterkunde für Segler [PDF], Dezember 2000, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, Seite 29.

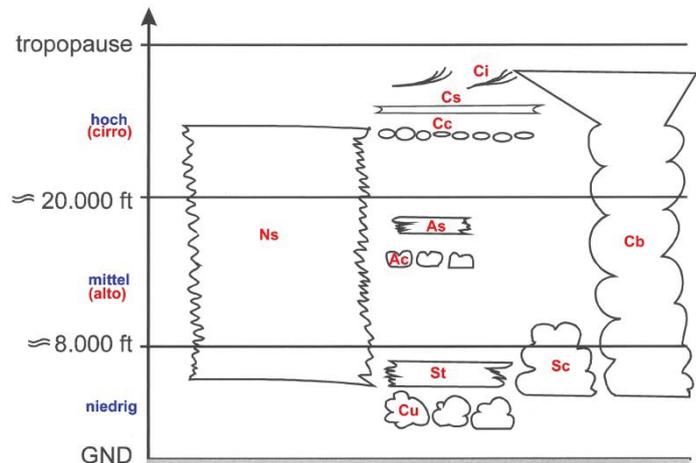
Windstärke nach Beaufort (m/s)		
0	Windstille	0-0,2
1	leiser Zug	0,3-1,5
2	leichte Brise	1,6-3,3
3	schwacher Wind	3,4-5,4
4	mäßiger Wind	5,5-7,9
5	frischer Wind	8,0-10,7
6	starker Wind	10,8-13,8
7	steifer Wind	13,9-17,1
8	stürmischer Wind	17,2-20,7
9	Sturm	20,8-24,4
10	schwerer Sturm	24,5-28,4
11	orkanartiger Sturm	28,5-32,6
12	Orkan	ab 32,7

MATERIALBLATT 5.2 → WETTERVORHERSAGE DURCH BEOBACHTUNG

Wolken:

Wenn warme feuchte Luft sich soweit abkühlt (durch Aufsteigen oder Durchmischung), dass die relative Luftfeuchtigkeit die 100%-Grenze überschreitet, bilden sich an sogenannten Kondensationskernen (Aerosole) Wassertröpfchen, ab einer Lufttemperatur von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ Eiskristalle. Sie werden nach ihrer Schichtung (Cumulus oder Stratus) und ihrer Höhenausdehnung (alto oder cirro) in zehn Wolkengattungen gegliedert, die im Folgenden dargestellt sind:

Cirrus (Ci)	Federwolke
Cirrocumulus (Cc)	kleine Schäfchenwolke
Cirrostratus (Cs)	hohe Schleierwolke
Altostratus (As)	große Schäfchenwolke
Altostratus (As)	mittelhohe Schichtwolke
Stratocumulus (Sc)	Haufenschichtwolke
Stratus (St)	tiefe Schichtwolke
Cumulus (Cu)	Haufenwolken
Nimbostratus (Ns)	Regenwolken
Cumulonimbus (Cb)	Gewitterwolke



nach: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Meteorology Basic Edition 4.5, Juli 2010, Teil 6 Seite 14

Anhand der Wolkenbildung lässt sich die Wetterlage aber nicht nur beschreiben, sondern auch vorhersagen. Hier gelten folgende Regeln:

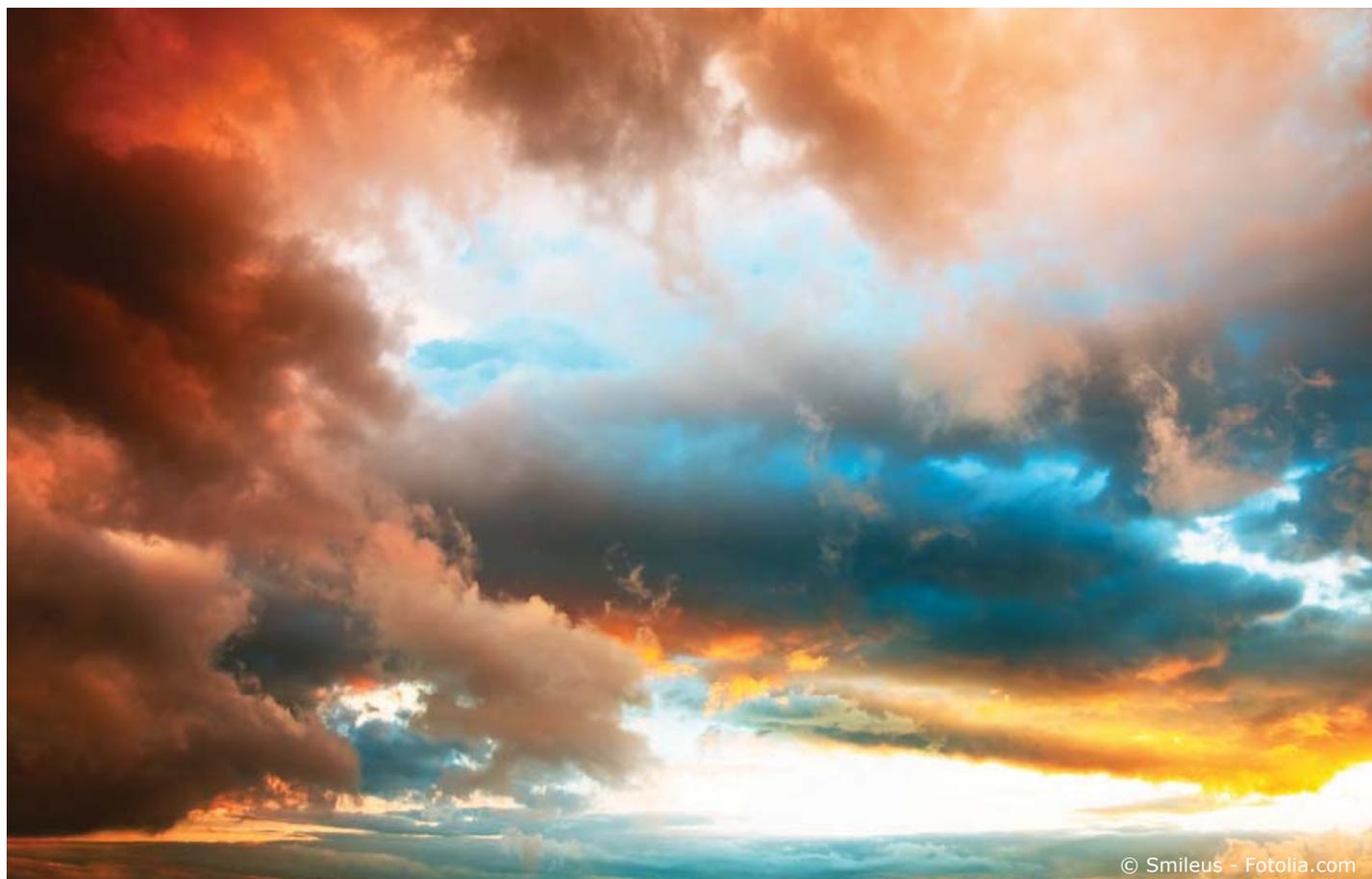
- Flache Haufenwolken (Cu), die sich abends auflösen, deuten auf die Fortdauer des schönen Wetters hin.
- Türmen sich tagsüber Haufenwolken (Cu) zu Wolkengebirgen, die später in der Höhe ausfransen und einen „Amboß“ bilden (Hinweis auf Vereisung der Wolken, Cb) sind Schauer und Gewitter mit starken Böen zu erwarten (Aufwinde in Cb bis 100 km/h).
- Lösen sich abends Haufenwolken (Cu) nicht auf oder wachsen weiter, kann es nachts zu Gewittern kommen.
- Stehen morgens Bänke mit Schäfchenwolken (Ac) am Himmel, aus denen kleine Quelltürme wachsen, kann es nachmittags zu Gewittern kommen, auch wenn sich die morgendlichen Wolkenbänke wieder auflösen. Ziehen diese Wolkenbänke abends auf, kann es nachts zu Gewittern kommen.
- Langsam ziehende hohe Federwolken (Ci), die nicht wesentlich zunehmen oder mittelhohe Schäfchenwolken (Ac) in einzelnen Bänken deuten auf die Fortdauer der freundlichen Witterung hin.
- Rasch aufziehende Federwolken (Ci) in stark vom Bodenwind abweichender Richtung, verbunden mit starkem Luftdruckabfall und auffrischendem Wind deuten auf die Annäherung eines Tiefdruckwirbels mit Regen, Starkwind oder Sturm hin. Die Federwolken (Ci) verdichten sich zu hohen Schleierwolken (Cs) und später zu einer strukturlosen grauen Schicht (As), durch die die Sonne nur noch als heller Fleck zu erkennen ist: typische Wolkenabfolge mit nachfolgendem Regen.

MATERIALBLATT 5.2 → WETTERVORHERSAGE DURCH BEOBACHTUNG

Andere Erscheinungen:

- Außergewöhnlich gute Sicht nach einer Schönwetterperiode mit Dunst deutet auf ein Ende der beständigen Witterung hin.
- Abendrot: Wetterbesserung, die aber nicht dauerhaft sein muss (nur bei Westwetterlage)
- Morgenrot: Wetterverschlechterung (nur bei Westwetterlage)
- Funkeln der Sterne: Wetterverschlechterung
- Nur wenige Sterne zu erkennen: Eintrübung und später Regen

Wetterregeln nach: Jürgen Heise, Wetterkunde für Segler [PDF], Dezember 2000, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, Seite 29.



© Smileus - Fotolia.com

IMPRESSUM

KONTAKTDATEN

PROMEDIA **Wolff**.

02409/213 99 13

info@dfs-schule.de

www.promedia-wolff.de

COPYRIGHTS

Gute Ideen haben einen Eigentümer

© 2014 PROMEDIA **Wolff**.

Die in diesem Unterrichtsmaterial enthaltenen Inhalte, Vorschläge, Ideen, Darstellungen und Visualisierungen sind geistiges Eigentum der Autoren. Eine Weitergabe an Dritte ist grundsätzlich nicht gestattet. Jedwede Weiterverwendung (auch nur teil- oder auszugsweise) bedarf zuvor der schriftlichen Genehmigung. Bei Fragen zum Unterrichtsmaterial wenden Sie sich bitte an info@dfs-schule.de oder 02409/213 99 13.

Danke für Ihr freundliches Verständnis.