

KAPITEL 8

Meteorologie

- Alle reden vom Wetter
- Enteisung
- Luftdruck
- Fronten
- Vulkanismus und Luftfahrt
- Luftlöcher

8.1 Alle reden vom Wetter

„Alle reden vom Wetter. Wir nicht.“ war der Titel einer Werbekampagne der Deutschen Bahn in den 1960er Jahren. Der Slogan sollte die vergleichsweise große Unabhängigkeit der Eisenbahn vom Wetter betonen. Und trotz eingefrorener Weichen im Winter und überhitzter ICE-Wagen im Sommer ist die Aussage nach wie vor richtig: Der schienengebundene Verkehr ist von allen Verkehrsarten der vom Wetter unabhängigste.

In der Luftfahrt spielt das Wetter eine sehr wichtige Rolle, weil sich ein Flugzeug ab dem Start und bis zum Aufsetzen auf der Landebahn im Luftraum bewegt. Da ist es für die Sicherheit entscheidend, über den Zustand der Atmosphäre während des Fliegens möglichst viele Informationen zu besitzen. So beeinflussen Lufttemperatur und Luftfeuchte die Luftdichte und damit die globale Windzirkulation zwischen den Kontinenten. Und aus diesem Grund kann ein Flug nach Amerika das eine Mal über Grönland und das andere Mal 1.000 Kilometer südlich verlaufen.

Definiert ist das Wetter als „spürbarer, kurzfristiger Zustand der Troposphäre – dem unteren Teil der Atmosphäre – an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche, der unter anderem als Sonnenschein, Bewölkung, Regen, Wind, Hitze oder Kälte in Erscheinung tritt“. Im physikalischen Sinn ist das Wetter ein bestimmter Zustand an einem bestimmten Ort, den die Größen Gasdruck, Gasdichte und Gasgemisch vollständig determinieren.



Flugzeuge bewegen sich durch die Atmosphäre und sind von der jeweiligen Luftdichte abhängig.



Das Wetter hat viele Gesichter – letztendlich werden alle vom Druck, der Dichte und dem Gemisch der Gase in der Atmosphäre bestimmt.

8.2 Enteisung

Tipp zum Nachschlagen
im Internet:
aircraft de-icing

Eine der gefährlichsten Einflüsse der Atmosphäre auf die Aerodynamik eines Flugzeugs ist die Eisbildung an Tragflächen, Motoren, Propellern und Rumpf. Bei Kleinflugzeugen, die noch die klassischen Verbrennungsmotoren verwenden, kann die Vereisung des Vergasers aufgrund der Verdunstungskälte durch die Erwärmung der angesaugten Luft sowie der mechanischen Teile recht einfach verhindert werden. Dagegen ist die Vereisung von Tragflächen, Leitwerken oder der Ruder problematischer.

Aufgabe 8.2.1

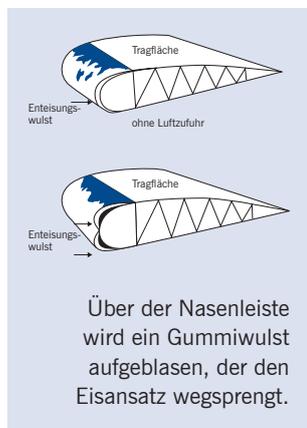
Erläutern Sie die physikalischen Rahmenbedingungen, weshalb es im Vergaser zur Vereisung kommen kann.

Enteisung am Boden

Flugzeuge können am Boden mit einem Glykol- und Wassergemisch direkt besprüht werden, so dass die Oberfläche bis zum baldigen Start wegen des niedrigeren Gefrierpunktes nicht vereist. Hierbei kommen große bewegliche Hebebühnen zum Einsatz. Daneben gibt es auch ein Infrarotverfahren, bei dem Flugzeuge in einer Halle mit Lampen bestrahlt und abschließend mit einer Enteisungsflüssigkeit besprüht werden.

Enteisung in der Luft

Wesentlich problematischer ist die Vereisung während des Flugs. Wenn eine Warmfront auf eine Kaltfront aufgleitet, kommt es im Grenzbereich zu Niederschlägen. Treffen die Regentropfen auf die kalte Flugzeugoberfläche, gefrieren sie schnell. Dies geschieht primär im Bereich der Vorderseite einer Tragfläche, der Leitwerke und Triebwerkeinlässe. Kritisch sind besonders die Ruder, wenn durch Vereisung die Beweglichkeit und Steuerung des Flugzeugs eingeschränkt wird. Bei Flugzeugen mit Düsentriebwerken wird nun meist heiße Abgasluft in diese Bereiche geleitet, um das Eis wieder zum Abschmelzen zu bringen. Bei Propellermaschinen verwendet man häufig Gummiwülste, die durch pneumatisches Aufblasen das Eis absprengen. Piloten werden vom Wetterdienst vor Lufträumen mit Vereisungsgefahr gewarnt. Flugzeuge sollten sich möglichst nur kurze Zeit in diesen Bereichen aufhalten und lieber einen Umweg fliegen.



Aufgabe 8.2.2

Am Flughafen Nürnberg werden am 12. Dezember 2011 vom Wetterdienst folgende Daten übermittelt. Es sollen einer aus Ägypten kommenden Maschine Informationen zum Thema Vereisungsgefahr im Raum Nürnberg gesendet werden. Begründen Sie Ihre Antwort.



Current Weather Conditions: Nuernberg, Germany

(EDDN) 49-30N 011-03E 318M

Conditions at Apr 28, 2012 - 05:50 AM EDT
2012.04.28 0950 UTC
Wind from the SSE (150 degrees) at 8 MPH (7 KT)
Visibility greater than 7 mile(s)
Temperature 82 F (28 C)
Dew Point 42 F (6 C)
Relative Humidity 24%
Pressure (altimeter) 29.94 in. Hg (1014 hPa)
ob EDDN 280950Z 15007KT CAVOK 28/06 Q1014 NOSIG

24 Hour Summary

Time EDT (UTC)	Temperature F (C)	Dew Point F (C)	Pressure Inches (hPa)	Wind MPH	Weather
Latest 6 AM (10) Apr 28	82 (28)	42 (6)	29.94 (1014)	SSE 8	
5 AM (9) Apr 28	78 (26)	46 (8)	29.97 (1015)	SE 8	
4 AM (8) Apr 28	75 (24)	48 (9)	29.97 (1015)	ESE 6	
3 AM (7) Apr 28	68 (20)	51 (11)	29.97 (1015)	SSE 6	
2 AM (6) Apr 28	57 (14)	50 (10)	29.97 (1015)	ESE 3	
1 AM (5) Apr 28	51 (11)	48 (9)	30.00 (1016)	Variable 2	
Midnight (4) Apr 28	50 (10)	44 (7)	29.97 (1015)	N 1	
11 PM (3) Apr 27	51 (11)	46 (8)	29.97 (1015)	Variable 1	
10 PM (2) Apr 27	53 (12)	44 (7)	29.97 (1015)	ESE 2	
9 PM (1) Apr 27	53 (12)	46 (8)	29.97 (1015)	Variable 1	
8 PM (0) Apr 27	55 (13)	44 (7)	29.97 (1015)	E 5	
7 PM (23) Apr 27	55 (13)	46 (8)	29.97 (1015)	NNE 3	
6 PM (22) Apr 27	57 (14)	46 (8)	30.00 (1016)	N 5	
5 PM (21) Apr 27	59 (15)	48 (9)	30.00 (1016)	N 5	
4 PM (20) Apr 27	62 (17)	48 (9)	30.00 (1016)	NNW 2	
3 PM (19) Apr 27	64 (18)	48 (9)	30.00 (1016)	Variable 3	
2 PM (18) Apr 27	69 (21)	48 (9)	30.00 (1016)	NNE 3	
1 PM (17) Apr 27	71 (22)	50 (10)	30.00 (1016)	Variable 1	

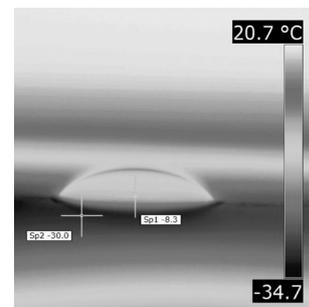
Wetterdaten vom 12. Dezember 2011 am Flughafen Nürnberg

Forschung

Einen neuartigen Ansatz der Bekämpfung von Vereisung verfolgt das Fraunhofer-Institut in Stuttgart. Durch Nanostrukturierung, eine besondere Gestaltung der Oberfläche von Kunststofffolien, kann man verhindern, dass sich Eiskristalle bilden. Die Wassertropfen verbleiben dadurch im unterkühlten Zustand. Die Forscher haben damit im Labor bis -30°C sehr gute Erfolge bei der Verhinderung oder Reduzierung der Vereisung ermittelt. Erste Erprobungen an Flugzeugen haben begonnen.

Aufgabe 8.2.3

Erläutern Sie den Unterschied zwischen relativer und absoluter Luftfeuchtigkeit.



Thermografisches Bild eines stark unterkühlten, immer noch flüssigen Wassertropfens auf einer plasmafunktionalisierten nanostrukturierten Folie.

8.3 Luftdruck



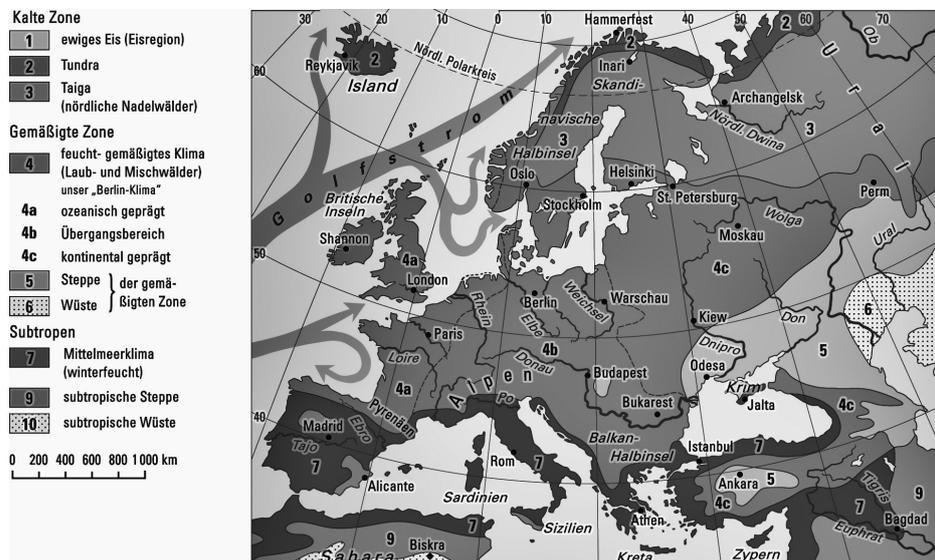
Evangelista Torricelli erfand 1643 das Barometer (Luftdruckmessgerät)

Da sich ein Flugzeug ab dem Start und bis zum Aufsetzen auf der Landebahn im Luftraum bewegt, ist es für die Sicherheit entscheidend, über den Zustand der Atmosphäre während des Fliegens möglichst viele Informationen zu besitzen. Dabei muss zwischen den häufig verwechselten Begriffen Wetter, Klima und Klimazonen unterschieden werden.

Wetter: physikalischer Zustand der Atmosphäre (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Wind, Niederschlag, Bewölkung, Sichtweite, usw.)

Klima: Zusammenfassung meteorologischer Vorgänge an einem Ort über einen längeren Zeitraum

Klimazone: Gebiete gleicher klimatischer Verhältnisse, z. B. gemäßigte Zone oder Tropen



Karte der Klimazonen in Europa



Wasserglas (leer), auch Goethe-Barometer genannt (Reproduktion 17. Jh.)

Sehr früh entdeckte man, dass es Zusammenhänge zwischen dem Luftdruck und dem Wetter geben muss. So wurden schon im 17. Jahrhundert Wettergläser verwendet, in denen der Wasserstand aufgrund des sich verändernden Luftdrucks schwankte. Damit waren erste kurzfristige Vorhersagen möglich. Schnell war klar, dass ein Druckabfall, ein Tief, schlechteres Wetter bedeutet.

Aufgabe 8.3.1

Gedankenexperiment: Ein Glasbehälter, dessen langer Schnabel die einzige Öffnung ist (wie im Bild), ist etwa halb mit Wasser gefüllt. Was passiert mit dem Wasserstand im Inneren des Glases, wenn der Luftdruck steigt bzw. fällt? Begründen Sie Ihre Antwort.

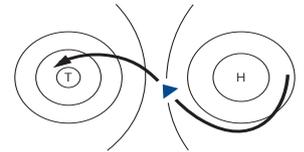
Mit der Verbesserung der Kommunikationstechnik und der großen wirtschaftlichen sowie militärischen Bedeutung der Schifffahrt wurde es möglich, in größeren Gebieten den Luftdruck zu vergleichen. Man konnte nun auf der

Erdoberfläche Orte mit dem gleichen Luftdruck erkennen und miteinander verbinden. Diese Linien heißen Isobaren. Der am Meeresspiegel vorhandene Druck wird mit der Einheit Hektopascal (hPa) in der Wetterkarte angezeigt.

Im Idealfall sind die Isobaren kreisförmig um Gebiete mit vergleichsweise hohem Luftdruck, sogenannte Hochs (H), und Gebiete mit kleinerem Luftdruck, sogenannte Tiefs (T), angeordnet. Da Gase die Eigenschaft haben, unterschiedliche Druckverhältnisse auszugleichen, bewegen sich die Luftmoleküle in den Luftmassen vom Hochdruckgebiet zum Tiefdruckgebiet. Diese Bewegung empfinden wir als Wind. Der Druckausgleich erfolgt jedoch nicht auf dem direkten Weg, sondern wegen der sich drehenden Erde in Kurvenform. Die ablenkende Kraft hat der Physiker Gaspard Gustave de Coriolis 1835 berechnet. Sie wird daher als Corioliskraft bezeichnet. Auf der Nordhalbkugel erfolgt die Ablenkung von bewegten Massen nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links in Bewegungsrichtung. Entsprechend drehen sich die Luftmassen beim Hoch rechts, bei einem Tief links um den Ort des tiefsten Drucks.

Corioliskraft

Jeder bewegte Körper erfährt auf der Nordhalbkugel eine Ablenkung nach rechts. Diese Kraft nennt man Corioliskraft.



Das Tief liegt vorne links, wenn man in Windrichtung schaut, das Hoch rechts hinten.

Aufgabe 8.3.2

Luftdruckänderung in der Höhe: Der Luftdruck nimmt auf Meereshöhe bei 15°C je 8,3 m um 1 hPa ab. In einem Küstenort steht ein Hochhaus mit 15 Stockwerken; jedes misst 5 m. Ein Besucher fährt mit dem Lift nach oben und steigt dann auf das Dach. Welchen Luftdruck wird er auf dem Dach messen, wenn dieser in Meereshöhe 1.010 hPa beträgt?

Hektopascal

Der Luftdruck der Atmosphäre auf Meereshöhe beträgt normgemäß
101.325 Pa =
1.013,25 hPa
(Hektopascal = Millibar)

Aufgabe 8.3.3

Wo ist mit einer höheren Windgeschwindigkeit zu rechnen, in Gebieten mit eng aneinander verlaufenden oder mit weiter auseinander verlaufenden Isobaren? Begründen Sie die Entscheidung.

Aufgabe 8.3.4

Erklären Sie die Auswirkung der Corioliskraft auf einen Fluss, der von Süden nach Norden fließt (Beispiel: Rhein im Oberrheingraben).

Aufgabe 8.3.5

Konstruieren Sie mit einfachsten Mitteln ein mittelalterliches Wasserglas.

Aufgabe 8.3.6

Stellen Sie über mehrere Tage wichtige Wetterdaten für Ihren Wohnort zusammen und fotografieren Sie die Wolken. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit dem Karlsruher Wolkenatlas: www.wolkenatlas.de/wolken/descr.htm
Versuchen Sie eine Zuordnung gemäß der dort angebotenen Klassifikation mit den Fotos der Wolken.

8.4 Fronten

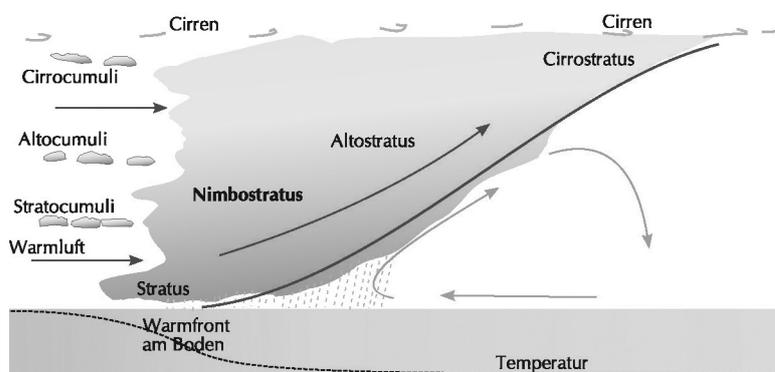
Als Front wird in der Meteorologie der Grenzbereich zwischen zwei unterschiedlichen Luftmassen bezeichnet. Fronten bewirken eine recht schnelle Veränderung des Luftdrucks, der Windrichtung und der Temperatur. Man unterscheidet zwischen Warm- und Kaltfronten.

Warmfront

Beispiel: Nach einem längeren winterlichen Hochdruckeinfluss in Mitteleuropa, der über mehrere Tage kalte Luftmassen aus Russland brachte, schiebt sich nun ein atlantisches Tief mit warmen Luftmassen auf die schweren kalten Luftmassen. Der Aufgleitwinkel ist relativ flach, im Idealfall 1:100.

Diesen Prozess kann man sehr gut erkennen. Die ersten Vorboten sind Eiswolken, Schleierwolken (Zirren) in großer Höhe. Da sich eine Warmfront langsam voran bewegt, wird es noch einige Tage dauern, bis die warmen Luftmassen den Boden erreichen. In der letzten Phase kommt es zu lange anhaltenden Regenfällen (Landregen). Nach dem Durchzug der Warmfront klart der Himmel auf und es wird wärmer. Da der Boden nur langsam auftaut, besteht im Winter die Gefahr, dass es zu Glatteis (Blitzeis) kommt, wenn der Niederschlag den Boden erreicht. Auch in der Luftfahrt kann es im Bereich kalter Luftmassen zu Vereisung kommen.

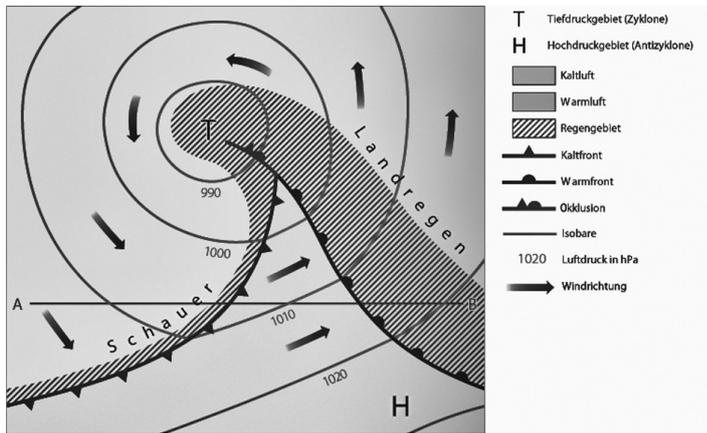
Blitzeis
Es besteht die Gefahr, dass der Unterricht wegen Straßenglatte ausfällt. Schulbusse können nicht fahren.



Witterungsablauf beim Durchzug einer Warmfront

Kaltfront

Bei einer Kaltfront bewegen sich die kalten und relativ schweren Luftmassen schneller als die wärmeren Luftmassen und hebeln diese wie mit einem Keil regelrecht in die Höhe. Dadurch entsteht ein schmales Wetterband mit 80 bis 150 km Breite, das durch hohe Quellwolken voller Turbulenzen und heftiger Schauer gekennzeichnet ist. In der warmen Jahreszeit können in diesen Quellwolken auch starke Gewitter entstehen. Nach dem Durchzug der Front wird es merklich kühler und die Sicht ist sehr gut. Auf einer Wetterkarte werden die Warm- und Kaltfronten mit Halbkreisen (Warmfront) und Dreiecken (Kaltfront) dargestellt.



Entstehung und Bewegung eines typischen Tiefdruckgebiets (Zyklone)

Aus der Praxis

An einem Sommernachmittag an einem Flughafen in Deutschland: Vier Flugzeuge waren innerhalb einer Entfernung von 20 NM in Richtung Westen im Anflug auf einen Verkehrsflughafen. Völlig unerwartet zog von Westen in Richtung dieses Flughafens eine heftige Böenwalze. Unmittelbar nachdem der Towerlotse die Böenwalze wahrgenommen hatte, gab er diese Information an die Piloten.

Der Wind hatte sich innerhalb kürzester Zeit von durchschnittlich 6 Knoten auf Böen von über 40 Knoten verstärkt. Die vier anfliegenden Flugzeuge waren in der Reihenfolge ihres Anflugs auf dem Instrumentenlandesystem erfasst.

Nachdem das erste Flugzeug diese Nachricht erhalten hatte, leitete die Crew ein Fehlanflugverfahren ein und drehte die Maschine umgehend nach links und damit entgegengesetzt zu den anderen Flugzeugen. Die zweite Maschine gab ebenfalls an, umgehend nach links zu drehen, um dieser Böenwalze auszuweichen. Der Towerlotse gab beiden für die geplanten Richtungsänderungen „grünes Licht“. Unmittelbar danach gaben die zwei hinteren Flugzeuge ebenfalls an, nach links drehen zu wollen. Aufgrund der dort im Steigflug befindlichen beiden ersten Maschinen konnte der Lotse die Freigabe nicht sofort erteilen und bat die beiden Crews so lange wie möglich auf der Anfluggrundlinie zu bleiben. Die Böenwalze kam mit ungeheurer Geschwindigkeit auf den Flugplatz zu, so dass der Lotse jetzt auch den beiden folgenden Maschinen die Freigabe für die Linkskurve gab.

Durch eine sehr große Koordinationsleistung des Fluglotsen konnten alle vier Flugzeuge nach einigen Warteschleifen und dem Abzug der Böenwalze sicher landen.

Das Wettergeschehen ist Teil unseres täglichen Lebens. Viele Wetterelemente nehmen wir gar nicht bewusst wahr: Luftdichte, Luftfeuchte und die Bestandteile unserer „Wetterküche“, der Atmosphäre, sind einfach da und gestalten das Wettergeschehen aus Temperatur, Niederschlag, Wind und Wolken.

Haben Sie gewusst, dass Lufttemperatur und Luftfeuchte die Luftdichte entscheidend beeinflussen? Dass Flugzeuge die Luftdichte benötigen? Dass die globale Windzirkulation zwischen den Kontinenten die Ursache dafür war, dass Ihr Urlaubsflug nach Amerika das eine Mal über Grönland und das andere Mal 1.000 km südlich verlief?

Es ist offensichtlich, dass die Meteorologie in der Luftfahrt eine entscheidende Rolle spielt. Die Anweisungen, die Fluglotsen den Flugkapitänen tausendfach erteilen, sind von den Erscheinungen des Wetters maßgeblich beeinflusst.

Aufgabe 8.4.1

- a | Man erkennt bei SO-Wind über Frankfurt die ersten Schleierwolken aus kleinen Eiskristallen (Zirren) in 10 km Höhe. In welcher Entfernung von Frankfurt regnet es?
- b | Weshalb ist die Unterseite der Cumulonimbuswolken (aufgetürmte Haufenwolken) sehr dunkel?
- c | Weshalb ist selbst der Notabsprung aus einem beschädigten Segelflugzeug mit einem Fallschirm in einer Cumulonimbuswolke nach Möglichkeit zu vermeiden?

Wolkenarten

Zirren oder Eiswolken

bestehen aus kleinen Eiskristallen in sehr großer Höhe.

Stratus oder Nimbostratuswolken

sind tiefere bis mittelhohe Schichtwolken (Regen).

Altostratuswolken

sind hohe Haufenwolken.

Cumulonimbuswolken

sind aufgetürmte Haufenwolken (meist kurzer und heftiger Regen).



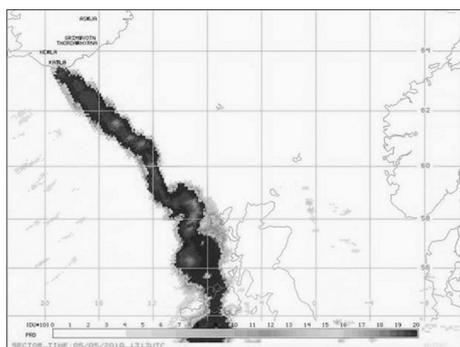
8.5 Vulkanismus und Luftfahrt

Piloten berichteten, dass während eines Streckenflugs in großer Höhe plötzlich alle vier Triebwerke ihres Verkehrsflugzeugs in der Leistung erheblich nachließen bzw. zeitweise sogar stillstanden und mit viel Glück in niedrigeren Luftschichten wieder starteten. Solche technischen Probleme sind eine große Gefahr für die Luftfahrt. Alle Verkehrsmaschinen können sicher den nächsten Flughafen erreichen, wenn ein, oder bei größeren Flugzeugen zwei, Triebwerke ausfallen sollten. Aber alle Triebwerke gleichzeitig? Bei der Untersuchung der Triebwerke fand man schnell die Ursache: Ablagerungen von Vulkanasche an den Turbinenschaufeln.

Eine Beschädigung des Flugzeugs durch Asche kann verschiedene gefährliche Auswirkungen haben:

- Aschepartikel wirken auf die Frontscheibe eines Flugzeugs wie ein Sandstrahlgebläse. Der Pilot muss im schlimmsten Fall nur mit Instrumenten und ohne Sicht fliegen und landen.
- Öffnungen der Sensoren für Fluggeschwindigkeit, Außentemperatur und Luftdruck verstopfen, so dass Piloten und Computer keine verlässlichen Werte für das Steuern des Flugzeugs erhalten.
- In den Triebwerken erfolgt eine Erosion an den Verdichtersystemen mit einer Verminderung des Wirkungsgrads.
- Staub lagert sich an den Turbinenschaufeln (Emaillé-Effekt) ab.

Der Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull bewirkte im Frühjahr 2010 eine mehrtägige Sperrung von Teilen des europäischen Luftraums, weil eine Aschewolke die Sicherheit des Luftverkehrs in Europa gefährdete. Wissenschaftlich dokumentiert wurde die Verteilung der Asche über Deutschland durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).



Ascheverbreitung über Europa am 5. Mai 2010

Aufgabe 8.5.1

Nennen Sie zwei weitere aktive Vulkane in Europa unter Angabe der Längen- und Breitengrade, die den Flugverkehr stören können.



DLR-Forschungsflugzeug



Turbinenschaufel mit Kühllöchern



DLR-Forschungsflugzeug mit Partikelsonde am Tragflügel

8.6 Luftlöcher

Beruhigend: Es gibt keine Löcher in der Luft.

Recht unangenehme Gefühle entstehen beim Fliegen, wenn die doch recht große und schwere Maschine in ein „Luftloch“ fliegt und für den Bruchteil einer Sekunde schlagartig an Höhe verliert. Manche Passagiere sind sogar regelrecht sauer auf den Piloten, weil er nicht ausgewichen ist.

Physikalisch gesehen sind diese Luftlöcher überraschende Auf- oder Abwinde in der Atmosphäre. Es gibt also kein Loch in der Atmosphäre, sondern lediglich Luftmassen, die sich abwärts oder aufwärts bewegen. Man kann sie nicht sehen, jedoch erahnen, wenn man sich den Wetterfronten oder bestimmten Wolkenarten nähert.

Stratosphäre
Teil der Atmosphäre oberhalb der Troposphäre. Sie beginnt bei etwa 15 km Höhe und endet bei 50 km.

Wie unter 8.4 Fronten beschrieben, gibt es an der Spitze der Front einen sehr turbulenten Bereich mit Cumulonimbuswolken, die bis in die Stratosphäre reichen können. In diesen Bereichen gibt es äußerst starke Aufwinde und außerhalb des Aufwindbereichs ebensolche Abwinde, die den Druckausgleich in der Atmosphäre wieder herstellen. Die Piloten versuchen diese Bereiche mit dem Wetterradar der Verkehrsflugzeuge zu erkennen und zu umfliegen. Besonders starke Aufwinde gibt es im Bereich der innertropischen Konvergenzzone (ITC), die beim Überqueren des thermischen Äquators durchfliegen werden muss. Es ist nicht ratsam, in dieser Phase des Flugs Essen oder Getränke zu servieren.

Aufgabe 8.6.1

Der thermische Äquator ist der Ort, an dem die Sonne senkrecht steht. Kurz nach der Zwischenlandung in Kairo auf dem Flug nach Kapstadt bittet der Pilot die Flugbegleiter das Essen zu servieren. Es ist der 21. Juni. Beurteilen Sie diesen Vorgang aus der Sicht der Passagiere und der Flugbegleiter. Wie würde Ihre Entscheidung am 21. Dezember lauten? Verwenden Sie einen Atlas für Ihre Entscheidung.

Thermik

In den Frühjahrs- und Sommermonaten erwärmt die Sonne die Erdoberfläche. Dabei ist die Erwärmung der Luftmassen unmittelbar über dem Boden sehr unterschiedlich. Eine feuchte Wiese, ein Lehmboden oder ein See nehmen viel Wärme auf und speichern sie auch länger. Dagegen erwärmen abgeerntete Getreideäcker, Straßen, Autobahnen, Parkplätze, Dächer von Siedlungen die darüber liegende Luft sehr schnell. Es kommt dann zur Ablösung von Warmluftblasen, die sich zu richtigen Thermikschläuchen entwickeln können, in denen Luft nach oben strömt. Erreicht sie eine Höhe, die zur Kondensation der mitgeführten Luftfeuchtigkeit führt, entstehen Cumuluswolken. Viele Vogelarten, aber auch Segelflugzeuge, Drachenflieger und Gleitschirmflieger suchen diese Thermikwinde, um Höhe zu gewinnen. Da deren Durchmesser meist recht klein ist, müssen sie steile Kreise fliegen (kreisen),



Segelflugzeuge suchen warme Aufwinde.

um im Bart zu bleiben. Bevor man die Wolkenuntergrenze erreicht, sucht man sich die nächste Cumuluswolke und fliegt den dortigen Thermikschlauch an. Bei günstigen Wetterlagen kann man auf diese Weise schnell große Strecken zurücklegen und den ganzen Tag in der Luft bleiben.

Bart
Fachbegriff der Segelflieger für Thermik

Während also eine Verkehrsmaschine beim Flug durch eine Cumuluswolke durchgeschüttelt werden kann, freut sich einige Kilometer darunter der Segelflieger über die tollen Aufwinde, die sein etwa 300 kg schweres Luftgerät mit vielleicht 8 m/s im Bart nach oben zieht: Des einen Freud, des anderen Leid!

Orografische Winde

Winde und Turbulenzen, die an Gebirgen oder Berghängen entstehen, nennt man orografische Winde. In Deutschland ist der Föhn in den Alpen der bekannteste orografische Wind. Er kann sich je nach Wetterverhältnissen zu einem regelrechten Föhnsturm entwickeln und damit für Sportflieger sehr gefährlich werden.

Orografie
Die Orografie beschreibt Höhenstrukturen der Erdoberfläche.

Voraussetzung für Föhnwinde sind unterschiedliche Luftdruckverhältnisse auf der Nord- und Südseite der Alpen. Liegt über Süddeutschland ein starkes Tiefdruckgebiet, bewegen sich im nördlichen Italien die Luftmassen Richtung Alpen. Um das Hindernis zu überqueren, müssen sie aufsteigen, was zu erheblichen Niederschlägen führt, da das Kondensationsniveau erreicht wird. Am Nordrand der Alpen sinken die Luftmassen, erwärmen und beschleunigen sich, was zu starken Föhnwinden führen kann. So entsteht beste Fernsicht, da die Luftmassen nur wenig Feuchtigkeit enthalten und relativ warm sind.



Prinzip des Hangaufwinds

Unabhängig davon gibt es auch in den Alpentälern tagesperiodische Luftströmungen, die dadurch entstehen, dass die der Sonne zugewandten Bergflanken im Tagesverlauf zuerst erwärmt werden. Durch die erwärmte und damit aufsteigende Luft entsteht ein kleines Unterdruckgebiet und aus dem Tal strömen kühle Luftmassen nach (Talwind). Man kann bei ruhiger Großwetterlage anhand stationärer Cumuluswolken diese aufsteigenden Luftmassen klar erkennen und zuordnen. Die Talwinde werden deshalb gerne von Segelfliegern, Drachen- und Gleitschirmfliegern genutzt.



Orografischer Talwind, der sich über dem Bergkamm zu Cumuli entwickelt.

Am Abend und in der Nacht, wenn die wärmende Sonne fehlt, kühlen die Luftmassen im Bergspitzenbereich schnell ab und sinken als schwere Luftmassen Richtung Tal (Bergwind). Auf Flughäfen im Alpenraum (Salzburg, Innsbruck usw.) sind diese Winde unbedingt zu beachten.

Aufgabe 8.6.2

Im Küstenbereich wechselt die Windrichtung im Tagesverlauf zwischen dem Meer und dem Land. Beschreiben und erklären Sie den Vorgang.

LÖSUNGEN

Aufgabe 8.2.1

In einem Vergaser wird Treibstoff vom flüssigen in den gasförmigen Zustand überführt. Hierzu ist Energie notwendig, die der Umgebung entzogen wird. Bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit in Gefrierpunktnähe kommt es daher schnell zur Vereisung, die den Durchmesser der Vergaserkanäle verkleinert und die Funktion der Klappen behindert. Der Vorgang wird zusätzlich durch die höhere Luftgeschwindigkeit im Vergasersystem (Unterdruck/Bernoulli-Gesetz) verstärkt.

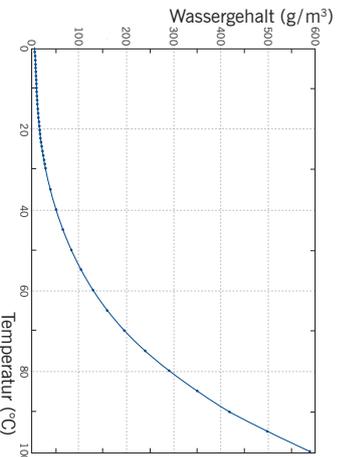
Aufgabe 8.2.2

Da die Temperaturen in der Nähe des Gefrierpunkts liegen und insbesondere die relative Luftfeuchtigkeit sehr hoch ist, ist mit Vereisung zu rechnen.

Aufgabe 8.2.3

Die absolute Luftfeuchtigkeit wird in g/m^3 angegeben. Sie informiert also über das Gewicht des Wassers in einer bestimmten Menge Luft. Die relative Luftfeuchtigkeit gibt an, wie viel Prozent der maximal möglichen Wassermenge bei einer gegebenen Lufttemperatur vorhanden sind. Je wärmer eine Luftmasse ist, desto höher kann der Wasseranteil sein. Wenn also die Temperatur steigt, sinkt ohne Zufuhr von Wasser die relative Luftfeuchtigkeit.

Erreicht eine Luftmasse 100 Prozent relative Luftfeuchtigkeit, erreicht sie den Taupunkt, also die Kondensation des Wasseranteils (Nebel, Wolkenbildung).



Sättigungsmenge von Wasserdampf in der Luft. Lesbeispiel: Bei 65 °C kann ein m^3 Luft maximal 170 g Wasser beinhalten.

Aufgabe 8.3.1

Sinkt der Druck in der freien Atmosphäre, dann reduziert sich der Druck auf die Wasseroberfläche im Schmelz und der Wasserspiegel im Glasbehälter fällt. S. auch Aufgabe 8.3.6.

Aufgabe 8.3.2

1.010 hPa – 9,04 hPa = 1.000,96 hPa. Die Druckänderung ist abhängig von der Lufttemperatur und der Höhe. So müsste man in 10 km Höhe 32 m Höhenunterschied erreichen, um 1 hPa Luftdruckunterschied zu messen. S. in der Fachliteratur den Begriff „Barometrische Höhenstufe“.

Aufgabe 8.3.3

Wenn die Isobaren eng nebeneinander verlaufen, dann ist auf recht kurzer Entfernung ein großer Luftdruckunterschied gegeben. Es wird zu einem schnellen Druckausgleich kommen, was sich als starke Winde (horizontale Winde) bemerkbar macht. Im Extremfall kann man das beim Platzen eines Luftballons beobachten. Durch das Platzen der Hülle kann der Überdruck im Inneren des Ballons mit der entsprechenden großen Isobare sehr schnell erfolgen: Mit einem Knall. Der in den Alpen bestens bekannte Föhn basiert ebenfalls auf großen Luftdruckunterschieden zwischen den nördlichen und südlichen Alpen, der noch durch die Düsenwirkung von Tälern verstärkt wird.

Aufgabe 8.3.4

Der Rhein fließt von Basel Richtung Mainz, also von Süden nach Norden. Damit entsteht eine größere Reibung am rechten Ufer, also am östlichen Rand des Flusses. S. auch: de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Corioliskraftanimation.gif&filetimestamp=20060801110615

Aufgabe 8.3.5

Die notwendigen Utensilien erhalten Sie beim Chemielehrer: Glasbehälter, Gummistopfen, Kunststoffschlauch und Methylenblau (Flüssigkeit).

Aufgabe 8.3.6

Datum / Uhrzeit	Wolken: keine, bedeckt (0–100%), Hautwolken	Temperatur	Windrichtung	Windstärke: windstill, schwacher/hetiger Wind, Sturm
z. B. Montag, ... 07:00 Uhr				
14:00 Uhr				
18:00 Uhr				

Die Tabelle wird besonders interessante Daten aufweisen, wenn ein Wetterwechsel stattfindet, z. B. wenn ein Hoch von einem Tief abgelöst wird.

Aufgabe 8.4.1

a) Anhand der Ziren erkennt man, dass eine Warmfront auf eine kalte Luftmasse aufgleitet. Es gilt die Faustregel 1:100. Damit regnet es etwa 1.000 km entfernt vom Standort des Betrachters.

b) Wegen der großen Höhe der Wolken kann das Sonnenlicht nicht bis zur Unterseite durchdringen.

c) In der Cumulonimbuswolke herrschen sehr starke Aufwinde, die den Fallschirm mit dem Piloten in sehr große Höhen (bis zu 10 km) tragen. Er würde folglich erstickten oder erfrieren.

Aufgabe 8.5.1

Ätha: 37° 43' 46" N, 15° 0' 17" O

Vesuv: 37° 43' 46" N, 15° 0' 17" O

Aufgabe 8.6.1

Am 21. Juni ist die Sonne über dem 23,5° nördlicher Breite im Zenit. Dort findet also die größte Erhitzung der Atmosphäre statt. Die Maschine wird kurz nach dem Start in heftige Turbulenzen kommen, mit unangenehmen Folgen für Flugbegleiter und Passagiere, wenn gerade Essen serviert wird. Am 21. Dezember steht die Sonne am südlichen Wendekreis im Zenit. Das Flugzeug wird diesen erst nach mehreren Stunden Flugzeit erreichen.

Aufgabe 8.6.2

Bei Sonnenschein erwärmen sich der Strand und das restliche Festland schneller als das Meerwasser. Die erwärmte Luft steigt auf und lässt darunter ein kleines Bodentiefdruckgebiet mit bis zu 2 hPa entstehen, das die Luftmassen vom Meer anzieht, wo ein „Bodenhoch“ herrscht (Druckausgleich der Gase). Über dem Land entstehen Cumuluswolken. Nachts kühlt das Festland schneller ab, während das Meerwasser die Temperatur kaum ändert. Ist die Temperatur der Luftmassen über dem Wasser höher als die der Luftmassen an Land, dann steigen sie auf. Über dem Meer entsteht nun das Bodentief und zieht vom Land die Luftmassen an. Der Wind, oder genauer die Windrichtung, hat gedreht und es herrscht Landwind.