Lufthansa Report

Daten · Fakten · Hintergrund
Medienservice zum Luftverkehr

Großwetterlage

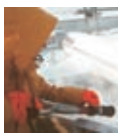
Meteorologie ist immer dabei

Editorial 2
Warum sind wir so wetterfühlig?

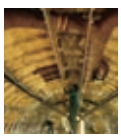
Das Wetter 3
Aircraft durch Hoch & Tief

Wetterberatung 7
Schöner Flug in jedem Klima

Wetterradar 9
Grün - Gelb - Rot
Wetterradar in der Nase



Anti-Icing 11
Nicht nur zur Winterszeit



Klima an Bord 13
„Air-Conditions“ zum Abheben

Historie 15
Beim Traum vom Fliegen spielte das Wetter keine Rolle

Essay 16
Der Frosch – König der Wettervorhersage?

Lufthansa Report

Ein Medienservice der Deutschen Lufthansa AG
Konzernkommunikation
Klaus Walther (verantwortlich)

Rückfragen, Anregungen, Meinungen und Vorschläge für kommende Ausgaben erreichen uns unter:

Deutsche Lufthansa AG
Konzernkommunikation, FRA CI/D
Thomas Jachnow (pressestelle@dlh.de)
Telefon: 069/696 2999
Telefax: 069/696 95428

Redaktion: Knoll Intermedia, Mainz
Grafik/Layout: Andreas M. Kurzhals, Mainz
Druck: Dinner Druck, Schwanau

- Alle Texte und Abbildungen sind zum Abdruck frei. Zur Erleichterung Ihrer Arbeit ist das Material zusätzlich in elektronischer Form abrufbar.
- Mit * gekennzeichnete Fotos stammen aus dem Karlsruher Wolkenatlas. www.wolkenatlas.de
  Veröffentlichung nur mit Quellenangabe.
- Für die hier angerissenen Themen vermitteln wir Ihnen gern Gesprächspartner oder weitergehende Informationen.

Warum sind wir so wetterfühlig?

Jeder dritte Mitteleuropäer bezeichnet sich als „wetterfühlig“. Die Symptome der Meteorotropie, wie die Wetterfühligkeit medizinisch heißt, reichen von Nervosität über Aggressivität/Depression übers „Rheumabein“ bis hin zum Herzinfarkt. Buchautor Gerhard Leibold setzt sich ausführlich mit den Auswirkungen von Hochs und Tiefs, Temperaturen oder Sonneneinstrahlung auf das Wohlbefinden des Menschen auseinander.

Die Fähigkeit, Wettereinflüsse wahrzunehmen und darauf zu reagieren, gehört vermutlich zu den Überlebenstechniken, mit denen die Natur Mensch und Tier ausstattete. Bei vielen Tieren blieb dieses natürliche „Gespür" für das Wetter bis heute deutlich ausgeprägt. Ihre Fähigkeiten gehen nicht selten weit über die natürliche Wetterfühligkeit des Menschen hinaus. Einige Tiere scheinen zum Beispiel sogar in der Lage, Erdbeben und Überflutungen Stunden vorher zu ahnen, was dem Menschen nicht (oder nicht mehr) möglich ist.

Solche Fähigkeiten sind unter natürlichen Lebensbedingungen von Vorteil. Vielleicht spielt die Wetterfühligkeit sogar bei der Evolution eine Rolle. Man kann sich jedenfalls vorstellen, dass die Tierarten, die das Wetter rechtzeitig ahnen und dementsprechend ihr Verhalten ändern (zum Beispiel ein gefährdetes Revier verlassen), eher als die ohne diese Fähigkeit überleben.

Auch für den Menschen in grauer Vorzeit war die Empfindung für die Wetterfaktoren von Nutzen. Er lebte noch nicht in festen Behausungen und musste deshalb Vorsorge treffen, wenn das Wetter sich ungünstig veränderte. Die körperlichen und seelischgeistigen Reaktionen auf das Wetter, die sich damals als „Wettbewerbsvorteil“ im Konkurrenzkampf der Arten erwiesen, haben heute für die Bewohner der Industriestaaten jegliche Bedeutung verloren. Wir leben und arbeiten weitgehend unabhängig vom Wetter, bleiben dank Auto, Bahn oder Flugzeug auch bei schlechtem Wetter mobil - und wenn wir wissen wollen, wie sich das Wetter entwickeln wird, schalten wir das Radio- oder Fernsehgerät an. Deshalb werden die Reaktionen auf das Wetter heute nicht mehr als nützliche Information, sondern als lästige bis quälende Symptome empfunden .

Heute erzeugen die atmosphärischen Zustände und Veränderungen normalerweise keine deutlich spürbaren Reaktionen mehr, allenfalls nimmt man unklare Veränderungen des Allgemeinempfindens beziehungsweise der Stimmung wahr. Sie werden aber nicht mehr bewusst als Vorzeichen atmosphärischer Vorgänge registriert, man ist eben einfach „nicht gut drauf“.

Der wetterfühlige Mensch scheint aus dieser Sicht noch natürlicher zu reagieren. Aber das trifft nur bedingt zu. Tatsächlich sind bei vielen Wetterempfindlichen nicht die „Wettersensoren“ besser entwickelt, sondern körperliche und seelischgeistige Funktionen derart gesteuert, dass sie stärker auf die Wetterfaktoren reagieren. Zivilisatorische Einflüsse spielen dabei eine große Rolle, angefangen bei Fehlernährung und Bewegungsmangel über zu hohen Dauerstress bis hin zu Umweltbeeinflussung und Veränderung des Elektroklimas durch künstliche Einflüsse.

Leider erweist sich die einst überlebenswichtige Wetterfühligkeit heute nur noch als Relikt, das Beschwerden und Krankheiten verursacht. ■

Aus: Gerhard Leibold: Wetterfühligkeit – Ursachen, Symptome, ganzheitliche Behandlung, Zürich: Jopp bei Oesch, 2000, ISBN 3-89698-126-9)

Flug über geschlossener Wolkendecke: Ein Airbus A340

Aircraft durch Hoch & Tief

Es gibt kein schlechtes Wetter. Schlechtes Wetter kann den immer dichter werdenden internationalen Flugverkehr kaum beeinträchtigen. Aber das Wetter fliegt immer mit – vom Start bis zur Reiseflughöhe und wieder hinunter, mehr oder weniger berechenbar. Aber die Flugzeuge sind heute technisch so ausgerüstet, dass die Piloten selbst bei Schlechtwetterlagen den Flug jederzeit durchführen oder das Gebiet notfalls umfliegen können.

„Hatten Sie einen guten Flug?“ Die Antwort betrifft meist den Service, Sitzkomfort, vielleicht noch den Nachbarn. Hauptsache, man ist pünktlich gelandet. Ausgerechnet vom Wetter ist bei typischen Abholkonversationen immer seltener die Rede. Dabei war man doch mitten drin im atmosphärischen Geschehen auf 35.000 Fuß (gut 10.000 Meter) Höhe, irgendwo über den Alpen oder dem Nordatlantik. Das ist Standard im internationalen Flugverkehr auch bei widrigen meteorologischen Bedingungen. Auf einigen Routen wird der Zeitplan sogar regelmäßig unterschritten. Denn die Luftfahrt beherrscht nicht nur den Umgang mit den wechselnden Konditionen in ihren Sphären, ihre Piloten verstehen – beispielsweise durch Rückenwind – sie auch zu nutzen. Das setzt neben ausgefeilter Navigationstechnik die genaue Kenntnis des Wettergeschehens und seine Einbeziehung in eine flexible Routenplanung voraus.

Doch wie entsteht das Wetter überhaupt? Vereinfacht gesagt durch die Sonne. Über alle Jahreszeiten hinweg erwärmt sie die Luft über der Erde – in der Nähe des Äquators stärker als in der Polgegend. Den Wärmeunterschied versucht die Atmosphäre auszugleichen. Wie bei einer gigantischen Wärmekraftmaschine wird die Luft von den Tropen in Richtung Pole transportiert.

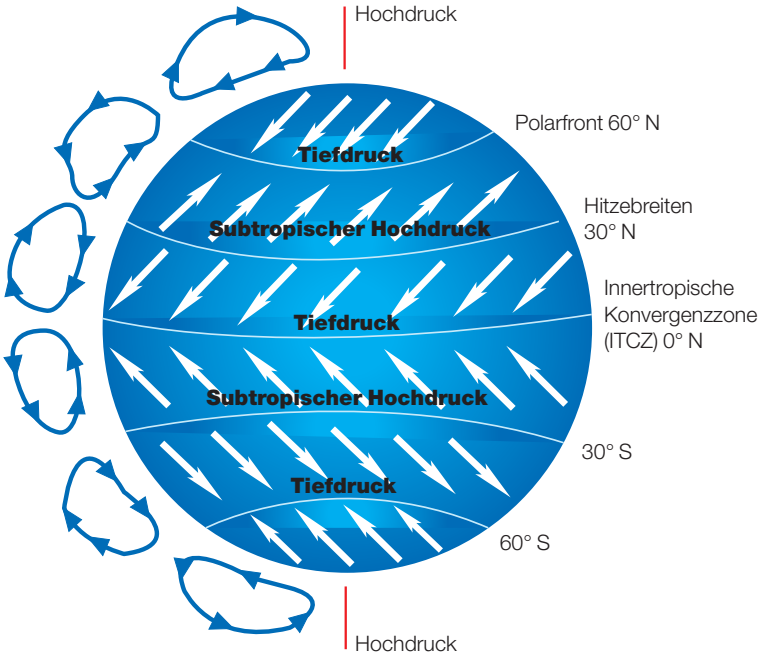
Durch die Erdrotation und Temperaturdifferenzen zwischen den Polen und dem Äquator zirkulieren die Luftmassen ständig in der Atmosphäre. So entsteht das Wetter mit allen Auswirkungen, die wir kennen: Winde, Wolken, Niederschlag ebenso wie beispielsweise die Hurrikane und Gewitter, die in allen troposphärischen Regionen im Mittel bis auf 16 Kilometer Höhe reichen.

Flug im unterkühlten Luftraum

Die Wärmestrahlung bringt nicht nur die Luft in Bewegung, sie lässt auch die Wassermassen der Ozeane verdunsten und aufsteigen. Mit abnehmender Temperatur in der Höhe können sie zu dichten Wolkenschichten oder lockeren Cumuli kondensieren oder bei größerer Höhe sogar gefrieren. Ab etwa 7.000 Höhenmetern entstehen so genannte Cirren. Der Luftraum, in dem sich das Flugzeug während des Reiseflugs bewegt, ist mehr als unterkühlt. Der Sprung von plus zehn Grad Celsius beim Abflug in Frankfurt bis zu den 25 Grad in Palma etwa erfolgt auf üblicher Reiseflughöhe in einer Temperaturumgebung von 40 bis über 60 Minusgraden. Das ist beispielsweise von Tunis nach Johannesburg kaum anders, aber vielleicht turbulenter ...

Das Wetter wird von Hoch- und Tiefdruckgebieten bestimmt. Aber wie entstehen diese Wettermacher? Dem Trägheitsprinzip folgend driftet die Troposphäre, der sieben bis 15

Alotcumulus, mittelhohe Linsenwolke, die durch Überströmung des Gebirges entsteht.



Darstellung der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation mit ihren breitenkreisabhängigen Bodenwinden und der Vertikalzirkulation (Polar Easterlies, gleich polare Ostwinde, Prevailing Westerlies, gleich vorherrschende Westwinde, Northeast Trade Winds, gleich Nordostpassate). Quelle: Aviation Weather by Peter F. Lester, Jeppesen Sanderson Training Products

Stratocumulus, tiefliegende Wolken bei einer Inversionswetterlage in der warme Luft über kalter liegt.

Kilometer hohe Bereich der Atmosphäre, in der sich das Wetter und der Flugverkehr abspielen, relativ zur ostwärts rotierenden festen Erde westwärts. Dabei ist die Bewegung rein rechnerisch am schnellsten in Äquatorbreite, am geringsten an den Polen. Aber die Ausgleichsströmungen, die aus der allgemeinen Westströmung entstehen – mit aufsteigenden und sich abregnenden oder -schneienden Luftmassen – lassen ständig Luft nachfließen.

Ostwinde gleichen aus

An den Polen, unter der geringsten Sonneneinstrahlung, sorgen sehr stabile, aber flache Hochs, für den Luftnachschub. Der kräftigste Hochdruckgürtel zieht sich in den Tropen zwischen 30 und fünf Grad Nord wie Süd um die Erde. Über den Kontinenten führt seine ständig absteigende Luftbewegung zu Dürre und Wüstenbildung. Die alten Seefahrer nutzten seine konstanten, freundlichen Passatwinde für Reisen in westlicher Richtung. Ostwinde entstehen bei absinkenden Luftmassen, wobei sich Luft erwärmt, der Druck erhöht. Der Corioliskraft gehorchend, der ablenkenden Kraft der Erdrotation, drehen Hochs auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn abwärts nach außen, auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn abwärts ebenfalls nach außen. Dadurch lösen sich Wolken auf und es kommt zur Erwärmung. Umgekehrt symmetrisch verhalten sich Tiefdruckluftmassen. Das ineinander Fließen dieser beiden dreidimensionalen Rotationsabläufe bewirkt den Luftmassenaustausch, der sich als Wetter äußert.

Am spektakulärsten kann man das bei einem Flug durch die innertropische Konvergenzzone live erleben. In der Tiefdruckrinne am meteorologischen Äquator treffen die Luftmassen der beiden Passatzonen am Boden zusammen und steigen auf. Aus dem Jet betrachtet ist diese „Rinne“

Cirrus fibratus, hohe, faserige Wolken bei großen Windgeschwindigkeiten.

ein dynamisches Gebirge aus Wolken, die wie im Zeitraffer gefilmt aufbrodeln, sich vereinen, auseinander stieben und Gucklöcher in die Tiefe eröffnen. Bis zu Flughöhen von bis zu 16 Kilometern ragen die Wolkengiganten hinauf. Respektvoll werden sie von den Piloten um oder überflogen. Die Energie der Auf- und Abwinde in den eindrucksvollen Wetterskulpturen ist gewaltig.

Geburt einer Zyklone

Aus der Wetterküche der innertropischen Konvergenzzone kommen nicht nur die – idealtypisch täglichen – lokalen tropischen Gewitter, sondern immer häufiger auch Tornados und Taifune.
Warum ist Regen immer mit einem Tief verbunden? Eine Frage, die durch die Gesetze der Physik beantwortet wird: Der atmosphärische Luftdruck nimmt mit zunehmender Höhe nach einer mathematischen Formel ab. Das hängt mit dem immer geringer werdenden Gewicht der Luftsäule, die mit zunehmender Höhe noch darüber liegt, zusammen. Steigt nun Luft, wie es für ein Tiefdruckgebiet typisch ist, auf, dehnt sie sich dabei aus. Gleichzeitig sinkt der Druck, um sich dem Umgebungsdruck in größeren Höhen anzupassen. Dieser Vorgang bewirkt eine Abkühlung mit Kondensation des Wasserdampfes. Ein Effekt, den man auch beim schnellen Öffnen einer Sprudel- oder Bierflasche beobachten kann. Es entweicht weißer Dampf – die Wolkenbildung ist nichts anderes.
Sind die Wolken sehr mächtig, dann können die Wassertropfen und, bei Temperaturen unter Null, die Eiskristalle so groß werden, dass sie zu schwer für die Aufwinde in den Wolken sind und mit der Schwerkraft Richtung Erdboden fallen – es fängt an zu regnen, zu hageln oder zu schneien.

Jetstream kurbelt an

Antriebskraft für unsere abwechslungsreiche Wetterküche in den nördlichen mittleren Breiten ist der Polarfront-Jetstream, eine konzentrierte Turboströmung, die sich in der oberen Troposphäre in diesen Breiten schlängelt. In seinen Ausbuchtungen kann der Jetstream Wüstenluftmassen hoch bis Schottland saugen, Polarluftmassen bis zum Golf verfrachten, er kann späte Eisheilige, einen Schneewinter oder einen verregneten Sommer bescheren. Bei Nordatlantiküberquerungen weichen Airliner seinem mächtigen Gegenwind nördlich oder südlich aus, während die Route zurück vorzugsweise so gewählt wird, dass man sich am Jetstream „anhängt“. Das spart Zeit und Energie. Dabei muss immer kalkuliert werden, dass Lage und Intensität des Jetstreams ständig Veränderungen unterworfen sind. Je nach

Cumulonimbus, typische Schauer- und Gewitterwolken.

aktuellem Zustand des globalen Thermikaustausches. Im Herbst und Winter geht es turbulenter zu als im Sommer.
Während die Jetstreams die Großwetterlagen bestimmen, gibt es doch auch eine ganze Reihe von mikrometeorologischen Phänomenen, die nicht nur für Sportflieger und Ballonfahrer von Bedeutung sind, sondern auch im internationalen Luftverkehr einkalkuliert werden müssen. Örtliche Wetterphänomene kommen vor allem bei stabilen Hochdruckwetterlagen zur Wirkung. So gibt es sowohl in gemäßigten Breiten als auch in den Tropen lokale Gewitter als kleine, hochreichende Tiefs. Der Unterdruck entsteht, wenn durch starke Wärmeeinstrahlung, meist am Nachmittag, „heiße Luftblasen“ wie Ballons hochkatapultiert werden und es in der Höhe zu elektrischen Spannungen mit Eiskristallen und zu Entladungen mit Blitz und Donner kommt.

Verwirrende Bergwinde

Beim Flug nicht nur Gebirge, spielt der Föhneffekt seine eigene Rolle. Ebenfalls im Gebirge gibt es am Morgen und Abend das Phänomen der Berg- und Talwinde. Sie bauen sich an den in den Frühstunden intensiv beschienenen Hängen als starke Thermik auf, die bei stabilen Wetterlagen abends umgekehrt als heftiger Bergwind zurückweht.
Analog dazu können sich bei Hochdruckwetter ausgeprägte lokale Küstenwinde entwickeln. Weil Land schneller aufheizt als die Wasseroberfläche, bildet sich hier ein lokales Tief. Die aufsteigende Luft über dem Land erzeugt eine je nach Intensität der Einstrahlung frische Brise oder kräftigen Seewind. Am Abend, wenn sich das Land schneller abgekühlt hat als das Wasser, kehrt sich die Luftbewegung um. Dieses Phänomen tritt auch an größeren Seen auf. In Kombination mit der Berg- und Talwindzirkulation sind das die besten Voraussetzungen für ein attraktives Windsurfingrevier.

Wüstenwinde

Bei der extremen Aufheizung des Wüstenbodens können sich lokale Winde entwickeln, die die leichten Sandpartikel mit in die Höhe wirbeln zum Sandsturm. Der gefürchtete „Haboob“ entsteht, wenn in einem Gewitter Kaltluft regelrecht herabstürzt und auf ihrer Vorderseite Sand bis zu 100 Metern Höhe emporschleudert. Das in der Ostsahara so getaufte Naturschauspiel kennt man auch in den Wüsten der südwestlichen USA. „Willy-Willy“ heißen die Staubteufel der australischen Aboriginees, Chergui oder Samum die Sahara-Winde, die als Leste, Leveche, Marin, Autan und Schirokko den Wüstenstaub regelmäßig zu den nördlichen Mittelmeeranrainern transportieren. Der Harmattan der Westsahara kann so stark werden, dass seine Staubfahnen, die zuweilen bis zum Amazonas driften, 2000 Kilometer weit über dem Atlantik zu sehen sind.

Nebel und Hochnebel

Apropos Sicht: Sie ist trotz modernster Instrumentenausrüstung immer noch wichtig in der Fliegerei, zumindest am Boden. Nebel bedeutet das größte Hindernis. Diese Wettererscheinung ist nichts anderes als eine Wolke am Boden. Als Hochnebel zeigt sie sich eine Etage höher. Wenn sich die trüben Luftmassen über Städte und Airports legen, dann kann es schon mal heissen: Durchstarten.

Cumulus congestus, hoch reichende Quellwolken.

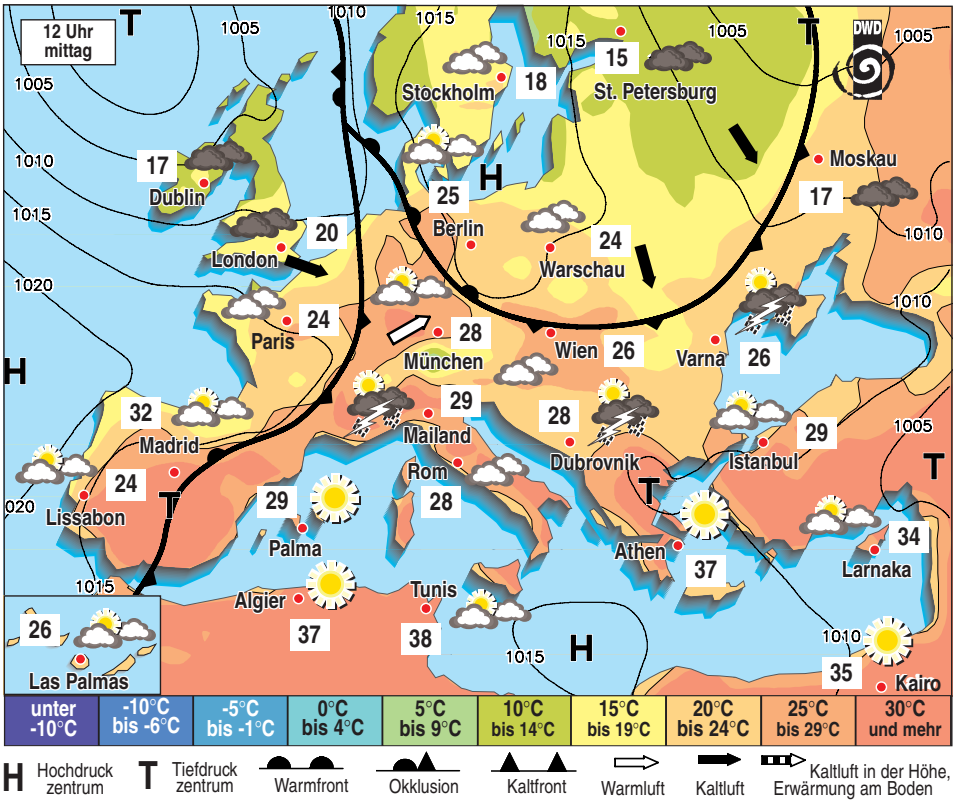
Schöner Flug – in jedem Klima

Sonne über den Wolken sehen Piloten und Passagiere – fast bei jedem Wetter. Das aber zeigt sich in unterschiedlichen Breiten – und Höhen – mit seinen ganz eigenen Launen.

In unseren „gemäßigten“ Breiten, in denen der Großteil der Flugbewegungen stattfindet, sind bis auf Reiseflughöhe erst einmal die unvermeidlichen Fronten der Westwindzone zu passieren. Ihre Marschrichtung und Geschwindigkeit werden ziemlich zuverlässig vorhergesagt. Was über den Beobachter am Boden „hinwegzieht“, erlebt man beim Flug dynamischer und dreidimensional: Die schwerere Kaltluft schiebt sich unter die leichtere warme Luft und transportiert sie in die kalte Höhe. Es kommt zu schneller Kondensation. Warme Luft hingegen gleitet langsamer an kalter auf und macht weniger Wirbel.
Fronten sind die Trennflächen zwischen Warm und Kalt, wobei dies relativ zueinander zu verstehen ist. Es handelt sich auch nicht um scharfe Linien, wie die Symbole auf der Wetterkarte vermuten lassen, sondern um Übergangszonen von 100 bis 200 Kilometern horizontal und 1000 bis 3000 Meter Mächtigkeit.

Gute Sicht

Ein Flug im Kaltluftsektor verspricht gute Sicht – glasklar in polaren Luftmassen, sonst mit Cumuluswolken, die im Tagesverlauf mehr und dicker werden. Sie können Schauer als Regen, Graupel oder Hagel bringen. Der Wind bläst turbulent böig. Kaltluftzonen können über dem Meer bis in zu sechs Kilometern Höhe reichen, über Land sind sie meist nur ein bis zwei Kilometer hoch.
Dagegen ist der Flug im Warmluftsektor durch vergleichsweise schlechtere Sicht (wegen des höheren Wasserdampfgehalts) und Schichtbewölkung gekennzeichnet. Im Tagesverlauf löst sich die Wolkendecke dann auf, jedenfalls tendenziell, wie die Meteorologen sagen. Danach birgt die Warmfront Land- und Sprühregen, im Winter Schnee. Der Wind bläst stark, aber regelmäßig mit geringer Turbulenz. Beim Durchflug einer Kaltfront dreht der Wind brüsk von West-Südwest auf Nordwest-Nord.



Alles auf einen Blick: Wetterkarte mit Hochs und Tiefs über Europa

Spiel mit dem Jetstream

Zwar gilt bei Tempo 900 im Flugzeug erst recht die Radlerweisheit: „Der Wind kommt immer von vorn“ – auch wenn er, relativ betrachtet, von hinten schiebt oder von der Seite drückt. Im Kräfteparallelogramm stellt sich dar, wie viel Seitenwind gegengesteuert werden muss, beziehungsweise wie stark der faktische „Gegenwind“ bläst, gegen den anzufliegen ist. Das Resultat wirkt sich vor allem auf die Treibstoffberechnung und entsprechende Routenfestlegung aus.
In Reiseflughöhe, zwischen 9.000 bis 12.000 Metern, kann der so genannte Jetstream einen Flug erheblich beeinflussen. In Ost-West-Richtung als Gegenwind und umgekehrt als Rückenwind. Auf seiner Achse kann der Westwindmotor eine Geschwindigkeit von bis zu 140 Knoten (zirka 250 Kilometer pro Stunde) erzeugen. Gelegentlich treten in der Nähe von Jetstreams tückische Turbulenzen außerhalb jeglicher Wolken auf, die als „Clear Air Turbulence“ (CAT) gefürchtet sind und meist ohne Vorwarnung spürbar werden. Auf dicht beflogenen Routen, beispielsweise über dem Nordatlantik, informieren sich die Piloten gegenseitig per Funk, wo und in welcher Höhe

Wetter am Bildschirm. Vor jedem Flug, beim sogenannten Briefing, können sich die Piloten die Wetterinformationen aus dem Zentralrechner abrufen.

sie einen CAT getroffen haben. Andere „Jets" werden von charakteristischen Wolken begleitet, die dem erfahrenen Piloten die Achse maximaler Winde anzeigen.
Die Fluggesellschaften nutzen die Vorteile der Jetstreams systematisch. Das erfordert eine clevere, individuelle Flugtaktik.Trifft ein mit „Rückenwind" fliegender Pilot auf einem „Jet", versucht er möglichst nahe an dessen Achse zu bleiben. Die Beobachtung des Thermometers zeigt ihm an, wie weit er sich entfernt. In Richtung Kaltluftseite nimmt die Windgeschwindigkeit rasch ab und er riskiert, in starke Turbulenzen zu geraten. Steigt die Temperatur an, ist er auf der Seite mit ruhigerer Luft.
Über dem Pazifik ermöglicht diese Taktik regelmäßige Non-Stop-Flugverbindungen zum Beispiel zwischen Tokio und Honolulu. Zurück gleitet man logischerweise in die Kaltluftzone ab, um der kräftigen Gegenwinddüse auszuweichen.
Auch über dem Nordatlantik, wo der Jetstream zwar nicht so beständig ist und die Flugroutenplanung wegen der höheren Verkehrsdichte weniger flexibel, werden durch das „Jet-Anhängen" immerhin noch Zeit- und Treibstoffeinsparungen von zehn bis 20 Prozent bei einem Flug von Nordamerika nach Europa erreicht.

Regenbogen über dem Airport München.

Non-Stop Sunrise

Umgekehrt erfolgt der Flug von Nordeuropa nach Nordamerika meist über die „Polarroute". Auf der Karte ein „Bogen", wirkt sie sich auf dem Globus auch als kürzere Verbindung zwischen zwei Punkten aus. Vor allem im Winter kann man hier das stabile Polarhoch mit leichten Ostwinden und guter Sicht nutzen. Am Fensterplatz bietet es zudem das Schauspiel eines Non-Stop-Sonnenaufgangs. Nicht minder beeindruckend ist der Flug durch das äquatoriale Extrem, die „innertropische Konvergenzzon“ (ITCZ). Wo die Ostwinde der subtropischen Hochdruckgebiete aneinander stoßen, erzeugen sie Cumulonimbus Wolkengebirge von faszinierender Dimension und Dynamik. In dieser instabilen Zone, die über der aufgeheizten Landmasse Asiens als „Monsunfront“ weit nach Norden ausscheren kann, drohen aber auch kaum vorhersagbare heftige Gewitter, schauerartige Niederschläge und Windturbulenzen. Ihre Höhe von bis zu 18 Kilometern geht oft über die übliche Faustregel, Schlechtwettergebiete möglichst zu überfliegen, hinaus. Dann ist die Ausweichvariante „Umfliegen“ angesagt.
Beides gilt auch für die Wärmegewitter (Konvektionsgewitter) und Frontgewitter in unseren Breiten. Wenn elektrisch aufgeladene Wolken, ob frontal oder lokal, sich mit Blitz und seinem akustischen Begleiter Donner entladen, wird es turbulent. Der Pilot wird schon wegen der erhöhten Vereisungsgefahr einem Gewitter immer auszuweichen versuchen oder an der Gewitterfront entlang eine geeignete Route mit weniger thermischer Dynamik suchen. Jedes Ausweichmanöver, das Verlassen der angegebenen Flugroute oder –höhe, werden mit der zuständigen Bodenkontrolle abgesprochen.
Wenn die jeweilige Verkehrssituation es zulässt, erhalten die Piloten die Freigabe für neue Strecken und Höhen. Muss der Pilot dennoch, vor allem bei einem Landeanflug, durch ein gewittriges Gebiet hindurch, braucht kein Fluggast mehr als ein verstärktes Rütteln zu fürchten. Gegen Blitzeinschläge wirkt die Metallhülle eines Verkehrsflugzeugs als "Faradayscher Käfig",an dem Elektriziät abgeleitet wird.
Dagegen hemmt zäher Nebel auch die Luftfahrt. Der ist manchmal nämlich so dick, dass der sichere Instrumentenlandeanflug (ILS= Instrumental Landing System) wegen Unterschreitung der erforderlichen Pistensichtweite abgebrochen werden muss. Dann wir notfalls ein Ausweichflughafen angesteuert. Der Umweg dorthin ist grundsätzlich in jeder Flugplanung einkalkuliert. ■

Grün – Gelb – Rot: Wetterradar in der Nase

Vertrauen in die Flugwettervorhersage ist gut – zusätzliche Kontrolle im Cockpit besser. Als wichtigste Informationsquelle für atmosphärische Tücken erweist sich deshalb heute das „Bordwetterradar" in jedem Verkehrsflugzeug als unverzichtbar. Die Antenne in Form eines Hohlspiegels sitzt in der Bugnase und macht theoretisch 300 Meilen (zirka 480 Kilometer) voraus das Wetter sichtbar.

Auch bei guter Fernsicht sieht man es den Wolkeninseln, die am Horizont auftauchen, nicht unbedingt an, welche Turbulenzen in ihnen stecken können. In Gewitterzonen etwa Aufwindkamine mit bis zu 150 Kilometern in der Stunde und gleich daneben mit gleicher Geschwindigkeit abwärts. Um solchen oder anderen Wetterkapriolen zuverlässig aus dem Wege zu fliegen, muss der Pilot es nicht nur „in der Nase haben", sondern auch das technische Equipment in der Flugzeugnase: das Wetterradar.

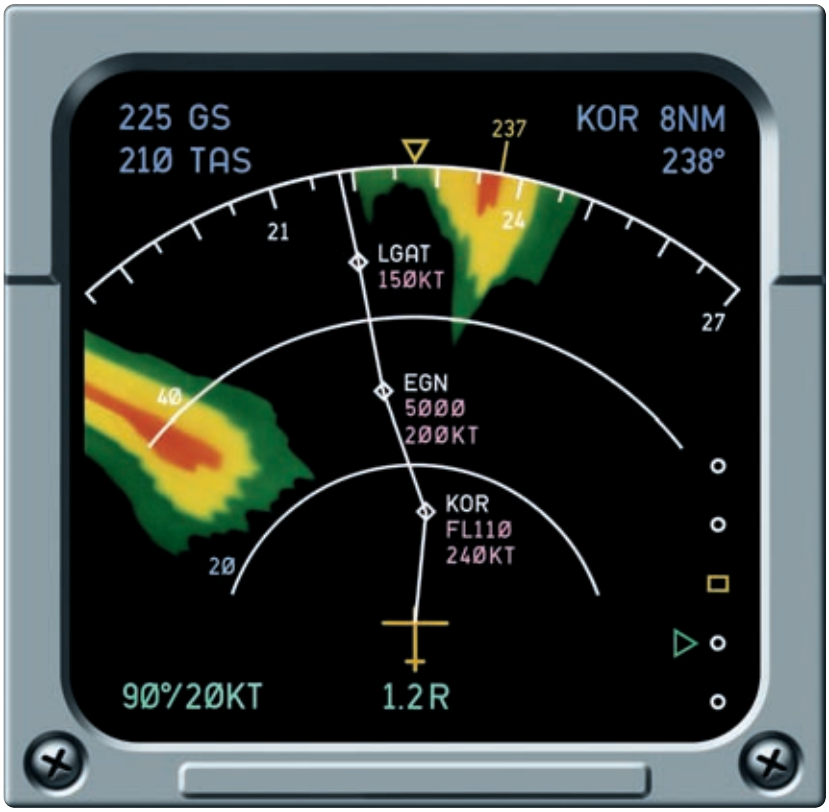
Batman im Bug

Die Radarantenne in Flugzeugschnauzen funktioniert analog denen von Fledermäusen. In Natur und Technik werden durch Reflexion ausgesandter Strahlen Hindernisse – und fliegende Objekte geortet. Was die Nachtjäger im Tierreich längst zur Beutepeilung wie zur Blindnavigation um Hindernisse praktizierten entdeckte die Luftwaffe im Zweiten Weltkrieg. Bei nächtlichen Verfolgungsjagden erschienen manchmal offenbar nicht die angepeilten feindlichen Flugzeuge, sondern auch bestimmte Wolkengebilde auf dem Radarschirm. Diese Erkenntnis wurde zur systematischen Entwicklung von Wetterradar an Bord und am Boden genutzt.

Das Radar an Bord von Flugzeugen – die Abkürzung von „radio detecting and ranging" – nutzt elektromagnetische Wellen im Zentimeterbereich. Die Abstrahlung ist elektronisch getaktet, so dass die Antenne in den „Sendepausen" auf Empfang umschaltet. Die Impulse werden in Abständen von nur einer bis 5,5 Mikrosekunden gesendet. Treffen die Strahlen auf Wassertröpfchen, werden sie reflektiert, von der Antenne wieder empfangen, und die Impulse auf dem Radarschirm als Schnittbild einer Wolke abgebildet. Je mehr Wasser, desto stärker ist das Radarecho. Besonders stark ist die Reaktion bei Gewitterwolkenbergen, aus denen sich in wenigen Minuten die Wassermassen einer mittleren Talsperre ergießen können. Allerdings heißt viel Wasser nicht unbedingt auch viel Turbulenz. So erzeugt starker, gleichmäßiger Regen, den man ohne Bedenken durchfliegen kann, ein stärkeres Echo als die gefürchteten dynamischen Luftschläuche, aus denen Wassertropfen und Hagelkörner seitlich herausgeschleudert werden.

Durch Schwenken des Radarstrahls erhält der Flugzeugführer eine ganze ▶

Antenne für das Wetterradar hinter der aufgeklappten Bughaube eines Verkehrsflugzeugs.



Wetterradaranzeige im Cockpit. Die gelben und vor allem roten Flächen zeigen hohe Wasserdichte an (Beispiel Foto unten). Die Flugroute (weiße LInie) führt an diesen Gebieten vorbei.

Serie von Schnittbildern, die nicht nur die Konturen, sondern auch das Innenleben der Wolkenfront verraten und manchmal sogar einen Blick dahinter gewähren. Der Pilot kann dabei zwischen verschiedenen manuellen Arbeitsmodi wählen, was die Entfernung und auch die Intensität des Wetterechos betrifft, oder auf Automatik greifen. Die Funktion TGT (T steht für Target, Ziel) zum Beispiel zeigt starke Stürme im Entfernungsbereich von 110 bis 220 Kilometern an.

Dopplereffekt

Außerdem werden modifizierte Impulspaare ausgestrahlt, mit denen der Dopplereffekt zum Einsatz kommt. Unter Dopplereffekt versteht man die Verzerrung der Wellenlänge bei Bewegung. Sie gibt Aufschluss über Richtung und Geschwindigkeit des bestrahlten Objekts.
Bei Schallwellen hört man diesen Effekt zum Beispiel. Bei einem mit gleichmäßigem Tempo vorbeifahrenden Auto – von der Lautstärke abgesehen – als sich erhöhendes und dann tiefer werdendes Geräusch. Im Radarbereich hat sich die Auswertung dieses physikalischen Prinzips bei Fledermäusen für den blinden Fliegenfang seit Jahrmillionen bewährt – und bei den Ordnungshütern unserer Tage millionenfach als „Radarfalle" für Temposünder.

Ampelprinzip

Der Wetterradarcomputer berechnet alle Daten und präsentiert seine Analyse dem Piloten nach dem Ampelprinzip: Grüne Flächen auf dem Wetterradarschirm sind harmlose Wolken, bei Gelb heißt es, Vorsicht walten lassen, und Rot ist das Signal für eine eventuelle Kursänderung, um eine Schlechtwetterfront zu umfliegen, beziehungsweise ein Gewitter im Zickzackkurs zwischen den Zellen zu durchfliegen.
Zwölfmal pro Minute tastet das Wetterradar einen Winkel von 60 Grad beiderseits des Flugwegs bis zu 150 Meilen (zirka 450 Kilometer) voraus ab. Einen Wasserwirbel über Friesland erkennt der Pilot schon über Düsseldorf. Gewitter über der Camargue schon in Höhe von Genf.
Das Radarbild im Cockpit wird mit den Daten aus dem Bordcomputer so überlagert, dass alle am Boden und im Cockpit zur Verfügung stehenden Informationen für einen sicheren und angenehmen Flugweg genutzt werden. Im Abstand von 30 Minuten erhalten die Piloten an Bord automatisch über das so genannte ARCAS (Aircraft Communication Adressing and Reporting System), eine Art Telexsystem, aktualisierte Wetterinformationen auf der Strecke und von den anzufliegenden Zielflughäfen. Die Informationen kommen bei Lufthansa aus einem Zentralrechner in Frankfurt. Sie werden über so genannte VHF -Sender in die Flugzeuge übertragen oder bei Atlantikflügen beispielsweise per Satellit. Über Funk kann der Pilot darüberhinaus jederzeit Wetterinformationen abrufen. Auch vom Boden aus wird das Wetter per Radar überwacht, so dass die Lotsen in den Kontrollstellen den Piloten genaue Angaben über das Wetter auf der von ihnen beflogenen Strecke geben und sie gegebenenfalls vor Schlechtwettergebieten warnen, beziehungsweise sie um eine Wetterfront herumführen können. ■

Nicht nur zur Winterzeit: Anti-Icing in frostigen Zonen

Eis und Schnee stellen für den Flugbetrieb eine besondere Herausforderung dar – und das nicht nur zur Winterzeit. In der Höhe herrscht Väterchen Frost das ganze Jahr über. Das könnte unter bestimmten Einflüssen an einem Flugzeug zur Vereisung führen. Aber mit High-Tech hat man die Gefahr heute unter Kontrolle. Am Boden sorgen Anti-Icing-Spezialisten mit High-Chem für „saubere" Verhältnisse bei jeder Witterung.

Eis ist nichts anderes als gefrorenes Wasser. Die Regel, dass es sich bei Null Grad in einen festen Zustand ändert, gilt nur für Meereshöhenniveau. Denn: Der Kristallisationspunkt sinkt mit abnehmendem Luftdruck in zunehmender Höhe beziehungsweise variiert in den jeweils durchflogenen Luftsektoren. Darüber hinaus sind in der sauberen Höhenluft die notwendigen Kristallisationskerne, zum Beispiel Staubpartikell nicht in der Menge vorhanden wie in Bodennähe. Deshalb sind feuchte Luftschichten mit „unterkühltem Wasser“ in der Flugatmosphäre als potentielle Vereisungsgefahr bis in große Höhen präsent. Immerhin werden in den beim Reiseflug typischen Flughöhen von rund 30.000 Fuss (etwa 10.000 Meter) im Sommer Temperaturen von etwa 30 bis 35 Grad Minus und im Winter von 50 bis 60 Grad Minus erreicht. Trifft nun ein Flugzeug – beispielsweise im Sinkflug beim Durchfliegen von Wolken – auf unterkühltes Wasser, gefriert das Wasser an den exponierten Flächen des Flugzeugs sehr schnell.

Eispanzer wachsen schnell

Hat sich das Eis erst einmal angesetzt, würde ohne „Antiicing“-Technik diese erste Reifschicht rasch bis rasend schnell, abhängig von Tropfendichte und -größe sowie der Geschwindigkeit des Flugzeugs, zulegen: Binnen einer Minute kann sich eine mehrere Zentimeter dicke, massive Eisschicht aufbauen, im Zeitraffer anschaulich gemacht an den bizarren Skulpturen an einer Seilbahnanlage in einer Winternebelnacht. Die größte potentielle Vereisungsgefahr für Flugzeuge bergen Cumulonimbus (also mutmaßliche Gewitter-) Wolken und Temperaturen um minus fünf bis zehn Grad. Cumulonimbuswolken enthalten die

Enteisung einer Boeing 747-400.

größten Mengen an unterkühltem Wasser im Vergleich zu allen anderen Wolken. Deshalb besteht durch sie auch die größte Vereisungsgefahr. Bei niedrigerer, also in der Regel in größerer Flughöhe, ist der Eisansatz brüchig-schneeartig und leichter, bei Temperaturen gegen Null Grad taut er tendenziell ab, weil der Gefrierprozess wiederum Wärme freisetzt.

Bei Vereisung schmilzt die Aerodynamik dahin

Ein von Eis überzogenes Flugzeug verliert an Auftrieb und hat einen wesentlich höheren Luftwiderstand. Die Funktion von Steuerflächen und auch der Antennen ist erheblich beeinträchtigt.
Damit sich Eis erst gar nicht festsetzen kann sind Verkehrsflugzeuge seit Jahrzehnten schon mit einer Enteisungsanlage ausgestattet. Beim Flug durch die kritischen Zonen bläst sie heiße Luft aus den Triebwerken durch die Vorderkanten der Flügel und entlang der Steuerflächen. Zusätzlich sind Cockpitfenster und andere neuralgische Stellen mit einem elektrischen Heizungssystem ausgestattet, so dass alle mit der Eisbildung in der Luft drohenden Gefahren zuverlässig gebannt sind.

Am Boden gestaltet sich das Enteisungsmanagement vor allem bei winterlichen Wetterlagen aufwendiger. Selbst durch die eisträchtigsten unteren Luftschichten „sauber" gelandete Flugzeuge setzen in der kaltfeuchten Bodenluft auf Parkposition schnell Eis an.
Dicke Zapfengirlanden können sich an den Tragflächen bilden, mit denen schon wegen des Gewichts nicht zu starten wäre. Bei Klareisüberzug, mit dem zum Teil auch Flugzeuge bis zu 15 Grad plus Bodentemperatur landen, müssen chemische Mittel eingesetzt werden. Dabei wird aber nicht nur auf die eisbrechende Wirkung, sondern besonders auch auf die Umweltverträglichkeit geschaut. In einer Art „Vorwaschgang“ –bis drei Grad minus – reicht noch die Sprühung mit heißem Wasser, darunter mit einem Frostschutzmittelgemisch, um die Eisplatten von oben nach unten aufzuweichen, abzusprengen und zu schwemmen. Dann folgt der zweite, präventive „Antiicing"-Gang, der den Flugzeugrumpf mit einer konzentrierteren ADF (Anti Deicing Fluid) Schutzhaut umgibt, die es auch nach dem nächsten Start noch immun für die Vereisungsgefahren macht.

Entscheidung über dem Boden

Die Landeanflüge auf alle größeren Flughäfen Mitteleuropas erfolgen heute als Präzisionsanflüge mit Hilfe des Instrumentenlandesystems (einer ILS-Funknavigationsanlage).
Dabei werden die Flugzeuge mit Hilfe eines Landekurs- und Gleitwegsenders im Endanflug (zirka den letzten 15 bis 20 Kilometern) zur Landebahn geführt.
Abhängig von der Qualität der Sendeanlagen, der Hindernissituation, auch hinsichtlich der Flugzeugausrüstung und Qualifikation der Piloten sind damit „Allwetterlandungen“ bei unterschiedlich schlechten Sichtverhältnissen möglich. Dazu werden nach internationalen Festlegungen drei Betriebsstufen beziehungsweise Kategorien definiert: Cat I bis Cat III.
Zwei wesentliche Parameter dabei sind Wolkenuntergrenzen, das heißt Vertikalsicht entsprechend Entscheidungshöhe und Sichtweite (Horizontal- oder Landebahnsicht). Mit Abnahme dieser Werte steigt die Kategorie entsprechend folgender, vereinfachter Tabelle an.

Kategorie	**Entscheidungshöhe (m)**	**Landebahnsicht (m)**
I	über 60	über 550
II	unter 60 bis 30	unter 550 bis 300
III (a-c)	unter 30	unter 300

Derzeit sind für Lufthansa Flugzeuge gemäß Genehmigung durch das Luftfahrt-Bundesamt als niedrigste Entscheidungshöhe 15 Fuß (= 4,6 Metern) und als Mindest- Landebahnsicht 125 Meter (Cat III b) zugelassen.

„Aircondition“ – Klimatechnik zum Abheben

Draußen ist es kälter als am Südpol, trockener als in der Sahara, die Luft so dünn und der Luftdruck so niedrig, dass kein Lebewesen hier ungeschützt auch nur einige Sekunden überleben könnte. Drinnen in der Kabine, unter „Aircondition” in über 10.000 Meter Höhe, relaxen die Passagiere dagegen in einem angenehmen Raumklima. Sie reisen in einer synthetischen Klimakapsel mit ganz eigenem, immermilden „Wetter”.

Die Schaffung eines guten Bordklimas ist für das Funktionieren des internationalen Flugverkehrs ebenso wichtig wie die Beherrschung der meteorologischen Situationen. Sie ist Voraussetzung für den weltweiten Passagierflugverkehr überhaupt. Die Anforderungen an die Klimatechnik unter „airconditions” im Wortsinn von Flugbedingungen sind anders, höher, als für Airconditioning in Kaufhäusern, Büro- und Chefetagen, Konzertsälen oder zum Beispiel auch in Abflughallen.

Die erste Herausforderung ist das technische Management des gewaltigen Luftdruckunterschieds zwischen Boden und Reiseflughöhe. Von rund tausend Millibar auf Höhe Null hat sich der Luftdruck in wenigen Minuten bereits auf 18.000 Fuß (5.450 Meter) halbiert – also etwa dem Niveau, auf dem Himalayabezwinger Basislager einrichten, um für die Gipfelbezwingung rote Blutkörperchen als Sauerstoffträger anzureichern. Auf 34.000 Fuß (10.300 Meter) beträgt der Luftdruck nur noch ein Viertel und der „Sauerstoffpartialdruck“, welcher nötig ist, um das menschliche Blut zu versorgen, ist deutlich unterschritten. Dieses gilt für das Leben in der „freien“ Atmosphäre“.

Für die Flugkabine wird dieser Luftdruckabfall so reguliert, dass der Passagier nur den einer Seilbahnfahrt auf einen mittleren Alpengipfel zu verkraften hat. Der tatsächliche Druckabfall außerhalb der Kabine ist viermal höher und verläuft auch schneller. So hält eine Boeing 747 in 12.510 Meter Höhe einen Kabinen-

An der Rumpfdecke eines Großraumflugzeugs: Leitungen für die Luftzufuhr aus der Klimaanlage.

Die Temperatur kann in der Flugzeugkabine individuell geregelt werden.

Luftdruck, der lediglich 2.250 Meter Höhe über Normal Null auf der Erde entspricht. Dabei vergrößert sich der Umfang der Außenhaut des gleichsam „aufgepumpten" Flugzeugs – bei einem Airbus 340 zum Beispiel um 26 Zentimeter!

Klick für freie Ohren

Der zwar gedrosselte, aber dennoch relativ rasche Druckabfall beziehungsweise -anstieg macht sich bei Aufstieg und Sinkflug normalerweise mit einem leichten Klicken in den Ohren bemerkbar. Auch bei einer Seilbahnfahrt muss aber mancher „Gipfelstürmer" schon tüchtig schlucken, um den Druck aus den Ohren zu bekommen. Dieses Phänomen kann sogar schon bei Autofahrten im Mittelgebirge über gerade mal 400 Meter hohe Buckel auftreten. Außer Schlucken hat sich auch aktives Gähnen und vor allem Kauen, zum Beispiel Kaugummis, gegen „taube Ohren" beim Fliegen bewährt. Manche schwören auf Nasezuhalten und „nach innen Pusten".

Gut Luftholen

In kaum einem anderen geschlossenen Raum – ob Disko oder Sporthalle – steht dem Menschen so viel und so saubere Luft zur Verfügung wie an Bord eines modernen Jets. Das liegt zum einen daran, dass die regulierte Zufuhr von reinster Höhenqualität ist und hundert Prozent sterilisiert aus den 300 Grad heißen Triebwerken abgekühlt wieder eingeleitet wird. Zum anderen sorgt ein elektronisches Umwelt-Steuerungs-System („Environmental Control System") dafür, dass die gesamte Mini-Atmosphäre an Bord zwanzigmal pro Stunde ein ausgefeiltes Filtersystem durchläuft. Auch wenn einige flugtypische „Odeurs" das System passieren, bleiben die Werte der Keimbelastung selbst in Grippezeiten zum Teil unter denen in OPs erlaubten.
In einem Airbus A340 zum Beispiel zirkulierten durch ein verzweigtes Kanalsystem 3.300 Liter Luft pro Stunde. Selbst bei voll besetzter Maschine steht damit jedem Passagier 80mal mehr Sauerstoff zur Verfügung als sein Minimalbedarf bei ruhender bzw. leichter Aktivität beträgt (14 bis 18 Liter pro Stunde). Darüber hinaus ist in jedem Flugzeug mindestens eine Ersatzklimaanlage vorgeschrieben und für medizinische Notfälle zusätzlich Sauerstoffflaschen. Die ebenfalls immer noch obligatorischen Sauerstoffmasken kommen deshalb im modernen Luftverkehr praktisch nicht mehr zum Tragen.

Recyclingeffekt

40 Prozent der „verbrauchten" Bordluft wird die Feuchtigkeit entzogen, die durch Atemluft und Ausdünstung entsteht. Mit Aircondition-Packs aufgemischt wird sie im „Recirculation"-Verfahren in die Kabine zurückgeführt. Neben der Druckregulierung stellt der Luftwasserhaushalt die Bordwettermacher vor die größte Herausforderung. Der Bedarf für die Klimatisierung eines Großraumjets auf 35 Prozent Luftfeuchtigkeit analog einer entsprechend dimensionierten Klimaanlage in Gebäuden entspricht einer Tonne Wasser. Die Luft in der oberen Troposphäre enthält so gut wie keins. Es am Boden zu laden käme allein schon wegen der Treibstoffkosten sehr teuer. Außerdem würde eine konventionelle Luftbefeuchtung die Bildung von Kondenswasser und damit die Korrosion der Außenhaut und anderer Metallteile begünstigen. Deshalb beschränkt man sich auf die „natürlichen" Ressourcen: Ohne unsere „Biomasse" beträgt die Luftfeuchtigkeit an Bord nur zwei Prozent. Gewohnt sind wir 40 bis 70 Prozent. Bis alle Mäntel und Bordcases verstaut und alle angeschnallt sind, ist der Feuchtigkeitsgehalt in der Kabine bereits auf 15 Prozent gestiegen. Dieses relativ „trockene" Ambiente kann ohne gesundheitliche Bedenken während der gesamten Flugphase beibehalten werden. Vor allem bei Langstreckenflügen empfiehlt sich aber regelmäßiges Trinken, in zehn Stunden etwa anderthalb Liter. Am besten sind stilles Mineralwasser, Saft oder Tee; Kaffee und alkoholische Getränke wegen ihrem entwässernden Effekt besser nur in Maßen. Bei Alkohol schon deshalb, weil er unter geringerem Luftdruck dreimal stärker wirkt!

Wind an Bord

Weniger problematisch als in Kenntnis der Eiseskälte draußen zu vermuten wäre, ist die Regulierung der Temperatur dafür umstrittener! Während sie an der Außenhaut 50 bis 60 Grad minus beträgt, wird 300 Grad heiße Luft aus den Turbinen für die Kabinen auf 24 Grad plus herabgekühlt. Dass mancher dies als zu warm, ein anderer als zu frisch empfindet, liegt einmal an individuellen Wärmegewohnheiten. Auch in Büroräumen kann selbst die ausgeklügelste Klimatechnik es nicht jedem Recht machen. An Bord von Flugzeugen ist außerdem die Luftzirkulation stärker, was mancher Flugreisende als Zug empfindet. Um Kältebrücken zu begegnen, die trotz bestmöglicher Isolation zum Beispiel an der Kabinenwand entstehen würden, muss die Luft stärker durchmischt werden, als für den Austausch notwendig wäre. „Windempfindliche" sind vor allem bei Nachtflügen, weil die Körpertemperatur beim Schlaf sinkt, gut beraten, eine bequeme leichte Jacke zur Hand zu haben. Gegen Frösteln und auch Kribbeln in den Beinen vom langen Sitzen helfen außerdem leichte gymnastische Übungen, Strecken und immer wieder mal Aufstehen.

Der Sonne zu nahe

Glaubt man der griechischen Mythologie, dann scheiterte der erste Flugversuch des Menschen daran, dass es mit zunehmender Höhe wärmer wird. Bei der Flucht von Dädalus und Ikarus mit selbst gebasteltem Fluggerät – mutmaßlich non stop von Kreta nach Süditalien – kam der Sohn angeblich der Sonne zu nah, das Wachs seiner „Tragflächen" schmolz, und er stürzte über der Ägäis ab.

Aristoteles wusste es schon besser. Seine „Meteorologica" ist die früheste bekannte Systematisierung des Wissens über die Erscheinungen am Himmel und in der Atmosphäre. Was in den vier antiken Büchern über Wetter steht, blieb bis in die Neuzeit grundlegend. Weder Leonardo da Vinci um 1500, noch dem Ulmer Flugpionier Berblinger, der ihm 1811 die kläglichen Vogelflugimitationen mit Bizepskraft nachmachte, stand neueres Informationsmaterial über das Geschehen in den Lüften zur Verfügung.

Denn erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts entstand die Meteorologie als moderne Wissenschaft. Durch Einbeziehung mathematischer Methoden und physikalischer Prinzipien bekam sie ab Mitte des Jahrhunderts stürmischen Auftrieb. Mit der Entdeckung der Thermodynamik starteten auch die ersten Gleitflieger. Zwar waren Ballons, 1783 die unbemannte Mongolfiere, und im gleichen Jahr Jaques A.C. Charles, bereits bis 3000 Meter emporgestiegen. Dennoch war der 300 Meter weite Hüpfer von Otto Lilienthal mit dem ersten Fluggerät mit starren Tragflächen eine Sensation. Seine Versuchsflüge (1891-1896) bildeten die Grundlage für den modernen Segelflug. Die erste Wetterkarte wurde anlässlich der ersten Weltausstellung 1851 in London aufbereitet. Nicht nur in der Sportfliegerei ist die Segelflugtechnik bis heute aktuell. So dient das Segelflugzeug als die beste Beobachtungsplattform zur Erkundung der atmosphärischen Wellen.

1903 starteten die Gebrüder Wright mit einem Doppeldecker mit 12-PS-Benzinmotor das Motorflugzeitalter 1905 die Gebrüder Voisin die Flugzeugfabrikation. Und, nachdem Blériot den Ärmelkanal überflogen hatte, fand in Reims im August 1905 bereits der erste Weltflugtag statt. Ob über den Kanal oder schon kurz darauf sogar über den Atlantik: Alle Flugpioniere flogen nur nach Sicht. Sie hielten sich an den Verlauf von Straßen und Eisenbahngleisen, an Küstenlinien und Bergzüge – und natürlich an Wolken, denen man aus dem Wege zu fliegen hatte.

Die erste Motorfliegerei war, wie heute noch die Sportfliegerei in den wetterlaunigen Höhen bis zirka 3.500 Meter, von Bodensicht und „gutem" Wetter überaus abhängig.

Die neuen Erkenntnisse des Zusammenhangs von Luftdruck und Wind konnten erst durch Hilfe der Fliegerei für eine systematische Wettervorhersage genutzt werden.Ihre Beobachtungen ergänzten sinnvoll die Messdaten von Ballons, die von den neu entstandenen Wetterstationen zweimal täglich ausgesandt wurden. Die drahtlose Telegraphie ermöglichte die Vernetzung aller so gewonnener Daten zur Aufbereitung der ersten Wetterkarten.

Die technologische Entwicklung beschleunigte sich in den Weltkriegen. Starkwindzonen in großen Höhen, Jetstreams genannt, wurden erst von Flugzeugen aus entdeckt. Durch vermehrten Einsatz aerologischer Sonden und Auswertung der Beobachtungen von Piloten registriert, die mit ihren Maschinen westwärts manchmal nicht „vom Fleck" kamen. Die Installation von Radarstationen und seit den 60er Jahren auch der Einsatz von Satelliten hat inzwischen eine weltweite Kooperation in der Flugsicherung ebenso wie in der globalen Flugwettervorhersage ermöglicht. ■

Bevor Dädalus mit Ikarus seinen Flug beginnt, warnt er seinen Sohn. So dargestellt in einem Gemälde von Carlo Saraceni (1579 - 1620).

Der Frosch – König der Wettervorhersage?

Sechster Sinn für jeden Temperatursturz

Tiere gelten seit Alters her als die besseren Wetterpropheten. Dass in Bauernweisheiten viel Wahrheit steckt, bestätigt auch die jüngste Verhaltensforschung. So zeigt zwar Schwanzschlagen der Kuh im Stall nicht unbedingt schlechtes Wetter an, aber sie gibt definitiv weniger Milch, wenn ein Tief im Anzug ist. Vor Gewittern verkriechen sich selbst Etagenkatzen frühzeitig unter dem Bett – und die Schwalben fliegen tiefer, nicht nur weil ihre Beute, die Insekten, es auch tun. Auch wenn nur der Kuckuck weiß, warum, sind meteorologische Höchstleistungen vor allem in der Insekten- und in der Zugvogelwelt unbestritten.

Aber wie steht es mit dem Frosch, dem sprichwörtlichen Wettervorhersager? Er ist aus der Mode gekommen: Der kleine grüne Laubfrosch, der auf seiner Leiter-Skala angeblich als lebendiges Barometer auf- und abspaziert. Mit Recht. Denn im Einmachglas taugt der hübsche, etwa fünf Zentimeter große Lurchvertreter allenfalls als Wetteranzeiger, also nicht mehr als ein Blick aus dem Fenster! Ist es schön, sitzt er unternehmungslustig oben, bei schlechtem Wetter hockt er dumpf darnieder – so, wie er sich auch in der Natur verhält.

Frosch im Cockpit ist „quak"

Als Baumfrosch mit Haftscheiben an seinen – je drei mal zwei – Fingern und Zehen ausgestattet, erreicht das amphibische Leichtgewicht die exponiertesten Zweige und Blätter von Sträuchern und klimmt gar bis in Baumwipfel in die Regionen, wo Wolken aus Mücken stehen. Dort kann er sich mit seiner klebrigen, flinken Zunge blind satt fischen. Schwirren keine Insekten mehr, etwa, wenn es zu regnen beginnt, verzieht sich der grüne Klettermax von seinem luftigen Fressplatz tunlichst hinunter ins Laub, wo er seinerseits vor seinen fliegenden Fressfeinden, beispielsweise Krähen, besser geschützt ist.

„Feind" erkennt das Froschglubschauge als groß – sei es Storch, Mensch oder Kuh. Beute ist etwas Kleines, das sich auf ihn zu bewegt. Dazwischen kommt alles, was ungefähr gleichen Umfang hat wie er, als

Partner in Frage. Weil Frösche miserabel sehen, vergreifen sich liebestolle Froschmänner auch schon mal an einem treibenden Holzstückchen oder an einem Goldfisch.

Unter Wasser beginnt für das Froschbaby der Ernst des Lebens. Nach dem Eischlupf muss es sich erst einmal als Fischlein ganz allein behaupten – im Unterschied etwa zu Menschenkindern, deren Metamorphose von der kiemenatmenden Kaulquappe zum lungenatmenden Landbewohner wohlbehütet im Mutterleib vollziehen. Nur wenige überstehen ungefressen die harte Schule von Flossenschwimmern zu den ersten Landhüpfern, sind dann sozusagen Froschkönige und -königinnen.

Unseren Winter verbringen die wechselwarmen Tiere in einer etwa siebzig Zentimeter tiefen Höhle. Und wenn im April die Sonne noch so sehr lockt, frische Fröschlein zu machen, traut Frosch und Fröschin sich erst dann aus dem sicheren Erdloch, wenn er und sie genau „wissen", dass jedenfalls kein Frost sie dabei überraschen kann. Er wäre tödlich. Denn sie besitzen es doch: ein „inneres Barometer". Bei steigendem Luftdruck fängt er auch viel früher am Abend an zu quaken – und verstummt selbst in den heißesten Liebesnächten, wenn ihr „sechster Sinn" einen Temperatursturz ankündigt. Dies geschieht rechtzeitig, um sich tief genug einzubuddeln, um die zarte Froschhaut etwa vor infernalischen Eiskugel-Bombardements zu retten.

Ergo: Nur wer als Froschbeobachter immer auf der Lauer liegt, kann sich das Barometer im sparen.

P.S. Der wohl immer noch populärste Wetterprophet, der Laubfrosch, steht auf der „Roten Liste" der weltweit insgesamt bedrohten Amphibien als stark gefährdet mit obenan. Daran schuld sind jedenfalls nicht die Kraniche, die Frösche nicht auf dem Speiseplan haben, bestimmt auch nicht die paar Störche, die ihn noch drauf haben ...

Fotos in dieser Ausgabe: Lufthansa Bildarchiv, Karlsruher Wolkenatlas, Ingrid Friedl, Archiv für Kunst und Geschichte, Berlin