



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Dem Wetter einen Schritt voraus: von der Messung bis zur Prognose



Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz
Bärbel Zierl, Isabel Plana
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich
T +41 44 256 91 11
media@meteoschweiz.ch
www.meteoschweiz.ch

Inhaltskonzept und Text

Sprachwerk GmbH
Zürich

Layoutkonzept, Gestaltung und Satz

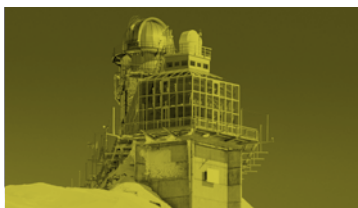
gut&schön GmbH
Zürich

© 2012 MeteoSchweiz

GRUNDLAGEN

Was ist Wetter?	4
-----------------	---

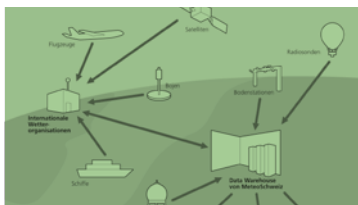
Messgeräte am Boden, auf dem Wasser, in der Luft und im Weltall sammeln riesige Datenmengen über das Wetter.



MESSEN UND BEOBACHTEN

Mit Hightech in die dritte Dimension	6
Automatisch und flächendeckend	7
Gewitter rechtzeitig erkennen	8
Blick aufs Wetter aus dem Weltraum	9

Daten aus aller Welt fließen bei MeteoSchweiz zusammen. Ein Supercomputer berechnet daraus komplexe Wettermodelle.



DATENVERARBEITUNG UND MODELLE

Herrin der Daten	10
Die Datenflut im Griff	11
Wetter ist auch Mathematik	12
Die Schweiz im Zentrum zweier Modelle	13

Anhand von Wetterdaten und Computermodellen erstellen Prognostiker Vorhersagen für die kommenden Tage.



INTERPRETIEREN UND VORHERSAGEN

Ein Tag im Wetterdienst	14
Puzzleteile zusammenfügen	15

MeteoSchweiz warnt auch vor Unwettern und Naturkatastrophen, berät Piloten und erstellt Spezialprognosen für Behörden und Private.



WARNUNGEN UND SPEZIALPROGNOSEN

Plötzlich ist alles auf einmal zu tun	16
Wetterprognose nach Mass	17
Kein Flug ohne Wetterinformationen	18
Schutz der Bevölkerung ist Bundesaufgabe	19

WISSENSWERTES

Die Meteorologie in der Vergangenheit ...	20
... und in der Zukunft	21
Häufige Fragen	22

WAS IST WETTER?



Als Wetter bezeichnet man den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit. Das Wetter kann sich täglich mehrmals ändern. Betrachtet man dagegen den Charakter des Wetters über mehrere Tage oder Wochen, spricht man von Witterung. Klima bezeichnet das durchschnittliche Wetter über mehrere Jahrzehnte oder einen noch längeren Zeitraum.

Sonne, Luft und Wasser – sie bestimmen das Wetter auf dem ganzen Globus. Die Sonne ist der eigentliche Motor: Sie schickt laufend riesige Mengen Energie in Form von Strahlung zur Erde und versetzt damit Luft und Wasser in Bewegung.

Wo sich das Wetter abspielt

Die Luft umgibt die Erde wie eine Hülle, Atmosphäre genannt – ohne sie ist kein Wetter möglich. Ab etwa 500 Kilometer Höhe geht die Atmosphäre in

das Nichts des Weltalls über. Für das Wettergeschehen entscheidend ist aber nur gerade die erdnächste Schicht der Atmosphäre, Troposphäre genannt. Sie reicht an den Polen bis in 8, am Äquator bis in 18 Kilometer Höhe. Neben den Gasen Stickstoff und Sauerstoff enthält sie auch Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Edelgase und kleine Staubpartikel.

Wasser speichert Wärme

Das Wasser bedeckt den grössten Teil der Erdoberfläche und speichert einen Teil der Sonnenenergie als Wärme. Meeresströmungen transportieren sie über Tausende Kilometer hinweg – das ist wichtig für den weltweiten Temperaturengleich. Verdunstet das Wasser, wird es in Form von Wasserdampf vom Wind aufs Land geweht und sorgt dort für Niederschlag.

Hoher und tiefer Luftdruck

Mitteleuropa liegt oft im Einflussbereich des sogenannten Jetstreams – eines Windbandes, das in den gemässigten Breiten im Allgemeinen ostwärts um den Globus zirkuliert. Dieses Westwindband befördert warme und feuch-

te Luft vom Atlantik nach Mitteleuropa. Darin eingebettet ziehen Hoch- und Tiefdruckgebiete über den europäischen Kontinent hinweg und bestimmen unser Wetter.

Tiefdruckgebiete sind meist mit Warm- und Kaltfronten und einem charakteristischen Wetterablauf verbunden. Zuerst naht die Warmfront mit lang andauernden Niederschlägen, gefolgt von warmer Luft. Danach zieht die Kaltfront mit meist schauerartigen Niederschlägen und heftigen Windstössen durch. Auf der Rückseite der Kaltfront sinken die Temperaturen deutlich ab. Tiefs sind daher für schlechtes Wetter bekannt – Hochs führen dagegen meist zu schönem und trockenem Wetter.

Föhnfenster über den Glarner Alpen: Absinkende Luft löst die Bewölkung auf.

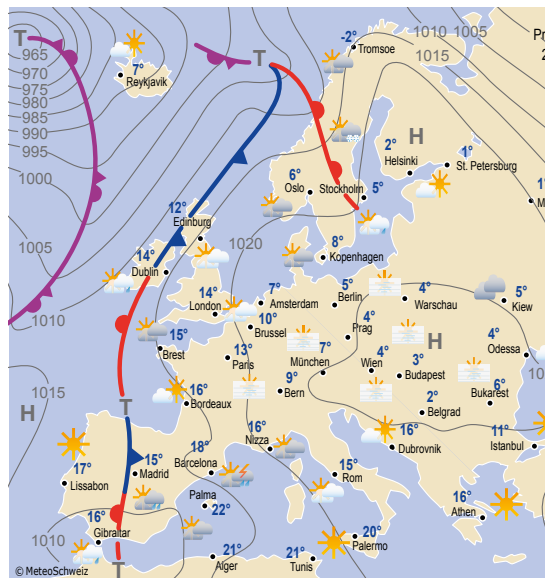
Der Wind

In der Natur wird stets ein Gleichgewichtszustand angestrebt. Daher bringt ein Druckunterschied die Luftmassen in Bewegung: Sie strömen vom Hochdruck- in Richtung des Tiefdruckgebiets – so entsteht der Wind. Allerdings fliesst die Luft nicht auf direktem Weg vom Hoch zum Tief, sondern wird wegen der Erdrotation auf der Nordhalbkugel nach rechts abgelenkt. So bewegt sich die Luft um ein Tiefdruckgebiet im Gegenuhreizer- und um ein Hochdruckgebiet im Uhrzeigersinn.

Die Wolken und der Niederschlag

Ein wichtiger Bestandteil der Luft ist der Wasserdampf. Kalte Luft kann nur wenig Wasserdampf aufnehmen – warme dagegen viel. Kühlt sich die Luft ab und erreicht die relative Luftfeuchtigkeit gegen 100 Prozent, kondensiert der Dampf zu kleinen Wassertröpfchen – bei besonders tiefen Temperaturen können sich auch winzige Eiskristalle bilden. Wassertröpfchen und Eiskristalle bilden zusammen die typische Wolke. Weil beim Kondensieren und

Gefrieren Energie frei wird, kann es in Wolken auch zu starken Luftbewegungen kommen, die unter Umständen zu heftigen Gewittern führen. Wenn sich mehrere Eiskristalle verbinden, bilden sich Schneeflocken, die aufgrund ihres Gewichts zur Erde fallen. Ist die Temperatur in Erdnähe warm genug, schmelzen sie und kommen als Regen an.



Der besondere Alpenraum

Das Klima der Schweiz wird stark durch den nahen Atlantik und die Alpen bestimmt. Mit den vorherrschenden Strömungen aus westlichen Richtungen gelangt feucht-milde Meeresluft in die Schweiz. Im Sommer wirkt sie kühlend, im Winter wärmend, und das ganze Jahr hindurch fällt in den meisten Gebieten genügend Niederschlag. Die Alpen wirken dabei als markante Klimaschranke zwischen der Nord- und der Südschweiz. Das mediterrane Klima der Südschweiz unterscheidet sich von dem des Nordens vor allem durch deutlich mildere Winter.

Das Klima der inneralpinen Täler ist ebenfalls stark durch die Alpen geprägt. Typische Vertreter sind das Wallis und das Engadin. Das Hochgebirge schirmt die Täler gegen Niederschlagsaktivitäten sowohl aus Norden als auch aus Süden ab. Die Folge sind trockene Bedingungen. Das Gebirgsmassiv beeinflusst auch die grossräumigen Wettersysteme. Das führt etwa zu den sogenannten Föhnlagen: So strömt bei Südföhn feuchte, warme Luft von einem Hochdruckgebiet südlich der Alpen zu einem Tief im Norden. Am Südhang steigt die Luft auf und kühlt sich ab, wodurch sich Wolken bilden. Während es im Tessin nun oft intensiv regnet, strömt die Luft über die Alpen. Dort sinkt sie ab, erwärmt sich dadurch und löst die lokale Bewölkung auf. Häufig sind mit Föhn auch hohe Windgeschwindigkeiten verbunden.



Linsenförmige Wolken sind typisch für Föhnlagen.

MIT HIGHTECH IN DIE DRITTE DIMENSION



«Unsere Geräte laufen rund um die Uhr.»

Alexander Haefele, Projektleiter Fernerkundung bei MeteoSchweiz, Payerne

In seiner Freizeit bewegt sich Alexander Haefele viel in der freien Natur, ist begeisterter Kletterer und Skitourenfahrer. «Draussen komme ich mit der Atmosphäre direkt in Kontakt», sagt er, «das Wetter hat einen grossen Einfluss auf meine Tagesplanung.» Er ist darum froh um eine möglichst genaue Wetterprognose. Dazu trägt der promovierte Physiker auch selber bei: Haefele ist an der sogenannten Atmosphärensondierungsstation von MeteoSchweiz in Payerne zuständig für die Fernerkundung. Zusammen mit seinem fünfköpfigen Team und mithilfe verschiedener Messgeräte untersucht Haefele den Himmel bis in etwa 10 Kilometer Höhe. Gemessen werden unter anderem Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind. «Wir beobachten, wie sich diese Werte in Abhängigkeit von der Höhe verändern», erklärt Haefele. Was dabei entsteht, ist eine Art Abbild der Natur – in Form von Messwerten. «Unsere Geräte laufen dazu rund um die Uhr», sagt Haefele. Die beiden wichtigsten sind der Windprofiler und der Lidar (Light Detection and Ranging). Beide senden elektromagnetische Signale aus und messen, wie stark sie die Atmosphäre zurückstreut. Daraus kann mittels Windprofiler auf Windgeschwindigkeit und -richtung geschlossen werden, mittels Lidar auf Luftfeuchtigkeit, Temperatur und kleinste Partikel (Aerosole). Das Team kümmert sich sowohl um den Betrieb der Geräte als auch um die Datenverarbeitung und die Visualisierung der Messungen am Computer. «So können wir die Entwicklung eines Unwetters unmittelbar verfolgen und diese Informationen für andere verfügbar machen», erklärt Haefele.

Darum geht's

Um das Wetter der kommenden Tage voraussagen zu können, müssen Meteorologen zuerst das Wetter von jetzt kennen. Dazu bedienen sie sich vieler unterschiedlicher Messgeräte. So messen zahlreiche Bodenstationen die Werte auf der Erdoberfläche, und seit dem 19. Jahrhundert vermessen die Menschen die Atmosphäre auch bis in mehrere Kilometer Höhe.

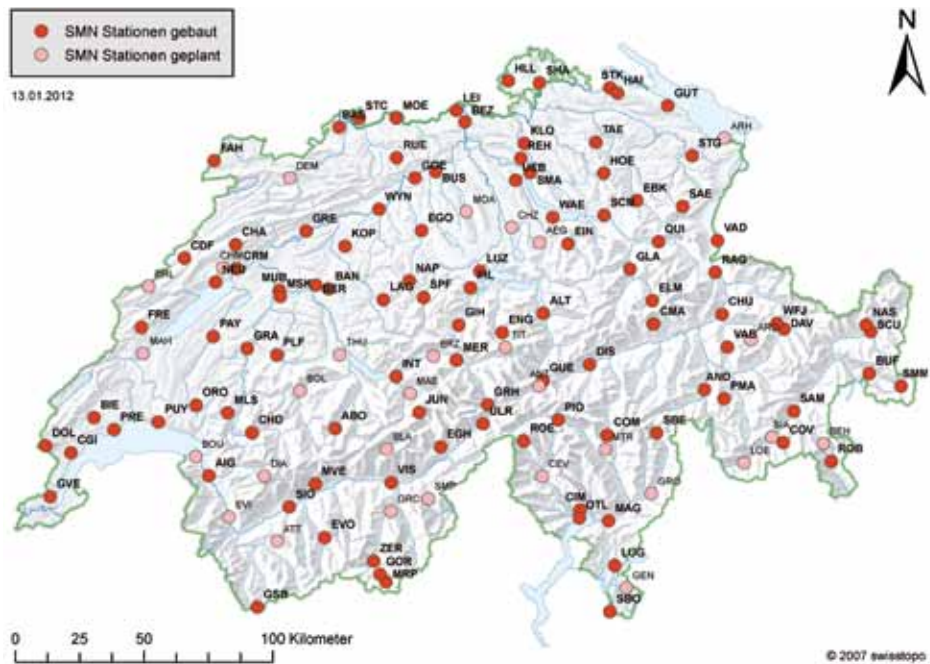
AUTOMATISCH UND FLÄCHENDECKEND

Tausende von Wetterstationen auf der ganzen Welt sammeln rund um die Uhr Messdaten – die Basis jeder Wetterprognose. Die Messungen erfolgen sowohl am Boden als auch in der Höhe und entsprechen den Standards der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) – dadurch sind sie weltweit vergleichbar.

Wie misst man das Wetter? Meteorologinnen und Meteorologen zerteilen das komplexe Phänomen in seine Bestandteile: physikalische Messgrössen wie Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, Niederschlagsmenge, Windrichtung und -stärke. Je genauer die Messungen, desto zuverlässiger ist die Prognose, deshalb kommen hoch spezialisierte Messgeräte zum Einsatz. Nach der Erhebung werden die Daten bei MeteoSchweiz gebündelt und fliessen in die Wettervorhersagen.

Bodenstationen in allen Höhenlagen

MeteoSchweiz betreibt das Bodenmessnetz SwissMetNet mit derzeit um die 100 Stationen in allen Landesteilen und Höhenlagen. Es befindet sich zurzeit im Ausbau und wird bis 2013 auf 136 Stationen aufgestockt. Die höchstgelegene Wetterstation der Schweiz ist das Sphinx-Observatorium auf dem Jungfrauoch (3580 m ü. M.). Früher mussten die Werte noch von Auge abgelesen werden – heute arbeitet das Bodenmessnetz automatisch. Die verschiedenen Geräte messen alle 5 Minuten bis zu 20 physikalische Parameter und übermitteln sie an die Rechenzentrale. Bereits 10 Minuten nach der Messung stehen die Daten den Meteorologen zur Verfügung.



Erkundung der Atmosphäre

Zusätzlich zu den Messungen der Bodenstationen erforschen die Meteorologen auch die Atmosphäre, zum Beispiel mit Wetterballons. Gefüllt mit Wasserstoff oder Helium, steigen diese zweimal täglich von der Atmosphärensondierungsstation Payerne aus bis in 30 Kilometer Höhe, wo der Ballon platzt. Die daran befestigte Sonde misst kontinuierlich Werte wie Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Wind und sendet sie via Funk an die Bodenstation.

**Oben:
Das Bodenmess-
netz SwissMetNet
wird ausgebaut
(Karte: Stand
Januar 2012).**

Unten:
Wetterstation
auf dem Säntis
(2502 m ü. M.).

Beobachtungen von Auge

Die Wetterdienste analysieren nicht nur abstrakte Daten. Parameter wie Bedeckungsgrad, Sichtweite oder Wolkentyp erkennt das menschliche Auge nämlich besser als ein Messgerät. Knapp 500 Wetterbeobachter an etwa 50 Stationen beurteilen daher die aktuelle Wetterlage von Auge: an den Flughäfen, in ständig besetzten Betriebszentralen einiger Unternehmen oder auch von zu Hause aus. Wetterbeobachtungen sind insbesondere für die Luftfahrt wertvoll. Entlang der Hauptflugrouten betreibt MeteoSchweiz deshalb an 30 Standorten Kameras. Sie schiessen alle 10 Minuten ein Panoramabild vom Wettergeschehen – dank Infrarotfilter auch in der Nacht. Die Standorte und Blickwinkel sind so ausgewählt, dass die Kameras Einblick in die wesentlichen Geländekammern und Passübergänge geben.

GEWITTER RECHTZEITIG ERKENNEN

Der Landwirt holt das Heu schon am Morgen ins Trockene, wenn abends ein Gewitter droht, der Open-Air-Organisator muss einen geplanten Anlass verschieben, und der Sturmwarndienst informiert Segler und Schiffsführer auf dem See: Sie alle sind auf die möglichst präzise Vorhersage von Gewittern angewiesen. Wichtige Grundlage hierfür ist das Witerradarnetz.

Während der Regen in einem Dorf niederprasselt, scheint im benachbarten noch die Sonne – gerade im Sommer treten Gewitter sehr kleinräumig auf. Da sie sich zudem häufig rasant entwickeln, sind sie schwierig vorhersagbar. Am besten lassen sich Gewitter mit einem Witerradar erkennen – die Radarbilder zeigen Regen, Schnee, Graupel und Hagel. Die Meteorologinnen und Meteorologen können damit die Entwicklung einer Gewitterzelle im Zeitraffer betrachten und daraus auf den künftigen Verlauf schliessen.

Das Schweizer Radarbild ist aus den Bildern der drei Radar-Messstationen von MeteoSchweiz zusammengesetzt. Diese stehen auf dem Albis bei Zürich, auf La Dôle bei Genf und auf dem Monte Lema bei Lugano. 2013 werden zudem zwei weitere Standorte im Wallis und in Graubünden dazukommen. Mit diesen beiden Radaren können künftig auch die inneralpinen Täler erfasst werden, welche bis jetzt schlecht abgedeckt sind. Grund sind die Berge, die den Radarstrahlen häufig im Weg sind.

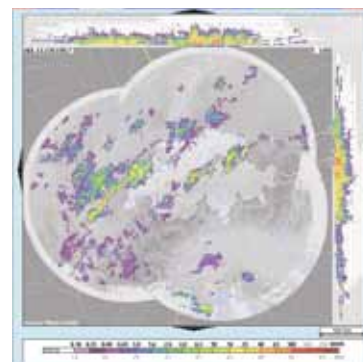
Immer präzisere Prognosen

Das Niederschlagsradar arbeitet mit elektromagnetischen Wellen. Die Antenne sendet ein Signal aus, welches von den Teilchen einer Niederschlags-

zone, wie Regentropfen, Schneeflocken und Hagelkörnern, reflektiert wird und zum Radar zurückkehrt. Aus der verstrichenen Zeit kann der Abstand zur Niederschlagszone berechnet und diese so lokalisiert werden. Zudem lässt sich mit dem Radar die Intensität des Niederschlags bestimmen und zwischen den verschiedenen Formen von Niederschlag unterscheiden. So wird auch Schneefall erkennbar, was für die Strassendienste im Winter hilfreich ist. Ebenso wichtig sind die Radarinformationen für die Aviatik.

Die Schweizer Radare sind auf dem aktuellsten Stand der Technik: Sie erzeugen alle 2,5 Minuten ein aktualisiertes Bild und verfügen über eine räumliche Auflösung von einem Kilometer. Das Radar erkennt sogar feinste Regentropfen aus 200 Kilometer Entfernung. Dies erlaubt heute die kurzfristige Vorhersage von Gewittern bis zu einer Stunde im Voraus.

**Unten:
Vom Monte Lema
aus überwacht ein
Radar der neuesten
Generation den
Niederschlag in der
Südschweiz.**



**Oben:
Das Radarbild zeigt
Niederschlags- und
Gewitterzellen.**

BLICK AUFS WETTER AUS DEM WELTRAUM

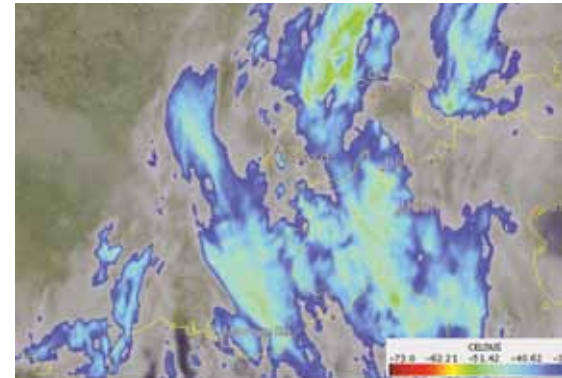
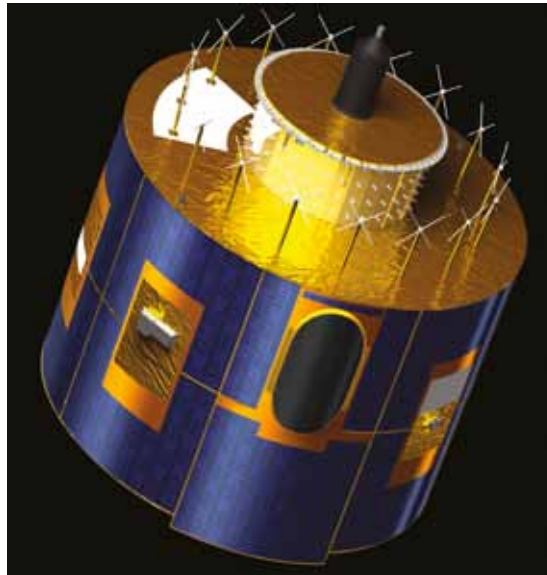
Einige Wetterereignisse, wie etwa Sommergewitter, entstehen lokal. Andere, zum Beispiel Hochdruckgebiete, können ganze Kontinente beeinflussen. Um solche Phänomene besser vorherzusehen, überwachen Wettersatelliten die gesamte Erdoberfläche.

Der Satellit Meteosat fliegt in 36 000 Kilometer Höhe über dem Schnittpunkt des Äquators und des Greenwich-Meridians. Da er sich im Gleichschritt mit der Erde bewegt, schwebt er von uns aus gesehen immer am gleichen Punkt. Alle 15 Minuten sendet Meteosat ein Bild der Erde nach Darmstadt. Dort ist der Hauptsitz von EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites). Dank dieses Zusammenschlusses von 26 europäischen Staaten sind während 24 Stunden am Tag aktuelle Satellitenbilder verfügbar. Von Darmstadt aus werden sie weltweit verteilt – die Prognostikerinnen und Prognostiker von MeteoSchweiz können also beinahe in Echtzeit mitverfolgen, was Meteosat sieht. Die Bilder aus dem Weltall sind zudem für Gebiete wichtig, wo es kaum Messstationen gibt. Dies betrifft etwa Wüstengebiete und vor allem die Ozeane. Satellitenbilder ergänzen die Aufzeichnungen von mobilen Wetterstationen auf Schiffen, Bojen oder in Zivilflugzeugen.

Neuartige Technik

Satellitenbilder werden in der Meteorologie seit den 1960er-Jahren eingesetzt. Zurzeit sind weltweit rund zehn Wettersatelliten im Einsatz. Sie tragen Messgeräte mit sich, welche die von der Erde stammende Strahlung erfassen. Die heutige Satellitengeneration misst zwölf verschiedene Wellenlängen, auch «Kanäle» genannt. Anhand

dieser Daten können Wolkenformationen, Warm- und Kaltfronten, Gewitter sowie Nebel- und Hochnebelgebiete lokalisiert werden. Bilder, welche die Infrarotstrahlung abbilden, sind auch nachts verfügbar und machen die Temperaturen von Erde, Wasser, Wolken und Luft sichtbar. Animierte Bildsequenzen zeigen zudem auf, wie sich die Wettersysteme entwickeln und verlagern.



Bilder der Satelliten von EUMETSAT (links) zeigen zum Beispiel die aktuelle Bewölkung (ganz oben) oder die Temperatur der Wolkengobergrenze (oben).

HERRIN DER DATEN



«Wir versuchen, unterschiedliche Daten intelligent miteinander zu verknüpfen.»

Estelle Grüter, Projektleiterin Datenkoordination bei MeteoSchweiz, Zürich

Das Maximum aus den Messwerten herausholen, so etwa könnte man die Aufgabe von Estelle Grüter umschreiben. Ihr Team koordiniert den Datenfluss und managt die zentrale Datenaustauschplattform von MeteoSchweiz. In diesem System, dem sogenannten Data Warehouse, werden Messwerte gespeichert, aufbereitet und weitergeleitet. So dienen sie beispielsweise als Datenbasis für die numerischen Wettermodelle. Ein rund zehnköpfiges Team sorgt dafür, dass das Data Warehouse immer verfügbar ist und weiter ausgebaut wird. «Wir integrieren beispielsweise Daten von Messstationen der Kantone oder privater Anbieter», erklärt Estelle Grüter. Dies, um die Informationsdichte zu erhöhen, denn: «Wir haben nur punktuell Messwerte von einzelnen Stationen. Ein Wert alle 2 Kilometer wäre aber viel aussagekräftiger.» Ziel ist es daher, ein feinmaschiges Netz mit Informationen über Niederschlag, Temperatur oder Sonnenschein zu erhalten. Dabei werden aus den gemessenen Werten mithilfe statistischer Modelle die dazwischenliegenden unbekannten Werte berechnet. «Zudem versuchen wir, die unterschiedlichen Daten intelligent miteinander zu verknüpfen, um daraus neue Erkenntnisse zu gewinnen», so Grüter. Zum Beispiel Niederschlagsdaten von Wetterradaren mit Daten von Bodenmessstationen. Das Radar liefert wertvolle Informationen zur Verteilung der Niederschläge, ist aber weniger genau als die Messstationen, was die absolute Niederschlagsmenge betrifft. Die Kombination der beiden Messmethoden ermöglicht nun qualitativ bessere Aussagen.

Darum geht's

Was passiert mit den Tausenden von Daten, die die verschiedenen Messinstrumente täglich liefern? Sie werden auf ihre Qualität überprüft, gespeichert, für die Arbeit der Wetterdienste und Kunden aufbereitet und fliessen schliesslich in Wettermodelle ein. Diese berechnen mit mathematischen Formeln die künftige Wetterentwicklung, die Basis der modernen Prognose.

DIE DATENFLUT IM GRIFF

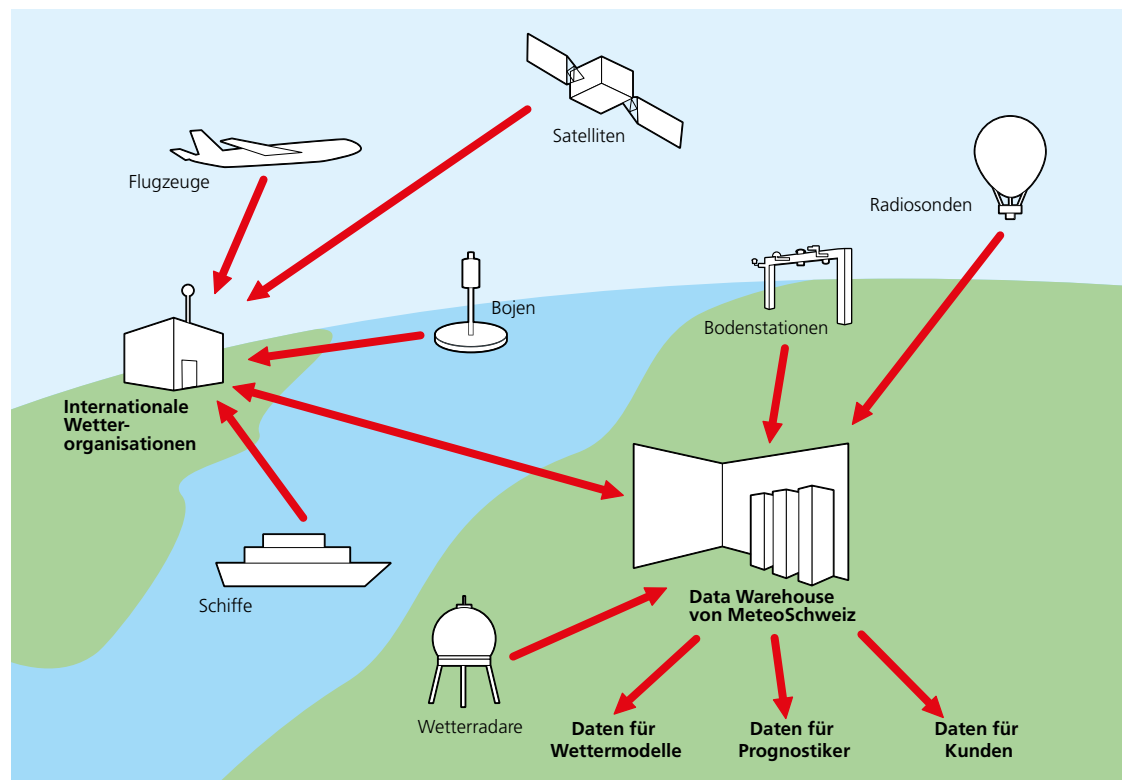
Über 10 Millionen Datensätze kommen bei MeteoSchweiz täglich zusammen – nicht nur aus dem Schweizer Messnetz, sondern aus aller Welt. Sie müssen gespeichert, aufbereitet und an die richtigen Stellen weitergeleitet werden.

Messdaten von Schweizer Bodenmessstationen und Fernerkundungsinstrumenten werden in der Regel elektronisch nach Zürich geschickt und einer ersten, automatischen Qualitätsprüfung unterzogen. Gibt es Ausreisser, wie Temperaturen von über 20 Grad mitten im Winter? Sind die verschiedenen Messwerte in sich stimmig, oder zeigt eine Station gleichzeitig Regen und eine hohe Sonneneinstrahlung? Unplausible Werte werden automatisch markiert und von einer Fachperson überprüft. Gleichzeitig werden Messlücken durch berechnete Daten ergänzt. Erst nach dieser Kontrolle werden sie im zentralen Data Warehouse abgelegt.

Daten in Echtzeit

Von der Messung über die erste Kontrolle bis zur Speicherung dauert es höchstens 5 Minuten. Die Messwerte stehen also quasi in Echtzeit zur Verfügung. Jede Nacht erfolgt eine zweite Qualitätskontrolle. Nun wird untersucht, ob in den Daten über die letzten 24 Stunden Ausreisser auftreten, die sehr unwahrscheinlich sind. Zum Beispiel, ob die Temperatur innerhalb von kurzer Zeit stark variiert.

Nebst den Daten aus Schweizer Messnetzen fließen ausgewählte Wetterdaten aus der ganzen Welt zur Datendrehscheibe von MeteoSchweiz: je eine Million Daten von Bodenstationen und Wetterballonen, 130 000 von Schiffen und Bojen und 450 000 von Flugzeugen.



Gezielte Verbreitung

Vom Data Warehouse aus gehen die Informationen anschliessend an verschiedene Nutzer: In den Wettermodellen dienen die Daten als Ausgangswerte für die Berechnungen. Auch die Prognostikerinnen und Prognostiker greifen darauf zu. Mit speziellen Programmen können sie eine Vielzahl von Datensets abrufen, beispielsweise Temperaturverläufe über die Zeit oder die Niederschlagsmenge an allen Standorten.

Nebst den Daten aus Schweizer Messnetzen fließen Wetterdaten aus der ganzen Welt ins Data Warehouse von MeteoSchweiz.

Internationaler Datenaustausch

Das Wetter kennt keine Grenzen. Wer eine Prognose erstellen will, muss das weltweite Wettergeschehen berücksichtigen. Deshalb sorgt die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) dafür, dass Daten rund um den Globus ausgetauscht werden. Die Unterorganisation der UNO schreibt genau vor, welche Daten die Länder in welcher Form zur Verfügung stellen müssen. In der Schweiz ist MeteoSchweiz für den internationalen Austausch verantwortlich: Aufbereitete Daten werden dem Deutschen Wetterdienst geschickt, der die Daten aus ganz Europa sammelt und weltweit weiterleitet. Umgekehrt erhält auch die Schweiz Messwerte aus aller Welt. Diese dienen zur Einschätzung der globalen Wetterlage und fließen in die Modellrechnungen ein.

WETTER IST AUCH MATHEMATIK

Der erste Versuch, das Geschehen in der Atmosphäre in mathematischen Formeln abzubilden, liegt schon viele Jahrzehnte zurück. Solche Wettermodelle sind aus der modernen Meteorologie nicht mehr wegzu-denken. In Tausenden von Gleichungen berechnen sie das Wetter von morgen.

Das Wetter basiert auf komplexen physikalischen Vorgängen in der Atmosphäre. Diese lassen sich mit mathematischen Gleichungen annähernd beschreiben. Je nach Lufttemperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit oder Luftfeuchtigkeit laufen verschiedene Prozesse ab. Es bilden sich Wolken, Niederschläge oder Winde, Hoch- und Tiefdruckgebiete entstehen. All diese Vorgänge muss ein Wettermodell in mathematische Formeln packen.

Numerische Modelle

Das Problem dabei ist, dass die Gleichungen nicht eindeutig lösbar sind. Doch Meteorologen und Mathematiker kennen einen Ausweg. Mit numerischen Modellen pirschen sie sich an die exakte Lösung heran. Diese mathematischen Näherungen erfordern jedoch einen enormen Rechenaufwand. Deshalb konnten numerische Wettermodelle erst entstehen, als leistungsfähige Computer verfügbar waren.

Für ein numerisches Vorhersagemodell überzieht man den Globus oder ein bestimmtes Teilgebiet der Erde mit einem Gitter, und dies auf unterschiedlichen Höhen in der Atmosphäre. An jedem Kreuzungspunkt des Gitters berechnet ein Satz von Formeln die Entwicklung verschiedener Wettergrössen, wie Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit oder Winde. Als Ausgangswert fliessen gemessene Daten von diesem Punkt

ein. Daraus berechnet der Computer, wie sich die Atmosphäre in Zukunft verändert.

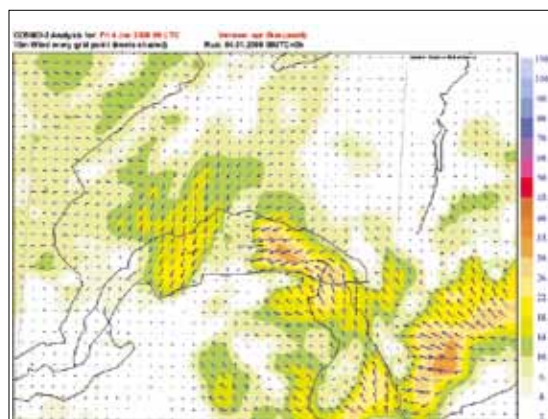
Je langfristiger, desto gröber

Bei längerfristigen Prognosen hängt die Vorhersage auch vom Wettergeschehen in grösserer Entfernung ab. Für diesen Fall kommen Modelle zum Einsatz, die ein grosses Gebiet oder gar die ganze Welt abdecken. In Europa stützen sich die Wetterdienste auf das globale Modell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersagen (EZMW), das globale Vorhersagen für die gesamte Erdoberfläche mit Fristen von bis zu 15 Tagen erlaubt. Es arbeitet mit über 2 140 704 Gitterpunkten im Abstand von 16 Kilometern und 91 übereinandergeschichteten Ebenen.



Oben:
Modellvorhersagen helfen den Prognostikern bei der Arbeit.

Unten:
Windvorhersage des Wettermodells für die Genferseeregion.



Unberechenbares System

Das Wetter ist ein chaotisches System, in dem bereits kleinste Abweichungen für grosse Unterschiede in der Wetterentwicklung sorgen können. Je nach Ausgangswert können die Modellvorhersagen deshalb beträchtlich auseinanderdriften. Doch längst nicht für alle Gitternetzpunkte sind tatsächlich Messwerte vorhanden. Diese Ausgangswerte müssen deshalb berechnet werden – ein Unsicherheitsfaktor. Um die Verlässlichkeit abzuschätzen, erstellt man sogenannte Ensembles: Ein vereinfachtes Modell wird mit unterschiedlichen Ausgangswerten bis zu 50-mal durchgerechnet. Eine statistische Analyse der Ergebnisse gibt dann darüber Auskunft, welches Szenario das wahrscheinlichste ist.

DIE SCHWEIZ IM ZENTRUM ZWEIER MODELLE

Numerische Wettermodelle, die den ganzen Globus abdecken, sind zu ungenau, um regionale oder sogar lokale Prognosen zu erstellen. Die Wettervorhersagen für die Schweiz stützen sich deshalb auf zwei kleinräumige Modelle.

Im Urner Reusstal ist der Himmel grau und verhangen, nach dem Gotthardtunnel blendet die Tessiner Sonne: Keine 20 Kilometer Luftlinie liegen Göschenen und Airolo voneinander entfernt, und trotzdem könnte das Wetter manchmal unterschiedlicher nicht sein. Aufgrund der starken topografischen Vielfalt in der Schweiz kann das Wettergeschehen sehr kleinräumig variieren. Ein Rechenmodell, das die Wetterentwicklung auf 16 Kilometer genau berechnet, kann dieser Situation also nicht gerecht werden. Deshalb entwickelt und betreibt MeteoSchweiz auch kleinräumige Vorhersagemodelle für Mitteleuropa und für den Alpenraum im Speziellen.

Modelle für den Alpenraum

Das Modell COSMO-7 berechnet Prognosen für West- und Mitteleuropa. Es wird dreimal täglich gestartet und liefert Aussagen über die kurzfristige Entwicklung bis drei Tage in die Zukunft. Die Gitterpunkte, für welche die Wetterparameter berechnet werden, haben einen Abstand von 6,6 Kilometern. Um das Geschehen auch in den oberen Bereichen der Atmosphäre abzubilden, verfügt COSMO-7 über 60 Höhenschichten. Insgesamt umfasst COSMO-7 knapp 8 Millionen Gitterpunkte. Noch höher aufgelöst ist COSMO-2. Das Modell enthält fast 11 Millionen Gitterpunkte in einer Maschenweite von 2,2 Kilometern und deckt den Alpenraum mit der Schweiz im Zentrum ab.

COSMO-2 wird achtmal täglich gestartet und liefert Vorhersagen bis 33 Stunden in die Zukunft.

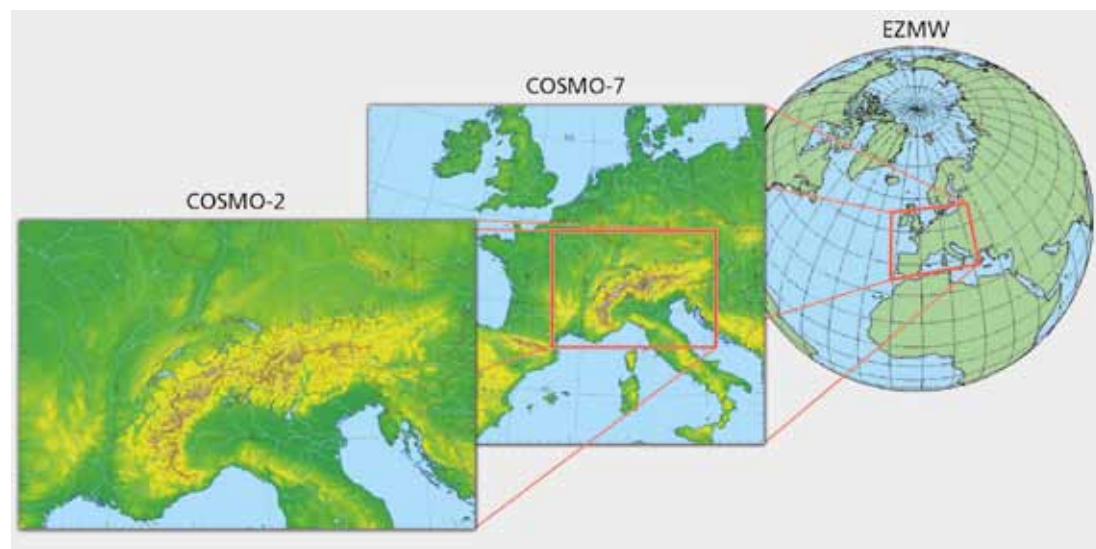
Einbettung in weltweites Wetter

Die Ausgangswerte für die beiden Modelle werden aus aktuellen Messdaten berechnet: COSMO-7 verarbeitet Informationen von rund 120 Radiosondierungen, 8000 Flugzeugbeobachtungen, 28000 Stationsbeobachtungen und 1000 Windprofilen. COSMO-2 verarbeitet zusätzlich Informationen aus dem Wetterradarnetz. Zudem wird auch die Wetterentwicklung ausserhalb des Modellgebiets einbezogen. Hierzu ist COSMO-7 in das globale Modell EZMW eingebettet, und COSMO-2 wiederum in COSMO-7.

Immense Rechenleistung

Die beiden COSMO-Modelle werden am Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrum in Lugano im Tessin gerechnet. Zuständig ist der Supercomputer namens «Buin», der 5000 Milliarden Berechnungen pro Sekunde leistet. Dies entspricht etwa der Rechenleistung von 250 modernen PCs. Der Supercomputer schafft die Berechnungen für die 24-Stunden-Wettervorhersage von COSMO-2 in 20 Minuten. Mittels Kopfrechnen würde die ganze Schweizer Bevölkerung von 7,5 Millionen Menschen dafür 50 Jahre brauchen.

Die drei ineinander eingebetteten Wettervorhersagemodelle.



EIN TAG IM WETTERDIENST



«Um 6.00 Uhr müssen die Prognosen aktualisiert sein.»

Stefano Zanini, Prognostiker bei MeteoSchweiz, Locarno-Monti

Locarno-Monti, 5.30 Uhr. Stefano Zanini beginnt seine Arbeit im Tessiner Wetterdienst von MeteoSchweiz. Sein Tag ist vollgepackt mit Aufgaben und folgt einem genau definierten Ablauf. Gleich zu Beginn überprüft der Meteorologe die Flughafenprognosen für die Südschweizer Flughäfen und die kurzfristige Wetterprognose, die seine Kollegen in Zürich während der Nachtschicht erstellt haben. Um 6.00 Uhr müssen sie aktualisiert sein. 6.30 Uhr: Die Arbeit an der mittelfristigen Vorhersage beginnt. Zanini interpretiert Modelle, leitet Prognosewerte ab und verfasst daraus den Wetterbericht für die Südschweiz. Um 7.30 Uhr folgt ein Interview über das Wettergeschehen via Webcam für einen privaten Fernsehsender. 7.45 Uhr: Spezialprognose für Hängegleiter erstellen. 8.15 Uhr: Interview mit Lokalradio und Schlagzeilen für Radiostationen schreiben. Nach der Telefonkonferenz mit den Wetterdiensten in Zürich und Genf um 8.30 Uhr passt Zanini die Prognose für die Alpensüdseite und das Engadin an. Bis 9.30 Uhr bearbeitet er für die Mittagssendung des Tessiner Fernsehens Satellitenbilder sowie die Wetterkarten und schreibt einige Erklärungen für den TV-Moderator. Danach folgt ein Beratungsgespräch mit einem Tessiner Energieversorger über die Entwicklung der Niederschlagsmengen. So geht es bis um 18.00 Uhr weiter im Viertel- bis Halbstundentakt. Dann ist für Stefano Zanini Feierabend. In der Nacht wird die Wetterüberwachung von den Kollegen in Zürich übernommen, die im 24-Stunden-Schichtbetrieb arbeiten.

Darum geht's

Die Resultate der verschiedenen Modellrechnungen bilden die Basis für die Erstellung der Wettervorhersage. Die Prognostiker beurteilen und vergleichen die verschiedenen Modelle, überprüfen sie anhand von aktuellen Messwerten oder Bildern von Webcams und formulieren daraus eine Prognose. Die Erfahrung der Experten spielt dabei eine wichtige Rolle. Mit diesem Wissen kann es bis heute kein Computer aufnehmen.

PUZZLETEILE ZUSAMMENFÜGEN

Trotz weit gereifter mathematischer Modelle braucht es noch immer den Menschen, um eine Prognose zu erstellen. Mit ihren Erfahrungen und Kenntnissen lokaler Wetterphänomene können Prognostikerinnen und Prognostiker die Vorhersagen der Modelle einschätzen, interpretieren und auf die Regionen herunterbrechen.

Was geschieht im Moment in der Atmosphäre? Mit dieser Frage startet jede Wetterprognose. Der Meteorologe greift dazu auf unterschiedliche computergestützte Hilfsmittel zurück. Er analysiert die Resultate der verschiedenen Wettermodelle und lässt sich die neusten Messwerte an verschiedenen Standorten anzeigen. Er beurteilt zudem Bilder von Satelliten, Wetterradaren und Webcams in der ganzen Schweiz. Daraus entsteht in seinem Kopf ein genaues Bild der aktuellen Wetterlage.

Vom Grossen zum Kleinen

Der Blick in die Zukunft beginnt mit der Einschätzung der weltweiten Wetterentwicklung. Der Prognostiker stützt sich dabei auf drei globale numerische Modelle. Ist die Situation instabil, können deren Prognosen allerdings erheblich auseinandergehen. In solchen Fällen hilft dem Prognostiker seine Erfahrung: Er weiss um die Stärken und Schwächen der einzelnen Modelle und kann sie richtig einschätzen. Aus diesem globalen Blickwinkel betrachtet der Meteorologe die kleinräumigeren Wettermodelle. Aus den animierten Wetterkarten, die das Modell COSMO-7 liefert, leitet er eine kurzfristige Prognose für die kommenden zwei bis drei Tage ab. Für die nächsten 24 Stunden

greift der Prognostiker auf das Modell COSMO-2 zurück.

Drei Prognosen am Tag

Um die Modelle zu interpretieren, vergleicht der Prognostiker ihre Vorhersagen mit aktuellen Messwerten, die praktisch in Echtzeit von den Messstationen übermittelt werden. Aus einer Fülle von Informationen formuliert der Meteorologe nun eine Prognose in Textform, die beispielsweise im Internet abrufbar ist. Die Wetterprognosen werden in der Regel dreimal täglich neu erstellt. Zweimal pro Tag schalten sich die Wetterdienste von MeteoSchweiz in allen Landesteilen in einer Telefonkonferenz zusammen, um die Vorhersagen zu besprechen und abzugleichen.

Steigende Trefferquoten

Wie zutreffend die Vorhersagen sind, ist von der Wettersituation abhängig. Bei stabilen Wetterlagen ist eine Prognose deutlich einfacher und sicherer als bei wechselhaftem Wetter. Langfristige Prognosen sind schwieriger zu erstellen. Trotzdem: Heute hat eine 6-Tage-Vorhersage dieselbe Genauigkeit wie 1968 eine für 24 Stunden. Die Trefferquote für den Folgetag lag in den letzten Jahren jeweils bei rund 85 Prozent. Prognosen zwei bis fünf Tage im Voraus trafen in 75 Prozent der Fälle zu.



Mit unterschiedlichen Hilfsmitteln erstellen die Prognostiker am Computer eine Vorhersage.

PLÖTZLICH IST ALLES AUF EINMAL ZU TUN



«Im Sommer warnen wir ziemlich häufig vor Gewittern.»

Christophe Salamin, Prognostiker bei MeteoSchweiz, Genf

Es ist ein Montag im August – der Tag beginnt strahlend schön. Christophe Salamin, einer von 15 Prognostikern des Regionalzentrums in Genf, hat Dienst. Bei der morgendlichen Telefonkonferenz mit Zürich und Locarno sind sich die Meteorologen einig: Mit dem Sonnenschein hat es bald ein Ende – heftige Niederschläge sind im Anzug. Die Meteorologen verfassen einen Warnhinweis und versenden ihn über den geschützten Datenkanal an die Nationale Alarmzentrale (NAZ), die ihn an die Behörden der betroffenen Kantone weiterleitet.

«Im Sommer warnen wir ziemlich häufig vor Gewittern», sagt Salamin. Zum grössten Teil Warnungen der Stufe 3, das heisst: erhebliche Gefahr. Dabei soll es an jenem Sommertag nicht bleiben. Die Niederschläge halten an, und in der Nacht auf Dienstag verschärft sich die Lage. Die Meteorologen aktualisieren die Warnmeldung laufend, bis schliesslich Stufe 5 erreicht ist: sehr grosse Gefahr. In den am stärksten betroffenen Gebieten fallen bis zu 130 Millimeter Niederschlag in 24 Stunden. Überschwemmungen und Verwüstungen sind die Folge, Feuerwehr und Zivilschutz sind im Grosseinsatz. Etwa 15- bis 20-mal pro Jahr erreichen die Unwetter in der Westschweiz Stufe 3 oder höher. Neben Sturm und Gewitter warnen die Wetterdienste aber auch vor Hitze, Frost oder Schneefall. Nun steigt die Hektik im Genfer Büro: «Behörden, Medien, Bevölkerung – alle wollen etwas von uns wissen», so Salamin. Gleichzeitig müssen die Prognostiker die Warnmeldung regelmässig updaten. Dann endlich, am Dienstag gegen 17.45 Uhr, kann das Regionalzentrum in Genf Entwarnung geben: Gefahr vorüber.

Darum geht's

Die Prognostiker erkennen als Erste, ob ein Unwetter droht. Erreichen die Prognosen, etwa für Niederschlag oder Windstärke, bestimmte festgelegte Grenzwerte, warnen die Meteorologen Behörden und Bevölkerung. Ab der Gefahrenstufe 4 können Radio und Fernsehen verpflichtet werden, die Warnungen zu verbreiten.

WETTERPROGNOSE NACH MASS

Nach einer sommerlichen Hitzewelle können die Landwirte das Regenwetter kaum erwarten. Gleitschirm-piloten dagegen sprechen dann von gutem Wetter, wenn thermische Aufwinde vorherrschen. Die Ansprüche ans Wetter sind genauso verschieden wie die Menschen selbst. Deshalb werden für unterschiedliche Zielgruppen unterschiedliche Prognosen erstellt.

Wer sich in der freien Natur aufhält – sei es als Wanderer, Surfer oder Segelflieger – legt viel Wert auf exakte Prognosen. Daneben hat das Wetter auch einen grossen Einfluss auf die Wirtschaft. Die Meteorologinnen und Meteorologen passen den allgemeinen Wetterbericht daher zusätzlich an verschiedene Zielgruppen an. Outdoorsportlern steht zum Beispiel der Alpenwetterbericht mit Schneeprognose zur Verfügung. Bau- und Landwirtschaft sind vor allem interessiert an der möglichst genauen Vorhersage von Regen, Frost und Windböen. Und die Behörden planen anhand der Strassenwetterprognose mit Angaben zu Strassenglätte und Fahrbahnzustand den Winterdienst.

Wirtschaftlicher Nutzen

Allein in den Branchen Verkehr und Energie beträgt der volkswirtschaftliche Nutzen von Wetterprognosen in der Schweiz pro Jahr mindestens 100 Millionen Franken, wie eine Studie des Beratungsunternehmens Econcept im Auftrag von MeteoSchweiz ergab. Die Luftfahrt setzt die Wetterdaten ein, um Flugzeit und Treibstoffverbrauch abzuschätzen. Und die Energiewirtschaft berechnet daraus den Strombedarf sowie die notwendige Energieproduktion in den Wasserkraftwerken.

COSMO-Daten als Basis

Darüber hinaus leitet MeteoSchweiz die Modellrechnungen weiter an Institutionen oder Unternehmen, welche die Daten in eigene Anwendungen einfließen lassen. Darunter finden sich etwa das Bundesamt für Umwelt (BAFU), das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), die Flugsicherung Skyguide sowie Forschungsstellen wie die beiden Eidgenössischen Technischen Hochschulen (ETH). Auch in acht grossen Bürogebäuden der Schweiz werden Heizung, Lüftung und Klimatisierung automatisch aufgrund von Daten aus dem COSMO-Modell geregelt.



Die Prognose erreicht ihr Ziel

Die allgemeine Wetterprognose erreicht die Bevölkerung über verschiedene Kanäle. Im Internet aktualisiert MeteoSchweiz laufend Wetter- und Gefahrenkarten sowie Radar- und Satellitenbilder. Mehrmals täglich werden zudem die Prognosen auf den neusten Stand gebracht. In der Westschweiz und im Tessin flimmern die Prognosen von MeteoSchweiz auch über den TV-Bildschirm, während Deutschschweizer Medien ihren Wetterbericht zu einem grossen Teil bei privaten Wetterfirmen einkaufen. Doch auch diesen Prognosen liegen Messdaten, Satelliten- und Radarbilder sowie Modellrechnungen von MeteoSchweiz zugrunde.

KEIN FLUG OHNE WETTERINFORMATIONEN



Das Wetter beeinflusst auch den Flugverkehr: Gewitter, schlechte Sicht, eine vereiste oder schneebedeckte Piste behindern die Piloten beim Starten und Landen. Experten von MeteoSchweiz überwachen rund um die Uhr die Wetterbedingungen an den Flughäfen Zürich und Genf und beraten die Piloten. Ziel dieses Flugwetterdiensts ist es, Sicherheit und Regelmässigkeit des Flugverkehrs zu verbessern.

Ob Heissluftballon, Segelflieger oder Linienflugzeug – sie alle sind dem Wetter ausgesetzt. Das wird manchmal ganz schön gefährlich: Wolken etwa können die Sichtweite stark einschränken und zu gefährlichen Vereisungen auf dem Flugzeug führen. Gewitter und Thermik können Turbulenzen verursachen. So wurde die Eroberung des Flugraums durch den Menschen nur möglich dank genauer Mess- und Meldesysteme und der immer besseren Kenntnis der atmosphärischen Bedingungen.

Spezialmessgeräte

Wichtig sind Daten zu Wolkenhöhe, Sichtweite, Nullgradgrenze, möglichen Höhenwinden, Turbulenzen und Vereisung. Die Meteorologinnen und Meteorologen beobachten von Auge und stützen sich auf Messgeräte, die speziell auf die Luftfahrt abgestimmt sind. Zum Beispiel auf das Transmissometer zur Messung der Pistensichtweite oder das Ceilometer, das die Höhe der Wolkenuntergrenze bestimmt. Daneben stehen auch Modelldaten, Radar- und Satellitenbilder sowie die aktuellsten Wettermeldungen der ganzen Welt zur Verfügung.

Individuelle Planung

Mithilfe der aktuellen Prognosen und Warnungen des Flugwetterdiensts von MeteoSchweiz berechnen die Fluggesellschaften die optimalen Flugrouten und das maximale Abfluggewicht der Flugzeuge. Die Flugsicherung wählt die geeigneten Pisten aus und bestimmt das Abflug- und Anflugverfahren für die Piloten. Vor dem Start informiert sich der Pilot zudem über die Wetterverhältnisse vor Ort sowie die Wetter-



Die Flugwetterexperten stützen sich auf Messgeräte, die speziell auf die Luftfahrt abgestimmt sind.

entwicklung entlang der Flugroute – je nachdem muss er zum Beispiel mehr Kerosin einplanen. Linien- und Charterflugpiloten beziehen die Flugwetterdaten meist an Selfbriefing-Stationen, die an den wichtigsten Orten am Flughafen platziert sind. Bei besonders schwierigen Bedingungen hält der Pilot auch direkt mit dem Flugwetterdienst Rücksprache. Zudem kann er die Prognosen während des Flugs laufend abfragen.

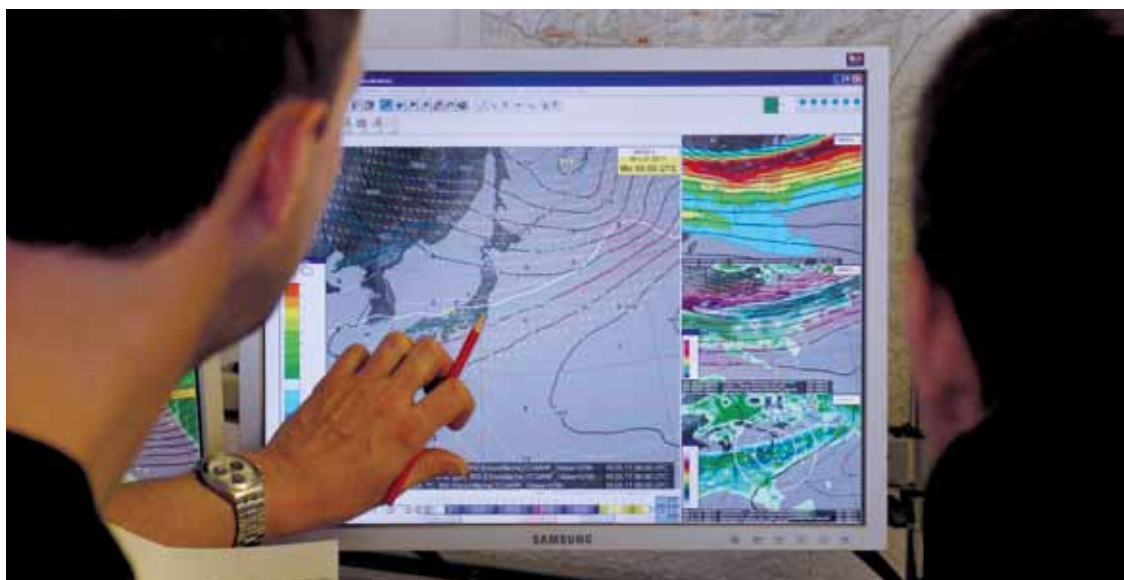
SCHUTZ DER BEVÖLKERUNG IST BUNDESAUFGABE

Die Luft in der Atmosphäre bewegt sich und transportiert bestimmte Stoffe wie Feinstaub oder radioaktive Teilchen über lange Strecken. Je genauer die Meteorologen das aktuelle Wetter kennen, desto besser können sie abschätzen, was bei Bränden oder nuklearen Störfällen mit diesen Luftschadstoffen geschieht.

Als im April 2010 der isländische Vulkan Eyjafjallajökull während Tagen Asche spuckte, sagten die Meteorologinnen und Meteorologen von MeteoSchweiz korrekt voraus, wann die Aschewolke die Schweiz erreichen würde. Dazu dienten ihnen sogenannte Ausbreitungsmodelle. Auch der Lidar in Payerne konnte die Ankunft der Aschepartikel auf etwa 6 Kilometer Höhe und das anschliessende Absinken zum Boden aufzeichnen. Ähnliche Modelle finden auch bei Waldbränden Anwendung, wie sie etwa in Russland häufig vorkommen. Diese Informationen sind vor allem für den Flugverkehr wichtig, aber auch für die Nationale Alarmzentrale (NAZ) – für den Fall, dass die Brände Schadstoffe freisetzen, die vom Wind Richtung Schweiz transportiert werden könnten. Doch wie weiss man, welche Wege die Schadstoffe nehmen? Dazu verfolgen die Meteorologen die vorhergesagten Windfelder, welche die Teilchen transportieren. Wer Startpunkt und Starthöhe der Schadstoffe kennt, kann ihre wahrscheinliche Ausbreitung in einem Modell berechnen.

Jederzeit bereit

Auch radioaktive Teilchen können vom Wind davongetragen werden. Beim Unfall im japanischen Atomkraftwerk Fukushima im März 2011 trieb die radioaktive Wolke glücklicherweise aufs



Oben: Die Meteorologen analysieren, wie sich der Wind in der Region um Fukushima entwickelt.

Unten: Murgang in Brienz (BE) nach dem Starkniederschlag im August 2005.

Meer und nicht aufs Festland – dank der damaligen Wetterlage. Käme es in der Schweiz zu einem Störfall in einem Atomkraftwerk, wäre es die Aufgabe von MeteoSchweiz, die Behörden über die aktuellen und erwarteten Wind- und Niederschlagsverhältnisse zu informieren. Anhand dieser Daten lassen sich die Ausbreitung kontaminierter Luftmassen und die Auswaschung und Ablagerung radioaktiver Stoffe vorhersagen.

Gemeinsam gegen Naturgefahren

MeteoSchweiz warnt bei Unwettern wie Starkniederschlägen und grossen Schneefällen. Besteht gleichzeitig die Gefahr von Überschwemmungen, Hangrutschen oder Lawinen, sind auch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) beziehungsweise das Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) involviert: Seit 2011 bündeln die Bundesstellen zusammen mit dem Schweizerischen Erdbebendienst (SED) ihr Fachwissen und warnen bei Naturgefahren die Behörden und die Bevölkerung gemeinsam und einheitlich. Zudem kann der Bund konzessionierte Radio- und TV-Stationen verpflichten, Warnungen der Stufen 4 und 5 (grosse und sehr grosse Gefahr) zu verbreiten. Die Bevölkerung kann sich auch auf www.naturgefahren.ch informieren. Denn eine frühzeitige Vorhersage und Warnung vor Naturgefahren kann Schäden reduzieren und Leben retten.

DIE METEOROLOGIE IN DER VERGANGENHEIT...



Seit je ist der Mensch vom Wetter abhängig. Nachdem man zunächst glaubte, Götter oder Planeten beeinflussten das Wettergeschehen, wurden Ende des 16. Jahrhunderts mit den ersten Messgeräten die Grundlagen für die moderne Meteorologie geschaffen. Eine echte Prognose für das Wetter von morgen wagten die Menschen aber erst im 19. Jahrhundert.

Überschwemmungen, Dürren oder Hurrikane – das Wetter entscheidet zuweilen über Leben und Tod. Seit Urzeiten haben die Menschen deshalb versucht, das Wettergeschehen zu verstehen. Schon in der Antike wurden Niederschlag und Wind gemessen – zudem glaubten die Menschen an einen Einfluss der Gestirne auf unser Wetter. Wie man heute weiss, ist daran tatsächlich nur die Sonne beteiligt. Um 350 v. Chr. schrieb der griechische Philosoph Aristoteles seine Wetterbeobachtungen im Lehrbuch «Meteorologica» nieder und

prägte damit den Begriff Meteorologie. Später kamen die bis heute bekannten Bauernregeln hinzu: Vor allem Bauern versuchten sich anhand von mehr oder weniger regelmässig auftretenden Witterungsphasen wie den Hundstagen oder den Eisheiligen zu orientieren.

Das Wagnis der Vorhersage

Der erste Schritt zur modernen Wetterprognose von heute war die Erfindung der ersten Messgeräte. So schuf der italienische Physiker Galileo Galilei Ende des 16. Jahrhunderts das erste Thermometer und sein Schüler Evangelista Torricelli rund 50 Jahre später das erste Barometer. Temperatur und Luftdruck sind bis heute wichtige Messgrössen für die Wetterkunde. Im 19. Jahrhundert kam mit den Wetterballons auch die Erkundung der dritten Dimension hinzu. Zudem errichtete man ab dieser Zeit weitreichende Messnetze und tauschte Daten aus, um das Wettergeschehen grossflächig beobachten zu können.

1863 nahm auch in der Schweiz ein landesweites meteorologisches Messnetz mit 88 Stationen seinen Betrieb auf. Zuerst diente es nur der Erfor-



Links:
Wetterballons erkunden Anfang des 20. Jh. die dritte Dimension.

Rechts:
Eine der ersten Wetterkarten vom 9. Februar 1864.

schung von Wetter und Klima, Prognosen wurden keine erstellt. Auf Drängen der Landwirte publizierten verschiedene Zeitungen aber schliesslich ab 1878 einen täglichen Wetterbericht.

Meilensteine des 20. Jahrhunderts

MeteoSchweiz wurde 1881 in Zürich als Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt (MZA) gegründet. 1979 wurde sie zur Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) umbenannt und 2000 zum heutigen Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Bereits in den 1930er-Jahren kamen die beiden Standorte in Genf und Locarno hinzu, 1941 die Atmosphärensondierungsstation in Payerne. Weitere Meilensteine in der Geschichte der Wettervorhersage waren ab den 1960er-Jahren die numerischen Wettermodelle, die Radarstationen und Satelliten sowie in den letzten Jahrzehnten die rasante Entwicklung der Computertechnologie.

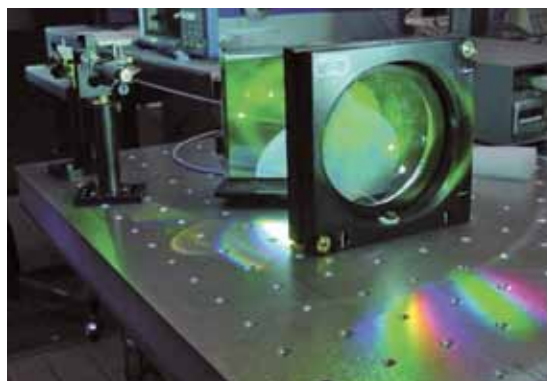
... UND IN DER ZUKUNFT

Forscher arbeiten mit verschiedenen Methoden daran, das komplexe Phänomen Wetter besser zu verstehen und die Vorhersagen zu verbessern. Das heisst: Prognosen sollen immer kleinräumiger und immer weiter im Voraus möglich sein.

Das weltweite Netz der Beobachtungsstationen ist noch ausbaubar: Regionen mit schlechter Abdeckung, etwa die Ozeane, können durch verbesserte Satellitentechnik zugänglicher gemacht werden. Und in der Schweiz will man mit moderner Radartechnik kleinräumig auftretende Niederschläge und Gewitter noch genauer vorhersagen können. Gleichzeitig werden weltweit Methoden entwickelt, um all diese Messdaten präziser auszuwerten und die numerischen Modellvorhersagen zu verbessern. So können die Wetterdienste künftig immer weiter in die Zukunft blicken und die räumliche Auflösung der Vorhersagen erhöhen. Eine hundertprozentig sichere Prognose wird jedoch nie möglich sein.

Der Mensch als Wettermacher

Angesichts des grossen Einflusses des Wetters auf die Wirtschaft überrascht es zudem nicht, dass die Menschen das Wettergeschehen – statt es aufwendig vorherzusagen – lieber selbst gestalten würden. So gibt es zum Beispiel seit Mitte des 20. Jahrhunderts Versuche, Wolken künstlich regnen zu lassen. Silberjodidkristalle werden vom Flugzeug oder von Raketen aus in die Wolken gebracht. Sie dienen dort als Kondensationskeime, an die sich der Wasserdampf anlagert, bis es zum Abregnen kommt. Diese Methode, Wolken vor grossen Ereignissen quasi zu «entleeren», ist jedoch sehr teuer und ebenso



umstritten. Viel wahrscheinlicher ist, dass das Wetter auch in Zukunft machen wird, was es will.

Unten:
In der Atmosphärensondierungsstation von MeteoSchweiz in Payerne kommt modernste Messtechnik zum Einsatz. Der LIDAR ermittelt mit Hilfe von Laserstrahlen die Temperatur und den Wasserdampfgehalt in verschiedenen Luftschichten.

Oben:
Damit Gewitter- und Niederschlagszellen in Zukunft noch genauer erfasst werden können, investiert MeteoSchweiz in die Erneuerung und Erweiterung des Radarnetzes.

HÄUFIGE FRAGEN



Warum sind Wolken und Nebel manchmal weiss und manchmal grau?

Eine Wolke ist eine Ansammlung sehr feiner Wassertröpfchen, die alle Wellenlängen des Sonnenlichts gleichermassen streuen: Kleinere Wolken erscheinen daher weiss. Je grösser die Wolke und je mehr Wassertröpfchen sie enthält, umso weniger Licht lässt sie durch und erscheint deshalb dunkler. Schwarze Wolken sind so mächtig und voll mit Tröpfchen, dass sie gar kein Licht mehr passieren lassen. Sie sind ein Zeichen für sehr starken Regen.

Lässt sich das künftige Wetter auch an der Natur ablesen?

Der Wahrheitsgehalt von Prognosen, die aus Veränderungen in der Natur das künftige Wetter ableiten, ist wissenschaftlich schwer abzuschätzen. Man darf aber davon ausgehen, dass einige Tiere und Pflanzen die Veränderungen in der Atmosphäre durchaus wahrnehmen können. So fliegen beispielsweise Insekten bei tiefem Luftdruck, also drohendem Schlechtwetter, eher in Bodennähe. Schwalben fressen Insekten und fliegen daher typischerweise auch tiefer. Etwas genauer sind Pflanzenbeobachtungen: Je weiter sich etwa Tannenzapfen öffnen, desto geringer ist die Luftfeuchtigkeit. Dies ist so, weil die Pflanze dann mit Vorliebe ihre Samen freisetzt, die weiter fliegen können, wenn sie nicht nass werden.

Welches ist die kälteste und welches die heisseste Temperatur, die jemals in der Schweiz gemessen wurde?

Der durchschnittlich wärmste Ort der Schweiz mit einer verfügbaren Messreihe ist Locarno-Monti mit einem Jahresmittel von 11,5 Grad; der durchschnittlich kälteste Ort das Jungfrauoch mit einem Jahresmittel von -7,5 Grad.

Auf den bisher absolut höchsten gemessenen Wert von 41,5 Grad stieg die Temperatur am 11. August 2003 in Grono in Graubünden; auf den absolut tiefsten Wert von -41,8 Grad sank sie am 12. Januar 1987 in La Brévine im Neuenburger Jura. Da das Messnetz jedoch nicht die gesamte Schweiz abdeckt, gibt es vermutlich Orte, die noch extremere Bedingungen aufweisen als jene an den bekannten Messstandorten.

Gibt es auch in der Schweiz Tornados?

Tornados sind auch in Mitteleuropa anzutreffen. In der Schweiz haben sie in der Regel nur geringe Intensität und treten meistens auf Seen auf – man nennt sie hier auch Wasserhosen. Am grössten ist die Gefahr während heisser Sommertagen bei ausgeprägter Gewitterneigung. Am häufigsten treten Tornados daher im August auf, etwas weniger häufig im Juni. Tornados unterscheiden sich in ihrer Entstehung von den typischen tropischen Wirbelstürmen wie Hurrikan, Taifun oder Zyklon und haben viel kleinere Durchmesser.



Warum ist der Himmel blau und bei Sonnenaufgang und -untergang rot?

Das Sonnenlicht wird auf seinem Weg durch die Atmosphäre von winzigen Luftteilchen gestreut. Nur deshalb können wir den Himmel sehen – ohne diese Streuung wäre er schwarz wie das Weltall. Das kurzwellige blaue Licht wird dabei am stärksten von seinem Weg abgelenkt, deshalb sieht der Himmel blau aus. Steht die Sonne aber morgens und abends knapp über dem Horizont, muss das Licht eine längere Strecke bis zum Erdboden zurücklegen. Das Blau wird dabei so stark weggestreut, dass kaum noch etwas am Boden ankommt. Nicht so das langwellige Licht: Es überwiegt am Ende und färbt den Morgen- und Abendhimmel zu einem gewaltigen Feuerspiel in Rot und Orange.

Die Streuung des Sonnenlichts in der Atmosphäre bestimmt die Farbe des Himmels.

Bildnachweise

Titelbild: Isabel Plana

Porträtbilder/S. 6, 10, 14, 16: Isabel Plana

S. 3: Jungfraubahnen AG (oben)

S. 4: Daniel Gerstgrasser

S. 5: Stefano Zanini (unten)

S. 7: Markus Aebischer (unten)

S. 8: Didier Ulrich (oben)

S. 11: gut&schön

S. 12: Markus Aebischer

S. 15: Markus Aebischer

S. 17: Isabel Plana (oben, Mitte), Wolfgang Jargstorff/Fotolia (unten)

S. 19: Schweizer Luftwaffe (unten)

S. 21: Isabel Plana (oben)

S. 22: Mark Liniger Kerland (oben), Daniel Gerstgrasser (unten)

Alle übrigen Bilder und Grafiken: MeteoSchweiz

MeteoSchweiz
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich

T +41 44 256 91 11
www.meteoschweiz.ch

MeteoSchweiz
Flugwetterzentrale
CH-8060 Zürich-Flughafen

T +41 43 816 20 10
www.meteoswiss.ch

MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno-Monti

T +41 91 756 23 11
www.meteosvizzera.ch

MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2

T +41 22 716 28 28
www.meteosuisse.ch

MétéoSuisse
Chemin de l'Aérologie
CH-1530 Payerne

T +41 26 662 62 11
www.meteosuisse.ch