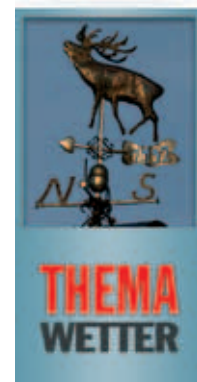


# Moderne Wettervorhersage <sup>1</sup>



*Wetter und Wettervorhersage erwecken unser aller Interesse, private und kommerzielle Interessen werden eng mit der Wetterprognose verknüpft. Mittlerweile wird die Erwartungshaltung im Wetterbericht laufend höher, auf die Stunde genau will man das Eintreffen des Regens wissen, rechtzeitig vor Unwettern gewarnt werden und das zu erwartende Schadensausmaß mitgeteilt bekommen. Auch für den Jäger ist der Wetterbericht von größter Bedeutung. – Teil 1.*

 **Dr. Herbert Gmoser**  
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

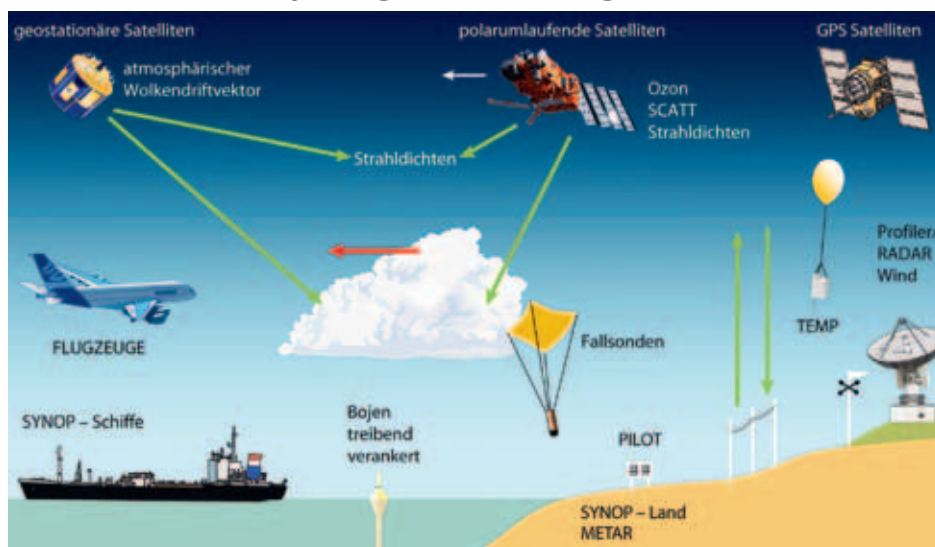
**W**as ist eigentlich das Wetter? Was ist die wissenschaftliche Wetterkunde, die Meteorologie? – Die Meteorologie ist eine Physik der Atmosphäre und eine relativ junge Wissenschaft. Eine Erfolg versprechende Forschung konnte zu dem Zeitpunkt einsetzen, zu dem die Prinzipien der Physik bekannt und daraus abgeleitet die Gleichungssysteme, welche die Bewegungen in der Atmosphäre beschreiben, formuliert waren. Für den Meteorologen ist das Wetter ein Prozess, der nach den Prinzipien der Physik abläuft. Das Wettergeschehen ist daher eine räumliche und zeitliche Variation definierter meteorologischer Größen. Klingt verhältnismäßig einfach, sofern man sich über die Art der wetterbestimmenden Faktoren einigt. In der Realität ist das Wetter aber außerordentlich kompliziert. Es sind dem Grunde nach sieben Größen ausreichend, um das Wettergeschehen richtig zu erfassen: die meteorologischen Elemente Luftdruck, Lufttemperatur, Wind in seiner räumlichen Verteilung, Luftfeuchte und Luftdichte. Um die Wetterentwicklung verstehen zu lernen, müssen wir von der räumlichen (dreidimensionalen) Verteilung der meteorologischen Elemente auf

unserem Globus Kenntnis erhalten, möglich nur durch eine gigantische internationale Zusammenarbeit. Diese Kooperation wird von der World Meteorological Organization (WMO, eine Unterorganisation der UNO) gesteuert. An den einzelnen Netzwerkknoten laufen nach einem definierten Protokoll die regionalen Beobachtungsdaten zusammen, um dann über das globale Netzwerk weltweit ausgetauscht zu werden.

## Wetterbeobachtung

Das Wetter gibt einen räumlichen Zustand wieder, zu dessen Erfassung wir die wichtigen Informationen der freien Atmosphäre benötigen. Eine Bodenwetterbeobachtung allein genügt keinesfalls zur Beschreibung des Wetters, benötigt werden Daten von den Luftschichten darüber. Dies erfolgt neben den Standardradiosonden (Wetterballone) auf dem

**Übersicht über die Mess-Systeme globaler Beobachtungsdaten**



Festland unter anderem mittels Satelliten, mobilen Radiosonden auf Schiffen und mittels Flugzeugen.

Vor 50 Jahren hatten es die Meteorologen mit der Erstellung ihrer Wetterprognosen nicht leicht, für jede Vorhersage mussten die dafür erforderlichen physikalischen Felder mühselig aus spärlich vorhandenen Beobachtungsdaten per Hand zusammengefügt (interpoliert) werden. Diese Daten stammten meist von ungleichmäßig über das Land verteilten Wetterstationen. Höheninformationen bekam man nur von wenigen Messungen, die mittels Wetterballons durchgeführt wurden. Über den Meeren, die immerhin 71 % unserer Erdoberfläche bedecken, erhielt man, abgesehen von ein paar sporadischen Schiffsmeldungen, so gut wie überhaupt keine Daten. Wettersatelliten standen zu dieser Zeit noch nicht zur Verfügung. Basis des Fortschritts der modernen Wettervorhersage ist das weltumspannende System der kontinuierlichen Beobachtung aller atmosphärischen Vorgänge. Mithilfe von Wetterstationen, Schiffen, Flugzeugen, Bojen, Satelliten- und Radarnetzen, neuerdings auch mit Blitzortung, sollen möglichst alle Wetterelemente erfasst werden. Es stehen aus allen Ländern der Nord- und Südhalbkugel zumindest alle sechs Stunden Wetterbeobachtungen zur Verfügung. So sind innerhalb von 24 Stunden rund 60.000 dieser Wetterbeobachtungstelegramme aus aller Welt greifbar.

Nimmt man die Satellitensignale und die automatisch erfassten Wetterdaten dazu, sind täglich 300 Mio. Beobachtungsdaten vorhanden.

## Wettersatelliten

Wettersatelliten helfen, fehlende Datensätze vor allem über den Ozeanen zu ergänzen, sie erfassen Daten der Oberflächentemperatur von Land, Wasseroberfläche und Wolken. Satellitenbilder geben eine gute Übersicht über die Verteilung, Struktur und Bewegung von Wolken und damit von Wettersystemen. Daraus lassen sich deren Stärke und Entwicklung ableiten. Das Zentrum der Datenaufbereitung der Wettersatelliten in Europa ist EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) in Darmstadt.

## Wettervorhersage heute

Die Qualität der Wettervorhersage in der Simulationsberechnung der atmosphärischen Vorgänge wird von der Genauigkeit der modellierten Prozesse sowie von der Komplexität des Datenassimilationsystems (System für die Zusammenführung aller Messergebnisse) bestimmt. Diese Datenassimilation erlaubt, große und vor allem inhomogene, verteilte Beobachtungsdaten von Satelliten für genaue Modellanalysen zu verarbeiten. Mit diesen Analysen werden die Vorhersage-

berechnungen zu Beginn versorgt. Die Assimilation von Satellitendaten hat in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht und wesentlich zur Vorhersagegenauigkeit beigetragen.

Für die Wettervorhersage genügt es nicht, nur den aktuellen Wetterzustand zu kennen. Die heutigen Verfahren einer gesicherten Wettervorhersage basieren auf einer geeigneten Simulation der Atmosphäre. Diese Simulation beinhaltet in der Art eines Modells jene Gleichungssysteme, die den Zustand des Wetters nach den Grundsätzen der Physik beschreiben können. Neben dieser räumlichen Beschreibung des Wetters ist es mit einem solchen Modell möglich, die zeitliche Variation des Wetterzustandes (das künftige Wetter) zu erfassen. Damit ist der Meteorologe in die Lage versetzt, die künftigen physikalischen Zustände des Wetters vom Computer berechnet zu bekommen und die Ergebnisse in Form einer verständlichen Prognose zu interpretieren. Die Wettervorhersage erreicht damit den vierdimensionalen Bereich. Dreidimensional (räumlich) ist der aktuelle Wetterzustand repräsentiert. Mit dem Simulationsmodell und der Berechnung in die Zukunft wird die Zeit als vierte Dimension hereingenommen. Die Atmosphäre wird durch eine Art Netz horizontal und vertikal umspannt. Das derzeit routinemäßige Modell hat 91 Berechnungsflächen in der Vertikalen und einen horizontalen Gitterpunkteabstand von

**Das Hauptgebäude von EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) in Darmstadt**

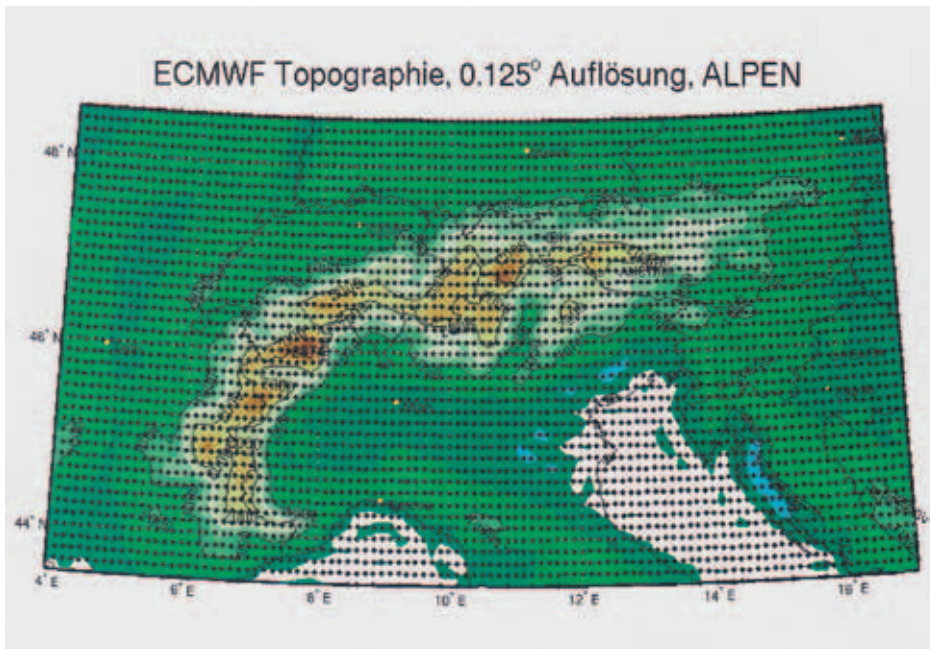


**Erster europäischer Pol umlaufender Satellit in 800 km Höhe**



Fotos www.eumetsat.int





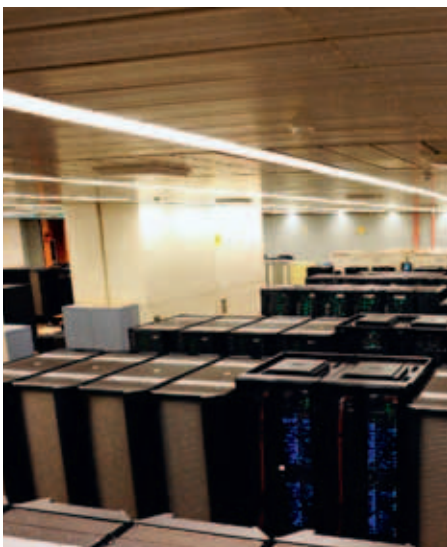
**Gitterpunkteausschnitt des aktuellen Simulationsmodells über den Alpen mit einem horizontalen Gitterpunktabstand von 16 km**

16 km. Dementsprechend ist ein Vielfaches an Rechenoperationen erforderlich, 200 Mio. Gitterpunkte sind in ihrer räumlichen Verteilung zu berechnen. Zurzeit wird eine 10-Tage-Vorhersage mit Hochleistungsrechnern unter einer Stunde Rechenzeit bewältigt. Die Berechnungen werden zweimal pro Tag um 00:00 GMT (Greenwich Mean Time) und um 12:00 GMT durchgeführt. Täglich wird dabei ein Datenvolumen von mehr als 10 Terabyte bewältigt. Der Fortschritt

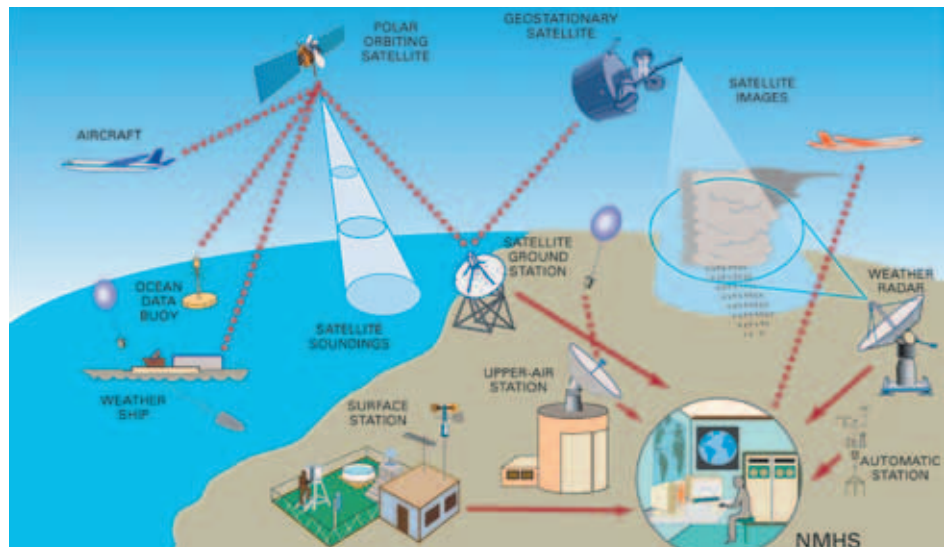
in der Wettervorhersage ist eng mit der Entwicklung der Hochleistungsrechner verknüpft und von deren verfügbarer Leistung direkt abhängig. Ähnliches gilt auch für weitere Teildisziplinen der Meteorologie, wie Klimatologie, Klimaforschung und Umweltmeteorologie. Heute sind 20 bis 40 Teraflops (20–40.000 Mrd. Rechenoperationen pro Sekunde) die Grundvoraussetzung für eine normale Rechnerleistung in der Wettervorhersage. Für die maximale Computerleistung

stehen im Augenblick 290 Teraflops zur Verfügung. Eine solche Computeranlage steht dem European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) in Reading, England, zur Verfügung. Es würde wenig Sinn machen, wenn jeder europäische Wetterdienst mit einer eigenen kostspieligen Recherausstattung und einem enormen technischen sowie personellen Aufwand die gleichen Ergebnisse produziert. Die Daten von ECMWF werden den Mitgliedsländern über Hochgeschwindigkeitsleitungen übermittelt. Das European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) wurde 1975 von 17 europäischen Staaten gegründet, sein Sitz liegt etwa 60 km westlich von London in der englischen Stadt Reading. Zu den Gründungsmitgliedern sind heute weitere 15 Kooperationsstaaten aus Europa dazugekommen, die sich sowohl finanziell als auch aktiv an dieser internationalen Organisation beteiligen. Weitere Kooperationsabkommen wurden mit 7 internationalen Institutionen abgeschlossen. Das jährliche Budget liegt derzeit bei etwa 50 Mio. Euro. Deutschland trägt mit etwa 20% den mit Abstand größten Anteil (Österreich 2,2%). Die vom ECMWF zur Verfügung gestellten Produkte sind zurzeit die besten auf dem Gebiet der mittelfristigen Wettervorhersage. Wetterdienste aus Übersee beneiden Europa um diese Institution.

**IBM Supercomputer, installiert im Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage**



**Kontinenteübergreifendes Zusammenspiel von Messdaten und Computeraufbereitung in den einzelnen Wetterdienstzentralen (NMHS, National Meteorological Hydrometeorological Service)**



## Prinzip der Wettervorhersage

Die Wettervorhersage beruht auf der Kenntnis des aktuellen physikalischen Wetterzustandes und der Interpretation vorausberechneter Wetterzustände mittels Simulation der Atmosphäre. Daraus wird in allgemein verständlicher Form die Wettervorhersage durch den Meteorologen formuliert. Wichtig dabei ist eine objektive Interpretation der Computerergebnisse.

In der heutigen Erfassung der Abläufe in der Atmosphäre liegt einer der Unterschiede in der Wettervorhersage gegenüber jener vor mehr als 40 Jahren. In den 1970er-Jahren fanden die ersten brauchbaren Simulationsergebnisse der Atmosphäre Eingang in die praktische Wettervorhersage. Hat man vor dieser Zeit den Istzustand (Analyse des Wetters), soweit er überhaupt in seiner wahren Dimension erfassbar war, diagnostiziert, wurde die Vorhersage auf Basis einer empirischen Verlagerung (Erfahrung) von Tief- oder Hochdrucksystemen sowie von vorhandenen Frontensystemen abgeschätzt. Der Meteorologe hatte neben der damals spärlich vorhandenen dreidimensionalen (räumlichen) Kenntnis im Wetter auch noch in der vierten Dimension, der Zeit, den Wetterverlauf subjektiv abzuschätzen. Eine Vorgangsweise, die wiederholt nicht zum gewünschten Ergebnis führte

und den Vorhersagemeteorologen oft herbe Kritik einbrachte. Dazu kommt noch, dass damals für die erste Morgenprognose dem Meteorologen an Wettermeldungen aus Österreich nur 10 Wetterbeobachtungen zur Verfügung standen. Heute liegen aus Österreich im Zeitschritt von 10 Minuten mehr als 260 Wetterinformationen vor.

Die einzelnen Messdaten werden heute nur noch auf digitaler Grundlage gesammelt und den einzelnen Wetterdiensten über ein eigenes Übertragungsprotokoll zugeführt. In diesen nationalen Wetterdienstzentralen NMHS (National Meteorological Hydrometeorological Service) erfolgt über ausgeklügelte Computerprogramme die Bereitstellung des Istzustandes (Diagnose) der Atmosphäre. Diese Aufbereitung ist der erste Schritt für die routinemäßige Wettervorhersage. Neben der uns bekannten Problematik in der Konvektion, insbesondere in der Ausbildung von Gewitterzellen, dem Einfluss der bodennahen Luftschicht, ob bewachsen oder karg, dem Einfluss der Gebirge als Hindernis in der Strömung ist die Energiezufuhr von der Sonne die Antriebsmaschine für die Wetterprozesse. Die kurzwellige Strahlung von der Sonne und ihre Umwandlung durch die Erdoberfläche in eine langwellige Komponente sind Basis für die Wetterabläufe. Nicht vergessen werden darf dabei das

unermessliche Reservoir an Speichervermögen von Energie durch die Ozeane. Hier liegt noch ein großes Forschungsgebiet in der Meteorologie, um die Wechselwirkung zwischen dem Medium Meer und der Atmosphäre besser verstehen zu können.

Die Modellberechnung und damit die Ergebnisse für die Wettervorhersage erfolgen auf einem den Globus umspannenden Netz. An jedem Gitterpunkt müssen Druck, Temperatur, Wind, Wasserdampf und Wolken zum Anfangstermin, sprich zum Starttermin der Vorhersageberechnungen, vorgegeben sein (das heißt Istzustand der Atmosphäre = Diagnose). Dann wird die zukünftige Wetterentwicklung auf der Grundlage der Modellgleichungen mittels eines Simulationsmodells der Atmosphäre berechnet.

Zur Vorhersage für eine Stunde im Voraus genügt es zu wissen, wie das Wetter in der näheren Umgebung ist. Gewöhnlich genügen 50 bis 100 km. Eine derartige Kurzfristvorhersage kann in der Folge einen Zeitraum bis zu 6 Stunden umspannen, wenn gleichzeitig auch erste Kurzfristmodellergebnisse mit einfließen. Siehe dazu die „Wetteranalyse INCA“ auf der Website der ZAMG ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at)). Für einen Tag im Voraus benötigt man bereits Daten aus ganz Europa. Für zwei bis vier Tage müssen aktuelle Beobachtungen vom Nordpol bis zum Äquator und von Mittelasien bis zu den amerikanischen großen Seen vorliegen. Will man aber fünf- bis zehntägige Prognosen erstellen, werden bereits globale Datensätze benötigt. In dieser Zeitspanne beeinflussen das Wetter in unseren Breiten bereits Vorgänge auf der Südhalbkugel. Eine Verifikation über den Zeitraum 1980 bis 2011 zeigt, dass heute im Mittel bei zumindest 60% erreichbarer Vorhersagegüte ein Wettertrend bis acht Tage und auch darüber hinaus möglich ist. Dennoch gibt es in der Atmosphäre „chaotische“ Komponenten, die nicht berechenbar sind.

*Die Teile 2 bis 4 folgen in den kommenden Ausgaben.*

**Literatur:** Eine Literaturliste kann in der Redaktion angefordert werden.

### Gitterpunktenetz mit Detailausschnitt

