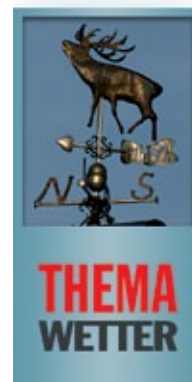


Moderne Wettervorhersage ③



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 und rechtzeitig vor möglichen Unwettern gewarnt werden. Auch für den Jäger ist der Wetterbericht von größter Bedeutung. – Teil 3.



Dr. Herbert Gmoser
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

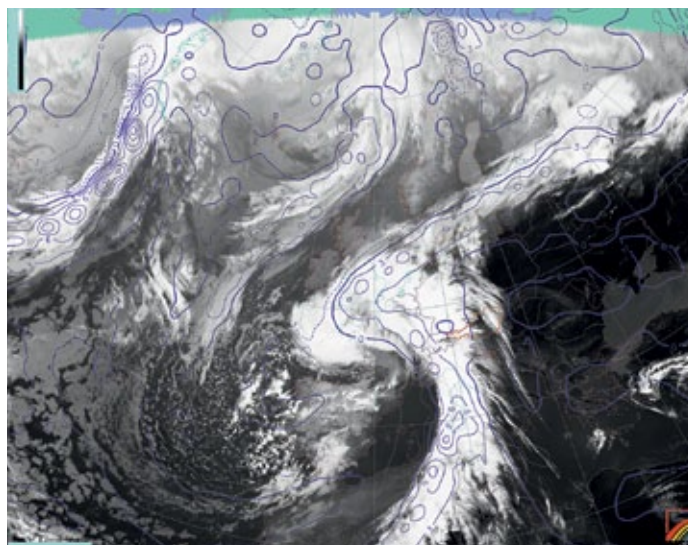
Jeder Schritt in der Wettervorhersage greift auf eine physikalische Basis zurück. Die moderne Wettervorhersage eröffnet mit Computerunterstützung eine Vielfalt an Hinweisen für mögliche Wetterprozesse, die der Vorhersagemeteorologe je nach Wetterlage zu berücksichtigen hat, um eine gesicherte Prognose erstellen zu können. Es ist wichtig zu wissen: Das Wetter wird nicht gewürfelt. Die physikalischen Prozesse und ihre Rückkoppelungen in einem Zirkulationsmodell der Atmosphäre sind sehr komplex. Mehrfachkombinationen der Wetterzustände sind an der Tagesordnung in ihrer räumlichen und zeitlichen Ausdehnung. Diese Prozesse räumlich und zeitlich im Kopf zu erfassen und richtig zu interpretieren ist ein nahezu unmögliches Unterfangen für den Meteorologen. Hier zeigen sich die Stärken einer Modellierung der Atmosphäre, die laufend nach den Möglichkeiten steigender Computerleistungen erweitert werden.

Wetter vorausberechnen?

Die Meteorologie ist eine Physik der Atmosphäre. Als angewandte Wissenschaft

nutzt sie das Wissen und die Gesetze der klassischen Mechanik und Hydrodynamik, der Thermodynamik und Chemie. Dies führt zu einem meteorologisch-naturwissenschaftlichen Weltbild. Die klassische Physik beschreibt ihre Gesetze in vorherbestimmbaren, mathematischen Gleichungen. Dies bedeutet für die Wettervorhersage, dass bei genauer Kenntnis des Anfangszustandes (= Diagnose der Wetterbeobachtungen aller

Art) das zukünftige Verhalten der Atmosphäre berechnet werden kann. Die moderne Meteorologie versucht mit Computersimulationen einer Modellatmosphäre das Problem der Wettervorhersage zu lösen. Es gilt, mit dieser Modellatmosphäre möglichst genau die reale Atmosphäre mittels physikalischer Gesetze zu beschreiben. Diese Aufgabe ist erfolgreich zu bewältigen, wenn die Anfangsbedingungen genau bekannt sind.



Numerischer Frontenparameter als abgeleitete Größe, dem zugehörigen Satellitenbild überlagert

Foto www.eumetrain.org

Neue Präzision

Lange Zeit war die Wettervorhersage direkt von der Feldverteilung meteorologischer Größen abhängig. Das Feld der Luftdruck- bzw. Temperaturverteilung, wie zum Beispiel eine Wetterkarte, war u. a. Basis für Überlegungen in der Wettervorhersage. Die daraus abgeleiteten Ergebnisse haben nicht immer den gewünschten Erfolg gebracht. Mit dem Einsatz leistungsfähiger Computer und der Ausnutzung verbesserter Vorhersagemodelle ist in der Wettervorhersage eine Wende in der Betrachtungsweise von vorausgerechneten Feldverteilungen eingetreten. Mit der Möglichkeit der Einführung sogenannter „abgeleiteter Größen“, das sind zeitunabhängige Diagnoseparameter, die sowohl auf Analyse- wie auch auf Vorhersagefelder angewendet werden können, zeigte sich, dass die damit definierten Stromfeldeigenschaften viel stärker mit dem „wahren“ Wetter gekoppelt sind als die Feldverteilungen selbst. In einem Stromfeld, wie der Atmosphäre, wird bei jeder Bewegung Luft transportiert, wie beispielsweise in einem Hoch oder Tief. Diese zeitlichen Änderungen der Feldverteilungen sind für den Meteorologen ein geeignetes Werkzeug zur besseren Einschätzung des aktuellen Wetters und zur vertiefenden Interpretation der künftigen Wetterzustände. Als Beispiel für eine abgeleitete Größe sei der Frontenparameter angeführt, der in der Diagnose (= Analyse des Wetterzustandes) zusammen mit dem Satellitenbild Gebiete möglicher Wetterfronten zeigt. Die ZAMG hat auf diesem Sektor europaweit bahnbrechend gewirkt (siehe Seite 24).

Verteilung der geostationären und polarumlaufenden Wettersatelliten



Foto: www.wmo.int

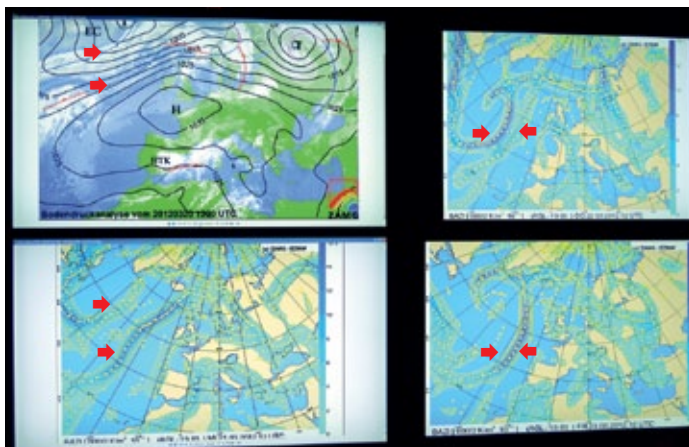
Vorteile für den Moderator

Da die abgeleiteten Größen auch in den Vorhersagekarten eingesetzt werden, finden sie für eindeutige Verlagerungen von aktiven Wetterzentren in der bilddarstellenden Vorhersage Verwendung. Der numerische Frontenparameter kann nicht nur Meteorologen, sondern auch TV-Moderatoren in der medialen Aufbereitung des Wetterberichts von großem Nutzen sein.

„Augen im Weltall“

Der Einsatz der Wettersatelliten begann am 1. 4. 1960 mit dem amerikanischen Satellit TIROS 1. Er war der erste Satellit, der über eine Kamera Bilder von Wolkenfeldern aus dem All zur Erde sendete. Heute umspannt ein ganzes Netz von Wettersatelliten unsere Erde. Zum einen gibt es die geostationären Wettersatelliten, wie zum Beispiel der neueste europäische Satellit der Meteosat

Second Generation. Dieser befindet sich in einer Höhe von 35.786 km über dem Äquator. Von der Erde aus betrachtet, steht er immer an einem festen Punkt, da er sich mit derselben Geschwindigkeit wie die Erde bewegt. Die geostationären Satelliten liefern alle 5 bzw. 15 Minuten ein Bild mit der Auflösung von etwa 4–5 km. Die Auflösung nimmt an den Bildrändern und in Richtung der Pole ab. Der 2. Typus umfasst die polarumlaufenden Satelliten, wie zum Beispiel jene der NOAA (= US-National Oceanic and Atmospheric Administration) oder der ESA (= European Space Agency). Diese tasten die Erde beim Flug von Pol zu Pol in einer Höhe von etwa 800 km ab. Der Vorteil liegt in der höheren räumlichen Auflösung bis zu 1 km. Solche Satelliten sind auch mit Geräten ausgestattet, die eine Bodeninformation zwischen 1 m und 100 m für strategische Interessen ermöglichen. Diese Art von umlaufenden Satelliten benötigt für einen Umlauf 100 Minuten. Die Erdoberfläche wird dabei in 12 Stunden einmal komplett abgetastet. Seit 2008 gibt es auch Pol umlaufende Satelliten der ESA.



Numerischer Frontenparameter in Diagnose und Vorhersage an der Video Wall der ZAMG, Abteilung Wettervorhersage: links oben die Analyse, links unten zeigen die Pfeile die Verlagerung der Kaltfronten in 24 Std., rechts oben in 48 Std. und rechts unten in 72 Std. Nach 72 Std. sind beide Kaltfronten zu einer Kaltfront zusammengewachsen.

Was messen Wettersatelliten?

Wettersatelliten sind passive Messgeräte, die keine Strahlung aussenden, wie beispielsweise ein Radar. Sie messen die von der Erde reflektierte oder ausgesendete Strahlung. Doch wird nicht nur Strahlung im sichtbaren Bereich des Spektrums (= reflektiertes Sonnenlicht) gemessen, sondern auch die unsichtbare Infrarot- (= Wärme-)Strahlung. Da die Erde nachts

ebenso Wärmestrahlung im Infrarotbereich aussendet, kann man auch in der Nacht Satellitenbilder empfangen. Kombiniert man mehrere Messbereiche des Spektrums sowohl im infraroten wie auch im sichtbaren Bereich, so kann man daraus verschiedene physikalische Eigenschaften der Atmosphäre ableiten. Zum Beispiel erhält man Informationen über die Verteilung des Wasserdampfs, über physikalische Eigenschaften von Wolken und sogar Temperaturprofile. Damit liefern Wettersatelliten nicht nur Daten für die Eingabefelder der Wettermodelle, sondern auch wertvolle Informationen zur Analyse der aktuellen Wetterlage und aktuelle Daten für die Atmosphärenforschung. Die Erfassung dieser räumlich ausreichend verteilten Eigenschaften unserer Atmosphäre ist nur mit Methoden der Fernerkundung mithilfe von Wettersatelliten möglich. Dadurch erhalten wir zum Beispiel eine globale Verteilung der Bewölkung, horizontale Felder der Feuchte und vertikale Profile der Wolkenrückstreuung. Diese Parameter sind für zahlreiche Anwendungen, die den atmosphärischen Energie- und Wasserhaushalt betreffen, von großer Bedeutung. Aktive Verfahren hingegen, wie z. B. Radiosonden (= Wetterballone) oder Flugzeugmessdaten, haben zwar eine bessere Auflösung in der Vertikalen, dafür aber eine schlechte räumliche Abdeckung. Die Kunst der Fernerkundung mittels

Beispiel eines aktiven Messverfahrens für Daten aus der Atmosphäre, Radiosondenaufstieg (= Wetterballonaufstieg) an der ZAMG, Wien, Hohe Warte



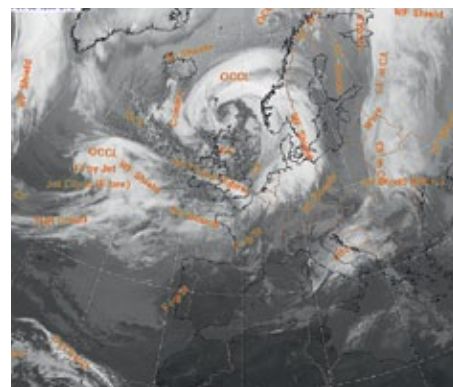
Fotos www.zamg.ac.at

Satellitendaten besteht darin, den gefragten Parameter (= Messelement) durch geschickte Wahl der beobachteten Spektralbereiche, durch Kombination unterschiedlicher Methoden und durch Hinzunahme zuverlässiger Zusatzinformationen möglichst genau zu erfassen. Diese Fernerkundung wird zumeist als meteorologische Messmethode wahrgenommen, ist aber in vielen Fällen eine angewandte Strahlungstransporttheorie. Mit diesen Methoden in der Fernerkundung werden komplexe meteorologische Prozesse sichtbar, die zum Prozessverständnis der Wetterabläufe in der Atmosphäre und zur Beweisführung von Wettersimulationsmodellen beitragen.

Satellitenmeteorologie

Mit der Einführung des Satellitenbildes stand dem Meteorologen der Istzustand der Atmosphäre – von oben betrachtet – zur Verfügung. Nun stellte sich alsbald die Frage: Was bedeutet dieses oder jenes Wolkenfeld? Hier kam der Einsatz abgeleiteter Größen zum Tragen, und die Geburtsstunde einer objektiven Satellitenbilddiagnose war gegeben. Rasch kann nun der Meteorologe zu einer Diagnose des Satellitenbildes kommen. Diese Satellitenbilddiagnose wird vom Meteorologen der Satellitenmeteorologie aufbereitet. Daneben leistet u. a. die Satellitenmeteorologie wesentliche Beiträge zur Diagnose von Nebelzonen und zur Differenzierung diverser Wolkenstrukturen, insbesondere bei Gewitterzellen. Dieser Satellitenreport, eine anerkannte Initiative der ZAMG, wird in Europa in englischer Sprache verbreitet.

Viele Betrachter von Satellitenbildern meinen, sie können vom augenblicklichen Satellitenbild ausschließlich auf die Wetterprognose von morgen schließen. Das im Moment über den Britischen Inseln liegende Wolkenfeld soll das Wetter von morgen im Alpenraum bestimmen. Das ist häufig nicht der Fall, kann doch aus einer Satellitenbilddokumentation nicht auf die Verlagerungsgeschwindigkeit eines Frontensystems, auf die laufenden Umlagerungen innerhalb der Luftmasse, auf Neubildung oder Abschwächung von Gewitterherden und auf die zu erwartende Niederschlagsintensität sowie auf



www.eumetrain.org

Täglicher SATREP (= Satellitenreport) der ZAMG

eine Intensivierung der Windgeschwindigkeit für eine Sturmwarnung geschlossen werden. Es mutet verständlicherweise an, durch eine einfache Verlagerung von Wolken die Prognose für morgen abbilden zu können. Leider vergisst man dabei: Einfache Antworten in der Natur sind falsch. Die Natur ist bei Weitem komplexer, als dass eine einfache Antwort die Lösung bringt.

Wettervorhersage in Österreich

Am 1. 7. 1865 erschien die erste Wetterkarte der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Die Wetterkarte, mit der der Wetterdienst in Österreich seine Arbeit begann, bestand aus zwei Teilen: Der erste Teil war eine Karte mit Linien gleicher Abweichung des Luftdrucks vom Normalwert, da die Stationshöhen noch zu wenig genau bekannt waren, um den Druck auf Meeresebene zu reduzieren. Die Methode von damals ist mit den heute in Verwendung stehenden Werkzeugen in der Wettervorhersage nicht zu vergleichen. Die zweite Karte zeigt Linien gleicher Abweichung der Temperatur und den Himmelszustand. Das Meldernetz umfasste die Stationen Wien, Lesina (Hvar), Pola, Triest, Mailand, Ancona, Bludenz, Ischl, Klagenfurt, Prag, Krakau, Lemberg (Lwiw), Agram (Zagreb), Szegedin, Debresin und Hermannstadt (Sibiu).

Fronten auf der Wetterkarte

Als Front bezeichnet man die Schnittlinie einer Fläche am Boden bzw. auf der Bodenvetterkarte, welche zwei Luftmassen

mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften voneinander trennt. Letztlich ist eine Front die Projektion der physikalischen Vorgänge in der Vertikalen unserer Atmosphäre auf die Erdoberfläche. Man bedenke, das Wetter spielt sich nicht am Boden ab, sondern in den Luftschichten darüber. Beim Übergang von einer Luftmasse zu einer anderen erfolgt die Änderung dieser physikalischen Eigenschaften (z. B. Temperatur, Dichte, Feuchtigkeit) streng genommen kontinuierlich. Meist wird diese Änderung sprunghaft empfunden, sodass man zu Recht von Grenzflächen (= Fronten) zwischen den Luftmassen spricht. Diese Änderungen an den Grenzflächen machen das Wesentliche im Wetterverlauf aus und geben Aufschluss über den zu erwartenden Niederschlag, möglichen Sturm und die Änderungen in der Temperatur.

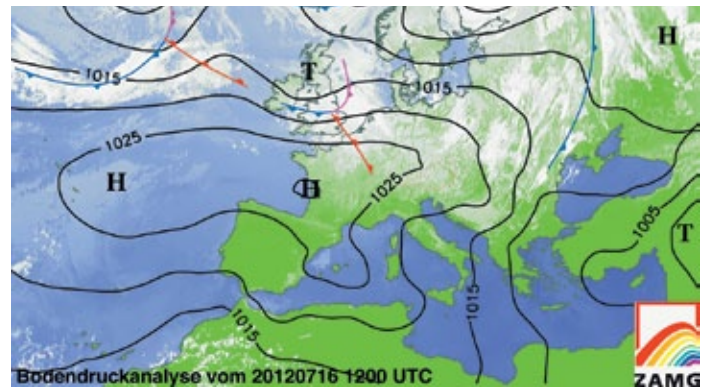
Verhaltensmuster

Trotz physikalischer Gesetze liegen in der Atmosphäre biologische Verhaltensmuster vor. Laufend entstehen und vergehen Strukturen, die an Individuen erinnern. Am auffälligsten ist dies beim „Entstehen“ und „Sterben“ von Tiefdruckgebieten. Als gesichert gilt, dass die Grenze der Vorhersagbarkeit sehr eng mit der jeweiligen Lebensdauer des zu prognostizierenden atmosphärischen Merkmals zusammenhängt. Eine einzelne sommerliche Gewitterzelle zum Beispiel „lebt“ selten länger als zwei Stunden. Hat sie sich aber mit anderen „verbündet“ und einer gewissen Ordnung unterworfen, z. B. zu einer Schauer- und Gewitterstaffel an einer Kaltfront, dann steigen die Chancen ihrer Vorhersagbarkeit auf etwa sechs bis zwölf Stunden. Große, steuernde Tiefdruckwirbel in unseren gemäßigten Breiten leben typischerweise eine Woche und können heutzutage auch so weit vorhergesagt werden.

100-prozentige Wettervorhersage?

Leider nein. Durch die noch immer vorhandenen großen Lücken im weltweiten Beobachtungsnetz, durch die unregelmäßige Verteilung der Beobachtungen

Wetterkarte und Satellitenbild vom 16. 7. 2012, 1200 UTC, ZAMG



und vor allem aber durch den Umstand, dass die Atmosphäre weder an den seitlichen Rändern, noch nach oben und auch nach unten (= Meerestiefen) „gedeckt“ werden kann, sind die Randbedingungen eher als unzureichend zu definieren. Die Übergangsbereiche können nur ansatzweise erfasst werden. Die Wettervorhersage arbeitet sprichwörtlich mehr oder weniger in offenen Systemen. In einem Laborversuch sind die Randbedingungen nahezu exakt zu formulieren. Der Wissenschaft vom Wetter ist bis auf wenige Ausnahmen der Weg über das klar definierte Experiment versperrt. Dennoch gibt es stetig Verbesserungen in der Wettervorhersage. Diese begründen sich u. a. in komplizierten mathematischen Näherungen der geschilderten Randwertprobleme und in den verbesserten Anfangsbedingungen im Beobachtungsnetz, insbesondere durch Satellitendaten. Die Atmosphäre zeigt ein „chaotisches“ Verhalten. Kleine Anfangsfehler führen zu komplett unterschiedlichen Vorhersagen. Fehler in den Messungen bringen weitere Unsicherheiten. Vielfach können nur Näherungen in der Beschreibung der physikalischen Prozesse greifen. Die unregelmäßig verteilten Beobachtungen auf ein regelmäßiges Gitter zu bringen, stellt einen weiteren Unsicherheitsfaktor dar. Dieser Schritt in der Analyse ist beinahe so kompliziert wie die eigentliche Berechnung der Vorhersage selbst. Dazu kommt noch, dass die Vorhersagbarkeit des Wetters von der Wetterlage selbst abhängt. Man könnte auch formulieren: Die Natur weiß zu diesem Zeitpunkt noch nicht, wie sie sich entwickeln wird. Dagegen ist als Beispiel für eine durchaus gesicherte Vorhersage eine stabile Hochdruckwetterlage anzuführen. Hier ist die

Vorhersage gegenüber rasch durchziehenden Tiefdruckgebieten leichter zu formulieren.

Punktgenaue Wetterprognose?

Das Problem „punktgenauer“ Wettervorhersagen wird seit mehreren Jahren mit großen Anstrengungen verfolgt. Die Anforderungen an die Wettervorhersage werden immer enger gefasst. Energieversorger knüpfen ihre Einkaufslogistik für Gas und Öl an exakte Temperaturvorhersagen. Windparkbetreiber möchten den zeitlichen Verlauf der Windgeschwindigkeit für die kommenden 24 bis 48 Stunden wissen. Diesbezügliche Lösungsansätze werden mit kleinräumigen Rechenmodellen (Limited Area Modelling = LAM) durchgeführt, die eine räumliche Auflösung von 10 km bzw. 5 km und auch darunter aufweisen. Derartige LAMs rechnen bis zu 3 Tage. An der ZAMG werden 3 LAMs täglich gerechnet. Die Berechnungen werden je nach ausgewiesenem LAM 4- bis 8-mal pro Tag durchgeführt. Für diese Modellläufe werden neben den aktuellen Beobachtungsdaten aus einem begrenzten Gebiet (z. B. Nord- oder Mitteleuropa, Alpenraum) die Vorhersagedaten aus globalen Vorhersagen als Randwerte benötigt. Als Beispiel für ein solches kleinräumiges Vorhersagemodell mit einer räumlichen Auflösung von 2,5 km an der ZAMG sei das Modell AROME (= Application of Research to Operations at Mesoscale) erwähnt, welches derzeit im experimentellen Testbetrieb geführt wird.

Der 4. und letzte Teil folgt in der kommenden Ausgabe.

Literatur: Eine Literaturliste kann in der Redaktion angefordert werden.