



Die Hauptempfangsstation des EUMETSAT Polarsystems in Svalbard, Spitzbergen Norwegen.

WETTERVORHERSAGE MIT LANGZEITWIRKUNG

Von Christian Brüns

Wer möchte nicht schon am Montag wissen, ob die Grillparty am Wochenende wie geplant im Garten stattfinden kann, oder ob man besser seine Glühweinvorräte auffüllen sollte? Die Wettervorhersage ist aus dem täglichen Leben kaum noch wegzudenken – das Wetter vorherzusagen, war und ist jedoch auch heute noch schwierig. Aber das soll sich bald ändern, besonders für eine längerfristige Planung soll es bald verlässlichere Wettervorhersagen geben. Denn voraussichtlich im Juli 2006 wird der erste operationelle Wettersatellit MetOp (METeorological OPerational Satellite) des EUMETSAT Polarsystems (EPS) vom Weltraumbahnhof Baikonur gestartet. EPS ist der europäische Beitrag zu dem gemeinsam mit den USA betriebenen System polar umlaufender Satelliten (Initial Joint Polar System, IJPS), die das Wettergeschehen auf der Erde beobachten. Der MetOp Satellit verbindet bewährte mit neuartiger Technik – Neuentwicklungen, die zusätzliche Beobachtungsparameter in bislang nicht erreichter Präzision liefern. Damit eröffnet sich eine neue Ära für die europäische Meteorologie. MetOp wird insbesondere die numerische Wettervorhersage verbessern und die verlässliche Vorhersagezeit von derzeit drei auf ca. fünf Tage erhöhen.

Bereits seit 1977 verfügt Europa über eigene Wettersatelliten, bekannt unter den Namen METEOSAT, die im geostationären Orbit rund 36.000 Kilometer über dem Äquator synchron mit der Erdrotation um die Erde kreisen und ununterbrochen Daten zur Verfügung stellen. Die METEOSAT Satelliten wurden von der europäischen Weltraumagentur ESA entwickelt und seit 1986 durch die neu gegründete europäische Organisation EUMETSAT betrieben. Seit 2002 liefern die METEOSAT Satelliten der zweiten Generation alle 15 Minuten in 12 Spektralkanälen im sichtbaren und Infrarotbereich Bilder der Erde und bilden neben den am Erdboden gesammelten in-situ Daten das Rückgrat für Unwetterwarnungen.

Deutlich schwieriger als die kurzfristige Wettervorhersage ist die längerfristige Modellierung des Wettergeschehens. Die hierfür not-

wendigen Temperatur- und Feuchteprofile der Atmosphäre können geostationäre Satelliten auf Grund der Entfernung zur Erde nicht in ausreichendem Maße messen. Außerdem erlaubt selbst der weltweite Ring geostationärer Satelliten rund um den Äquator keinen Einblick in das wichtige Wettergeschehen der Polarregionen.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) verwendet für seine Aufgaben zurzeit Daten der amerikanischen NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) Satelliten, die bereits seit Jahrzehnten Wetterdaten aus dem niedrigen polaren Orbit zur Verfügung stellen. Auf dem Weltwirtschaftsgipfel 1982 wurde vereinbart, dass die USA und Europa zukünftig ein gemeinsames System polar umlaufender Satelliten aufbauen werden. Ende der 80er-Jahre begannen kurz nach der Gründung von EUMETSAT die Planungen für

den europäischen Beitrag zu diesem System polar umlaufender Wettersatelliten, dem Initial Joint Polar System (IJPS). Die technische Entwicklung der MetOp Satelliten und des Bodensegments, die unter dem Namen EUMETSAT Polarsystem (EPS) bekannt sind, begann in den frühen 90er-Jahren in enger Kooperation von EUMETSAT und ESA.

Der erste MetOp Satellit des EPS wird im Juli 2006 vom Weltraumbahnhof Baikonur aus gestartet und auf eine Umlaufbahn in 835 Kilometer Höhe gebracht. Diese Umlaufbahn ist deutlich niedriger als die eines geostationären Satelliten und ermöglicht damit eine deutlich höhere Auflösung. Außerdem ist die Umlaufbahn sonnensynchron, d. h. der Satellit passiert seine Beobachtungsgebiete immer ungefähr zur selben Uhrzeit. Die MetOp Satelliten passieren in Nord-Südrichtung den Äquator immer um 9:30 Uhr Ortszeit.

Die US-amerikanischen Satelliten der NOAA werden entsprechende Umlaufbahnen mit Überflugzeiten um 5:30 und 13:30 Uhr Ortszeit einnehmen. Das bedeutet, dass alle Punkte der Erde mindestens alle vier Stunden im Blickwinkel der Satelliten liegen. Die Polregionen werden durch den polaren Orbit sogar wesentlich häufiger beobachtet, sodass die Satellitendaten dort auch für regelmäßige, kurzfristige Wettervorhersagen verwendet werden können.

Der erste Satellit MetOp-A wird für fünf Jahre Daten liefern, bevor der Nachfolgesatellit MetOp-B die operationellen Aufgaben übernehmen wird. Die drei MetOp Satelliten, die bereits „auf Lager“ zur Verfügung stehen, sollen zusammen den operationellen Betrieb bis ins Jahr 2019 abdecken.

Instrumente und Leistung

MetOp-A ist mit insgesamt acht Instrumenten ausgestattet, die für die meteorologische Anwendung optimiert sind, aber auch von anderen Disziplinen, wie z. B. der Ozeanografie oder Klimaforschung, genutzt werden. Die Kernnutzlast ist identisch mit derjenigen auf den amerikanischen NOAA Satelliten. Dadurch wird die Nutzung der Daten aus den verschiedenen Orbits erheblich vereinfacht und erlaubt einen besseren Vergleich der Messdaten, die dieselbe Region auf dem Erdboden zu unterschiedlichen Zeiten abbilden. Diese gemeinsame Kernnutzlast besteht aus den folgenden vier Instrumenten:

- Das Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) ist ein abbildendes Radiometer, das in sechs Spektralkanälen den visuellen und infraroten Bereich abdeckt. Die

Messwerte liefern vielfältige Informationen über beispielsweise die Wolkenverteilung, die Temperatur der Meeresoberfläche oder die Schneebedeckung der Landoberflächen.

- Das Instrument Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A) ist ein Radiometer, das 15 spektrale Kanäle im Mikrowellenbereich aufnimmt und globale Messdaten zur Bestimmung der Temperatur und Feuchtigkeit der Atmosphäre bei fast allen Wetterlagen liefert.

- Das Microwave Humidity Sounder (MHS) ist ebenfalls ein Radiometer im Mikrowellenbereich, dessen fünf Spektralkanäle die Beobachtungen vom AMSU-A ergänzen und Informationen über die Feuchtigkeit der globalen Atmosphäre liefern.

- Das High Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS) stellt Daten aus 20 spektralen Kanälen zur Verfügung, die den infraroten Spektralbereich abdecken und Profile der Atmosphärentemperatur und -feuchtigkeit in (nahezu) wolkenfreien Regionen liefern.



Das Satellitenkontrollzentrum im EUMETSAT Hauptquartier in Darmstadt.

Die so genannte ATOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder) Suite besteht aus den Instrumenten AMSU-A, MHS HIRS und AVHRR. Die Kombination der drei Instrumente erlaubt die präzise Bestimmung von Temperatur- und Feuchtigkeitsprofi-

len der globalen Atmosphäre. Die Kombination von AMSU-A, MHS und HIRS vereint die jeweiligen Vorteile einerseits der höheren Auflösung im Infrarot- und andererseits der Wetterunabhängigkeit im Mikrowellenbereich. Die amerikanischen Instrumente AVHRR, HIRS, AMSU-A sowie das europäische Instrument MHS werden sowohl auf den europäischen MetOp Satelliten als auch auf den amerikanischen POES (Polar Orbiting Environmental Satellite) Satelliten eingesetzt. Das erste MHS Flugmodell befindet sich auf dem amerikanischen Satelliten NOAA-18, der im Juni 2005 erfolgreich gestartet wurde.

Darüber hinaus verfügt der MetOp Satellit über weitere Erdbeobachtungsinstrumente, die die Atmosphärensondierung verbessern sowie die Beobachtung von Ozon in der Atmosphäre und Oberflächenwinden über den Ozeanen ermöglichen. Das Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI) ist ein Fourier Spektrometer. Es misst Temperaturprofile der Troposphäre und Stratosphäre, die Temperatur der Land- und Ozeanoberflächen sowie Feuchtigkeitsprofile der Troposphäre. Außerdem beobachtet das Instrument auch den Ozongehalt der Atmosphäre und liefert Daten über die Treibhausgase CO₂, CH₄, und N₂O. Nach erfolgreicher Erprobung soll es langfristig das amerikanische HIRS ersetzen. Das Instrument Advanced Scatterometer (ASCAT) vermisst mittels Radarmessungen indirekt die Geschwindigkeit und Richtung der Oberflächenwinde über den Ozeanen. Meeresoberflächenwinde erzeugen eine charakteristische Welligkeit der Wasseroberfläche, die die Rückstreuungseigenschaften so beeinflusst, dass hieraus auf die



**„Der Weise äußert sich vorsichtig,
der Narr mit Bestimmtheit über das
kommende Wetter.“**

Wilhelm Busch (1832 - 1908), deutscher Zeichner, Maler und Schriftsteller

Das EUMETSAT
Hauptquartier
in Darmstadt.

Windgeschwindigkeit und -richtung geschlossen werden kann. Das Global Ozone Monitoring Experiment (GOME-2) Instrument ist ein Spektrometer, welches den ultravioletten und visuellen Spektralbereich abdeckt. GOME-2 beobachtet die Ozonverteilung in der Atmosphäre und liefert darüber hinaus Informationen über den atmosphärischen Gesamtgehalt der Gase Schwefeldioxid SO_2 , Bromoxid BrO , Formaldehyd CH_2O und Chlordioxid ClO_2 .

Das letzte Instrument der meteorologischen Nutzlast ist das GNSS Receiver for Atmospheric Sounding (GRAS; GNSS steht für Global Navigation Satellite Systems). GRAS beobachtet die Radiowellen, die von den Sendern auf den GPS und zukünftig auf den Galileo Satelliten abgestrahlt werden. Von besonderem Interesse sind solche Satelliten, die vom MetOp aus gesehen gerade hinter der Erde verschwinden. Die Strahlung dieser Satelliten durchdringt die Erdatmosphäre und wird dabei so verändert, dass Informationen über die Temperatur- und Druckverteilung mit hoher Präzision ermittelt werden können. Darüber hinaus werden die empfangenen Signale auch für die Navigation des Satelliten verwendet.

Die drei weiteren Elemente der Nutzlast sind nicht direkt der Erdbeobachtung zuzuordnen. Der Space Environment Monitor (SEM) beobachtet die Strahlung und den Fluss geladener Teilchen am Ort des Satelliten und liefert damit wichtige Daten für das so genannte Welt- raumwetter. Hierunter versteht man den Zustand der äußersten Atmosphärenschichten, die direkt auf die Satelliten Einfluss nehmen und z. B. bei starker Sonnenaktivität ernste Schäden anrichten können. Das



Der MetOp Satellit bei seinen abschließenden Tests im März 2006; kurz vor dem Transport nach Baikonur.

Instrument ARGOS DCS-2 empfängt Daten von verschiedenen Messplattformen, die auf der Erde verteilt sind, wie z. B. von Bojen zur Messung von Ozeanoberflächendaten, um diese Daten schließlich an die Bodenstation weiterzuleiten. Als letztes sei das Search and Rescue Termi-

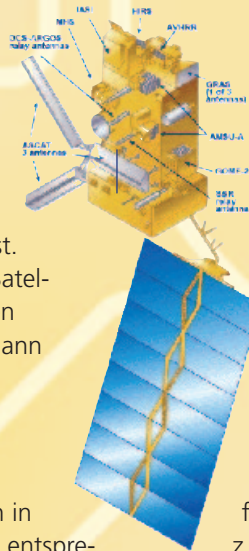
nal genannt, das Notsignale empfängt, beispielsweise von in Seenot geratenen Schiffen, die über einen entsprechenden Sender verfügen, und leitet diese sofort an die Bodenstationen weiter.

Bodensegment & Produktverarbeitung

EUMETSAT verfügt über ein eigenes Bodensegment für das polare System, das die Steuerung und Überwachung der Satelliten sowie den Empfang, die Verarbeitung und die Weiterverteilung der Daten an die Nutzer übernimmt. Die Hauptempfangsstation für EPS befindet sich im nördlichsten Teil Europas, im norwegischen Svalbard (Spitzbergen), das auf Grund seiner nördlichen Lage (78° Nord) perfekt für den Empfang

Technische Daten im Überblick

Dimension (ohne Solarpanels)	
Höhe	7,6 m
Länge	6,8 m
Breite	3,7 m
Länge der Solarpanels 11,3 m	
Masse beim Start	450 kg
Masse der Instrumente	84 kg
Leistungsverbrauch der Instrumente	
	980 W



Übersicht über die Lage der einzelnen Instrumente auf dem MetOp Satelliten.

von Daten aus einem polaren Orbit geeignet ist. In Svalbard können die Satellitendaten jedes einzelnen Orbits empfangen und dann zum EUMETSAT Hauptquartier in Darmstadt weitergeleitet werden. Neben den Daten der MetOp Satelliten werden in Svalbard auch Daten der entsprechenden NOAA Satelliten empfangen. In Darmstadt befindet sich das Empfangs- und Kontrollzentrum, wo auch die ersten Schritte der Datenbearbeitung durchgeführt werden.

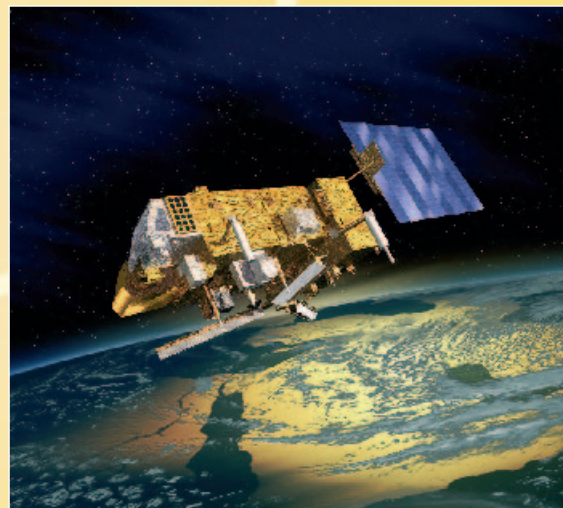
Neben der Hauptempfangsstation gibt es noch zusätzliche High Resolution Picture Transmission Stations (HRPT), die regionale Daten beim Überflug des Satelliten empfangen und so ohne Zeitverzögerung für die lokale Nutzung zur Verfügung stehen. Die weitere Veredelung der Daten wird in den Satellite Application Facilities (SAF) durchgeführt, die dezentral über Europa verstreut sind. Beim DWD in Offenbach ist beispielsweise das SAF zu Klimabeobachtungen angesiedelt. Des Weiteren gibt es noch die SAFs zur numerischen Wettervorhersage (Vereinigtes Königreich), zur Ozonüberwachung (Finnland), zur Analyse der Landoberflächen (Portugal), zu Hydrologie und Wassermanagement (Italien), zu Nowcasting & Kurzfristvorhersage (Spanien), zu GRAS (Dänemark) und für Ozean- und Meereseisbeobachtung (Frankreich). Die einzelnen SAFs werden von den Wetterdiensten der jeweiligen Länder geführt, wobei weitere Partner aus den anderen Mitgliedsstaaten am Aufbau und Betrieb der SAFs beteiligt sind.

Die eigentlichen Wetterinformationen, die beim Endverbraucher ankommen, werden auf der Grundlage der EUMETSAT Datenprodukte

sowie vielfältiger in-situ Daten von den nationalen Wetterdiensten erzeugt. In Deutschland übernimmt das der Deutsche Wetterdienst in Offenbach. Dieser ist gesetzlich verpflichtet, verschiedenste Bedarfsträger mit Wetterinformationen zu versorgen, wie z. B. den Luft- und Schiffsverkehr, die Feuerwehr und andere Rettungs- und Katastropheneinrichtungen. Außerdem werden auch andere Kunden wie Landwirte, Medien oder Versicherungen vom DWD bedient. Daneben gibt es mittlerweile eine Reihe von kommerziellen Anbietern von Wettervorhersagen, die sich meist auf spezifische Produkte spezialisiert haben. Auch diese Anbieter greifen dafür auf Produkte der Wettersatelliten von EUMETSAT zurück.

Gutes Wetter, schlechtes Wetter

Zu den Aufgaben von EUMETSAT gehört im zunehmenden Maße auch der Klima- und Umweltschutz. Ein besseres Verständnis der Schwankungen innerhalb unseres Klimas und der Umwelt hilft nicht nur Wissenschaftlern beim Studium dieser Phänomene, sondern versetzt die Menschheit auch in die Lage, gefährliche Konsequenzen für unseren Heimatplaneten vorherzusehen. Die weltweiten Beobachtungssysteme haben eine Reihe von beunruhigenden Umweltphänomenen, z. B. die global steigenden Temperaturen, festgestellt, die sorgfältiger Untersuchung bedürfen. Meteorologische Satelliten können diese Phänomene natürlich nicht verhindern; sie liefern jedoch unschätzbar wertvolle Langzeitmessungen aus dem All, deren Ergebnisse die Voraussetzung für Klima- und Umweltstudien aller Art sind.



Künstlerische Darstellung des MetOp Satelliten im polaren Erdborbit.

Die Zukunft im Visier

Das EUMETSAT Polarsystem benötigte vom Beginn der Planungen bis zum Start des ersten Satelliten rund 20 Jahre. Diese langen Vorlaufzeiten sind für ein operationelles System, das zuverlässig und mit gleichbleibend hoher Qualität Wetterdaten liefert, unumgänglich. Sie begründen sich nicht nur durch die Entwicklung neuer Technologien, sondern auch durch die komplexen Entscheidungsstrukturen in Europa. Die meteorologischen Satellitenprogramme werden von allen EUMETSAT Mitgliedsländern gemeinschaftlich finanziert. Daher haben bereits 2004 – noch vor dem Start des ersten MetOp Satelliten – die ersten Aktivitäten für ein Nachfolgesystem begonnen. Bei EUMETSAT werden zurzeit die Nutzeranforderungen für dieses Nachfolgesystem diskutiert.

Autor:

Dr. Christian Brüns ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Organisationseinheit Erdbeobachtung der Raumfahrt-Agentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt.