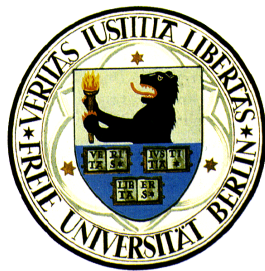


Bestimmung von Bedeckungsgrad und Wolkentyp aus Meteosat-Daten

**Andrea Oestreich
Eberhard Reimer**



**Freie Universität Berlin
Institut für Meteorologie
Troposphärische Umweltforschung**

Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10
12165 Berlin

Februar 2003

Berichts-Kennblatt

BerichtsnummerUBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts		
Bestimmung von Bedeckungsgrad und Wolkentyp aus Meteosat-Daten		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Oestreich, A., Reimer, E.	8. Abschlußdatum Februar 2003	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie Troposphärische Umweltforschung Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10 12165 Berlin	9. Veröffentlichungsdatum	
	11. Seitenzahl 31	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. Literaturangaben 4	
	13. Tabellen und Diagramme 3	
	14. Abbildungen 8	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Der Bericht beschreibt die mögliche Verwendung von METEOSAT-Satellitenbeobachtungen zur Erstellung der meteorologischen Treiberfelder für das chemische Transportmodell REM/CALGRID. Die wichtigen Parameter Bedeckungsgrad und Teilbedeckungsgrad könnten mit großer Zuverlässigkeit in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zur Verfügung gestellt werden. Satelliteninformationen werden im gegenwärtigen System zur Erstellung der meteorologischen Eingangsdaten aber noch nicht genutzt, da der dazu erforderliche numerische Aufwand den operationellen Charakter des Ausbreitungsmodells derzeit noch in Frage stellt.		
17. Schlagwörter METEOSAT-Daten, Ausbreitungsrechnung, Wolkenbedeckung		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

Report No.UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Bestimmung von Bedeckungsgrad und Wolkentyp aus Meteosat-Daten		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Oestreich, A., Reimer, E.	8. Report Date February 2003	
6. Performing Organisation (Name, Address) Freie Universität Berlin Institut für Meteorologie Troposphärische Umweltforschung Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10 12165 Berlin	10. UFOPLAN-Ref. No. 298 41 252	
	11. No. of Pages 31	
	12. No. of Reference 4	
	13. No. of Tables, Diagrams 3	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	14. No. of Figures 8	
	15. Supplementary Notes	
16. Abstract The report describes the possible usage of METEOSAT data to derive cloud cover input data for the chemical transport model REM/CALGRID. In principle it is possible to provide these data in a high resolution and accuracy. However, the large numerical burden to retrieve the satellite data does currently not allow an operational usage for the purposes of dispersion modelling.		
17. Keywords METEOSAT data, cloud cover, dispersion model REM/CALGRID		
18. Price	19.	20.

**Abschlußbericht
zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252
auf dem Gebiet des Umweltschutzes:**

**Modellierung und Prüfung von Strategien zur
Verminderung der Belastung durch Ozon**

Teilthema:

**Bestimmung von Bedeckungsgrad und Wolkentyp
aus Meteosat-Daten**

im Auftrag des Umweltbundesamts
F&E-Vorhaben 298 41 252

FUB - Freie Universität Berlin
Institut für Meteorologie
A. Oestreich, E. Reimer

Februar 2003

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Zielsetzung	4
3 Rohdaten	4
4 Datenaufbereitung	5
4.1 Entzerrung	5
4.2 Sonnenstandsnormierung	5
4.3 Transformation	5
4.4 Berechnung der Teilbedeckungsgrade	7
5 Ergebnisse	8
5.1 Wetterlage	8
5.2 Vergleich mit Bodenbeobachtungen	9
5.3 Vergleich mit Wolkenanalysen der Rem3-Treiber	10
6 Literatur	12
7 Bildmaterial	12
8 Tabellen	29
9 Zeitaufwand	31
10 Bewertung	31

1. Einleitung

Ozon wird als Leitkomponente für Sommersmog angesehen und die gegenwärtigen und geplanten EU-Rahmenrichtlinien und nachfolgende gesetzliche Bestimmungen beachten Maßzahlen aus Messungen von Ozonkonzentrationen, einiger Vorläuferstoffe und von Aerosolen. Geplant ist in diesem Rahmen eine weitere Einbeziehung von Auswertungen mit chemisch-meteorologischen Transportmodellen (CTM). Es ist daher erforderlich, entsprechend anwendbare Modellsysteme mit einer genügenden Simulationsgüte zu entwickeln.

Die gemessenen Immissionen sind ein Ergebnis von lokalen Prozessen und von Transporten in unterschiedlichem Größenmaßstab (Skala). CTM sind in verschiedenen räumlichen Skalen in der Lage, die Prozesse der Bildung und des Abbaus von Ozon zu beschreiben. Auch die Behandlung spezieller, primärer und sekundärer Aerosole wird einbezogen. CTM modellieren Ausbreitung, Deposition und chemische Umwandlung von Luftbeimengungen. Benötigt werden dafür Angaben über die Emission, die Landnutzung und die meteorologische Situation.

Das hier verwendete Modell REM3 ist ein Eulersches Modell und verwendet ein in Gitterboxen unterteiltes Modellgebiet. Es berechnet das Volumenmittel der Konzentration in jeder Gitterbox. Das Ergebnis ist demzufolge stark von der gewählten räumlichen Auflösung, d.h. der Gitterpunktsgröße abhängig.

Die meteorologischen Antriebsfelder für REM3 werden für diagnostische Rechnungen aus Beobachtungen des weltweiten meteorologischen Standardnetzes der Wetterdienste erstellt. Bei der Auswertung während mehrerer Sommerhalbjahre konnten umfangreiche und allgemeingültigere Aussagen über die Modellleistung bzw. die Modellfehler gewonnen werden.

Für die Photooxidantien- und Aerosolsimulation mit REM3 ist insbesondere der Wolkenbedeckungsgrad und die Bewölkungsstruktur von entscheidender Bedeutung, da sie die Photolyseratenberechnung, das Mischungsschichtwachstum, die Turbulenz in der planetaren Grenzschicht und die wolkenchemischen Prozesse steuern. Augenblicklich werden diese Angaben nur aus den Standardbeobachtungen der Bedeckung und der Wolkentypen analysiert. Dabei ergeben sich durch die ungleichmäßige Verteilung der Beobachtungen, Land gegenüber Meer, mit einer mittleren Auflösung von ca. 40km in Zentraleuropa einige Unsicherheiten und Fehlermöglichkeiten, die stärkere Auswirkung auf die Modellrechnungen haben können.

Daher ist die Einbeziehung von Wolkenanalysen über die Satelliten NOAA und Meteosat mit ihrer flächenhaften Auflösung von 1 bis 4km von großem Interesse.

An der Freien Universität Berlin besteht ein 20-jähriges Archiv von Satellitendaten, das für diese Erweiterungen herangezogen werden kann. In dem folgenden Bericht wird eine Studie zur Einbeziehung dieser Daten vorgelegt. Es wird demonstriert, daß eine kombinierte Anwendung von bodengebundenen und satellitengestützten Wolkeninformationen, eine sinnvolle und notwendige Ergänzung der meteorologischen Treiberfelder darstellen.

2. Zielsetzung

Eine wesentliche Rolle bei photochemischen Prozessen spielt die kurzweilige Einstrahlung, die ihrerseits auch von der Bewölkung abhängt. Hier ist in erster Linie der Bedeckungsgrad zu nennen, aber bei gleichem Bedeckungsgrad ist auch die Höhe und Mächtigkeit der Wolkenschicht von Bedeutung. Die Zusammensetzung aus Wasser und Eis variiert mit der Höhe, woraus eine unterschiedliche Transmissivität resultiert (Stull, 1988). Wolken sind zeitlich und räumlich sehr variabel und können mit dem Netz synoptischer Stationen besonders in dünn besiedelten Gebieten nur unzureichend erfaßt werden.

Deshalb entstand in der Arbeitsgruppe Troposphärische Umweltforschung die Idee, Satellitendaten bei der Erstellung meteorologischer Felder für CT-Modelle mit einzubeziehen. Sedlak (1996) untersuchte im Rahmen einer Diplomarbeit die Übereinstimmung von SYNOP-Beobachtungen und Satellitendaten bzgl. des Gesamtbedeckungsgrades und der Teilbedeckungsgrade (jeweils der tiefen, mittelhohen und hohen Wolken) und stellte Übereinstimmungen von 68% für NOAA-Daten und von 61% für METEOSAT-Daten fest. Hierbei wurde versucht, die Satellitendaten im Rahmen einer 2-Achtel-Genauigkeit an die Bodenbeobachtungen anzupassen. Ziel dieser Arbeit war es, zu testen, ob die Einbeziehung von Satellitendaten in ein eindimensionales Grenzschichtmodell eine Verbesserung gegenüber der Verwendung von Bodenbeobachtungen bringt. Hierzu erfolgte eine Parametrisierung der kurzweiligen Einstrahlung anhand von dreistündigen SYNOP-Daten sowie stündlichen METEOSAT-Daten (einmal nur Gesamtbedeckungsgrad und einmal zusätzlich mit Teilbedeckungsgraden). Ein Vergleich mit Messungen ergab, daß die Verwendung der Teilbedeckungsgrade das beste Ergebnis lieferte, während eine Parametrisierung mit den SYNOP-Daten den Tagesgang der Strahlung nur unzureichend wiedergab.

Für großräumige Wolkenanalysen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung sind METEOSAT-Daten daher eine wesentliche Datenquelle. Zum einen können die Ergebnisse auch direkt z.B. in Grenzschichtmodelle eingehen oder für Monitoring verwendet werden, zum anderen kann anhand dieser Daten die Konsistenz interpolierter Felder aus SYNOP-Daten geprüft werden.

Im vorliegenden Bericht wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem operationell aus halbstündlichen METEOSAT-Daten Teil- und Gesamtbedeckungsgrade berechnet werden können. Für den wolkenlosen Bereich einer Zelle sind zusätzlich die über die wolkenfreien Pixel gemittelte Bodentemperaturen verfügbar.

3. Rohdaten

Die Daten aus dem infraroten (IR: 10,5 - 12,5 μm) und sichtbaren (VIS: 0,4 - 1,1 μm) Spektralbereich von METEOSAT liegen in halbstündlicher Auflösung vor, der aktuelle Satellit ist METEOSAT 7.

Die Daten werden am Institut für Meteorologie direkt empfangen, seit Dezember 1994 wird der von METEOSAT erfassbare Ausschnitt der Halbkugel archiviert. Aus diesem wird dann der gegenwärtig für photochemische Ausbreitungsrechnungen mit REM3 verwendete Ausschnitt extrahiert.

4. Datenaufbereitung

Einen Überblick über den gesamten Ablauf gibt das Flußdiagramm der Abbildung 1.

4.1 Entzerrung

Mit in der Abteilung “Meteorologische Satellitenforschung” entwickelten Routinen werden die Rohdaten in eine stereographische Projektion (4 x 4 km - Auflösung) entzerrt, anschließend wird der REM3- Ausschnitt extrahiert. Die Grauwerte des Infrarot-Kanals (welche die Emission im langwelligen Spektralbereich repräsentieren) werden invertiert (Wolken erscheinen dann hellgrau bis weiß) und dabei Temperatur-kalibriert.

4.2 Sonnenstandsnormierung

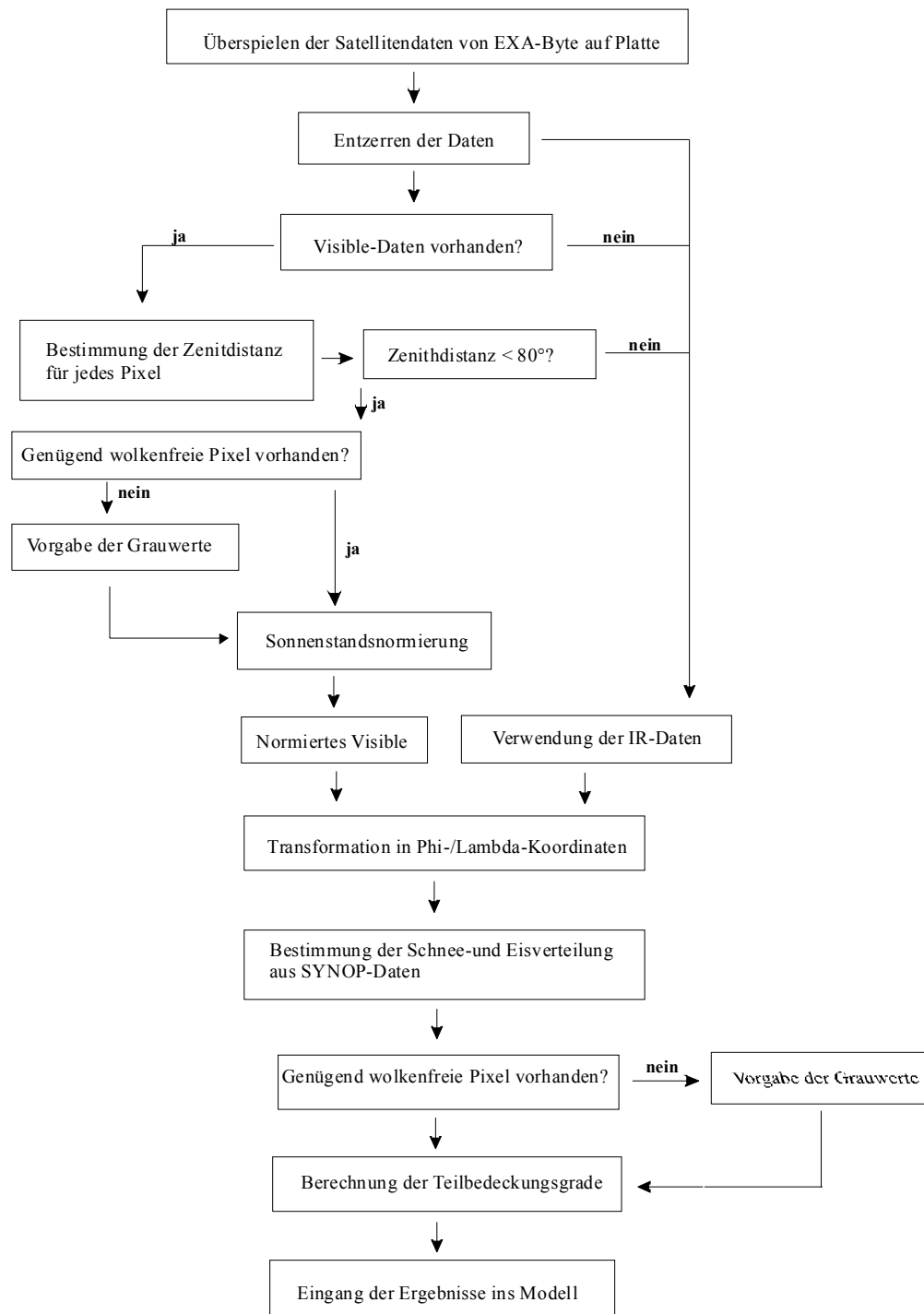
Danach werden die Grauwerte des sichtbaren Kanals sonnenstandsnormiert, da die Albedo auch vom Sonnenstand abhängig ist (Abb. 2, links). In dieser Abbildung sind die Termine 08:00, 12:30 und 15:00 UTC einmal ohne und einmal mit der Sonnenstandsnormierung (rechts) dargestellt. Während sich die beiden Mittagsbilder nicht wesentlich voneinander unterscheiden, ist in der Aufnahme von 08:00 UTC (10:00 MESZ) das linke Bilddrittel dunkler als das rechte, da sich die Sonne zu dieser Zeit noch östlich des rechten Bildrandes befindet. Um 15:00 UTC ist es umgekehrt: Die Sonne ist bereits westlich des linken Bildrandes, und das linke Bilddrittel ist schon relativ dunkel.

Dieser Schritt entfällt, wenn die mittlere Zenitdistanz der Sonne $< 80^\circ$ ist. Der Termin wird dann als Nachtaufnahme eingestuft, und es wird (wie bei den Terminen, an denen von vornherein keine Visible-Aufnahme vorliegt) ausschließlich mit den IR-Daten weitergearbeitet.

4.3 Transformation

Zur Vereinfachung der weiteren Rechenprozeduren erfolgt eine Transformation in geographische Koordinaten. Eine REM3-Gitterzelle enthält derzeit insgesamt 120 Pixel: 12 Pixel pro $0,5^\circ$ geographischer Länge und 10 Zeilen pro $0,25^\circ$ geographischer Breite.

Abb.1: Flußdiagramm zum Ablauf der Datenaufbereitung



4.4 Berechnung der Teilbedeckungsgrade

Für die Bearbeitung der Satellitendaten wird ein vereinfachtes Verfahren angewendet, bei dem Schwellenwerte für die Einteilung der Pixel in die einzelnen Wolkenschichten benutzt werden. Am Tag werden der Visible- und der Infrarot- Kanal, nachts nur der IR-Kanal verwendet. Die Schwellenwerte orientieren sich dabei an den Klassengrenzen einer bispektralen Wolkenklassifikation, wie sie z.B. für GLOREAM (Oestreich et al., 1998) verwendet worden ist. Da die Teilbedeckungsgrade auch nachts berechnet werden sollen, wird auf die (nur tagsüber anwendbare) Klassifikation verzichtet.

Es werden drei Wolkenschichten (tiefe, mittelhohe und hohe) verwendet. Jede Schicht wird noch einmal bzgl. ihrer optischen Dichte zweigeteilt, so daß insgesamt sechs Bewölkungsgruppen und eine Gruppe "wolkenlos" entstehen. Der optisch dünnere Teil der jeweiligen Wolkenschicht enthält sowohl vertikal wenig mächtige, meist stratiforme Wolken mit einer entsprechend großen Transmissivität als auch lockere Bewölkung (meist konvektive Wolken). Für jede Gitterbox wird jedes Pixel zuerst als bewölkt oder nicht bewölkt eingeordnet. Für den bewölkten Fall erfolgt eine Differenzierung in die einzelnen Bewölkungsgruppen. Es ist zu beachten, daß ein Pixel, welches ein teilweise bewölktes Gebiet abbildet, nur als bewölkt oder nicht bewölkt, aber nicht als teilweise bewölkt eingestuft werden kann. Insbesondere für hohe Wolken neigt das Verfahren daher zu einer Überschätzung der Bedeckung.

Nachts ist das Verfahren prinzipiell ähnlich, aber die Einteilung kann nur mit Schwellenwerten des Infrarotkanals erfolgen. Auch als "wolkenfrei" identifizierte Pixel können sehr lockere und/oder dünne tiefe Bewölkung enthalten; in Hinblick auf die effektive Ausstrahlung bzw. auf Niederschlag ist der Fehler aber nicht wesentlich.

Bei den "bewölkten" Pixeln erfolgt wieder eine Unterteilung in die einzelnen Wolkenschichten, wobei die Temperatur an der Wolkenobergrenze einer dichten Wolkenschicht das Kriterium ist. Auch hierbei werden drei Wolkenschichten (tiefe, mittelhohe und hohe Wolken) sowie eine Gruppe "dünne Wolken", analog zu APOLLO (für NOAA/AVHRR-Daten, Kriebel et al., 1999), definiert. In der letztgenannten Gruppe befinden sich diejenigen Pixel, die zwar als bewölkt eingeschätzt werden, eine weitere Aufschlüsselung jedoch nicht möglich ist. Die Lage der tiefen und mittelhohen Wolkenschichten wird derzeit mit Hilfe der Temperatur-Differenz zwischen den wärmsten (Boden) und kältesten (Cirrus) Pixeln bestimmt. Die Verwendung von Radiosondendaten ist vorgesehen.

Die Quote der Fehleinschätzungen der einzelnen Pixel ist insgesamt höher, als wenn noch der Visible-Kanal zur Verfügung steht.

Bei Vorhandensein einer Schnee- oder Eisdecke sind Wolken mit einer niedrigen Obergrenze (z.B. Stratus) nur schwer vom Untergrund zu unterscheiden, zumal diese u.U. sogar wärmer als die wolkenfreien Pixel sein können. Im Winterhalbjahr wird deshalb vor der Berechnung der Teilbedeckungsgrade die Ausdehnung von Schneegebieten abgefragt. Da eine Schneedecke in einem Gebiet frühestens dann aus den Satellitendaten erkannt werden kann, wenn dieses Gebiet wieder wolkenfrei ist, muß den SYNOP-Daten entnommen werden, ob eine Schneedecke vorhanden ist oder ob es geschneit hat.

Für die Definition des Bedeckungsgrades (bzw. der Teilbedeckungsgrade) muß beachtet werden, daß jedes Pixel nur entweder als bewölkt oder wolkenfrei eingestuft werden kann. Für jede Gitterzelle werden die Pixel nach Kategorien getrennt gezählt und durch die Gesamtzahl der Pixel (hier: 120 Pixel) geteilt. Ein Bedeckungsgrad von 1 bedeutet daher nur, daß jedes Pixel als bewölkt eingestuft wurde, sagt aber noch nichts über die Mächtigkeit und/oder räumliche Dichte der Bewölkung aus (s. Abb. 6 - 8).

Für jede Gitterzelle werden folgende Parameter gerechnet:

- Anzahl der wolkenfreien Pixel, Gesamtbedeckungsgrad, Bedeckungsgrad je für dünne tiefe, mittelhohe sowie hohe Wolken (für alle drei ist Niederschlag unwahrscheinlich),
- Bedeckungsgrad je für mitteldichte bis dichte tiefe, mittelhohe sowie hohe Wolken (für alle drei ist Niederschlag zumindest möglich),
- Mitteltemperatur für die wolkenfreien "Wasserpixel",
- Mitteltemperatur für die wolkenfreien "Landpixel",
- Mitteltemperatur aller Pixel und die Anzahl der nicht-klassifizierten Pixel.

Die Teilbedeckungsgrade können dann in das Modell eingehen, je nach Bedarf entweder alle sechs Wolkengruppen einzeln oder aber nur für die Hauptwolkenschichten insgesamt.

5. Ergebnisse

Das Verfahren wurde anhand des 12.8.1998 (ein Tag der BERLIOZ-Kampagne) getestet.

5.1 Wetterlage

Der westliche Teil Europas befand sich unter dem Einfluß eines komplexen Tiefdrucksystems mit einem Zentrum bei Island und einem weiteren Zentrum bei Schottland. Hinter seiner Warmfront waren tropische und subtropische Luftmassen wetterbestimmend, während mit der Kaltfront subpolare Meeresluft in Richtung Mitteleuropa gelenkt wurde. Dabei kam es im Tagesverlauf verbreitet zu Niederschlägen mit teilweise hoher Intensität. Nord- und Osteuropa lagen im Bereich einer schmalen Hochdruckzelle mit überwiegend subpolaren Luftmassen.

Die Abb. 3 zeigt den Wetterverlauf des Tages anhand von METEOSAT-Bildern in dreistündigem Abstand (06:00 und 18:00 UTC nur Infrarot). Im Nordwesten ist das Tief mit Zentrum bei Schottland gut zu erkennen, ebenso wie der Frontenverlauf über der westlichen Hälfte Europas. Sowohl der Wirbel als auch die Fronten verlagern sich im Tagesverlauf nur langsam nach Osten. Mittags sind Cumulonimbus-Cluster über den Alpen und über Thüringen und Sachsen zu erkennen, die sich im weiteren Verlauf erheblich ausdehnen und auf der letzten Aufnahme fast zusammengewachsen sind.

Hauptsächlich im IR-Kanal ist die Bewölkung im Nordosten zu erkennen, über der eher flachen konvektiven Bewölkung (im Visible gut erkennbar) liegt noch eine ausgedehnte, vertikal nicht sehr mächtige mittelhohe Bewölkung, die nur im Infrarot zu sehen ist. Während im Visible über dem östlichen Mitteleuropa nur wenig Wolken zu erkennen sind, zeigt das Infrarot-Bild ausgedehnte Wolkenfelder. Es handelt sich hierbei um dünnen Cirrus, der vom Boden teilweise nicht zu erkennen war (Tab. 1, Station Tatabanya).

5.2 Vergleich mit Bodenbeobachtungen

Bei diesem Vergleich geht es nicht um einen Versuch, die Ergebnisse aus den Satellitendaten mit den Wolkenbeobachtungen zur Deckungsgleichheit zu bringen. Das ist schon aufgrund der verschiedenen Beobachtungspositionen nicht möglich: Ein Beobachter am Boden kann mittelhohe und hohe Wolken nur in dem Ausmaß erkennen, wie die Sicht nicht von tiefen Wolken verdeckt wird, während der Satellit in erster Linie hohe Wolken erfaßt, welche tiefergelegene Wolkenschichten verdecken können. Weiterhin besteht die Bodenbeobachtung aus einer Punktmessung, während es sich bei Satellitendaten um Flächenmessungen handelt. Da die Teilbedeckungsgrade außerdem für die gesamte Gitterzelle berechnet werden, stellt sich noch die Frage, inwieweit eine einzelne Bodenbeobachtung repräsentativ für die Zelle ist (s.u., Tab. 2).

In der Tabelle 1 ist der Vergleich zwischen den SYNOP-Beobachtungen und den Ergebnissen aus den Satellitendaten für die zugehörige Gitterzelle dargestellt. Die Meldung des Gesamtbedeckungsgrades wurde zur besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus den Satellitendaten in Dezimalzahlen umgerechnet. Die Angabe der Bewölkung in den einzelnen Schichten wurde (willkürlich) in die Spalte mit der jeweils dünnen Bewölkung einer Schicht getan. Zum einen muß beachtet werden, daß ein Cumulonimbus als tiefe Wolke gilt, aufgrund der hohen Wolkenobergrenze jedoch bei METEOSAT als Cirrus erscheint. Außerdem werden erheblich mehr Pixel als cirrusbedeckt eingestuft, als nach den SYNOP-Beobachtungen zu erwarten wäre, da Cirrus vom Satelliten aus leichter erkennbar ist (z.B. Station Tatabanya). Zudem tritt der Effekt, daß ein Pixel über einem nur teilweise bewölkten Gebiet als völlig "bewölkt" eingestuft wird, gerade bei großräumigen Cirrusfeldern deutlich zutage (siehe Wrocław oder Katowice).

Wesentlich wichtiger ist jedoch die tiefergelegene Bewölkung. Auch hier gibt es Unterschiede, die i.a. auf das im Vergleich mit dem Satelliten eingeschränkte Beobachtungsfeld zurückzuführen sind. Dieser Effekt wird auch in Tabelle 2 deutlich: Die drei Stationen Berlin-Dahlem, Berlin-Tempelhof und Potsdam liegen in der gleichen Gitterzelle, die SYNOP-Beobachtungen zeigen jedoch Unterschiede. Werden alle drei Stationen zusammengenommen, zeigt sich, daß die METEOSAT-Daten repräsentativ für diese Zelle sind. Da hochreichende konvektive Bewölkung wie Cumulus congestus bis in das Niveau der mittelhohen Wolken reicht, wird der Anteil der tiefen Wolken jedoch unterschätzt.

In der Abb. 4 ist stark vergrößert ein Teil Mitteleuropas dargestellt, der von Süddeutschland bis Dänemark und vom Rhein bis zur Oder reicht. Die Kästchen sind Gitterzellen, in denen die Stationen Warnemünde (W), Hamburg (HH), Angermünde (An), Hannover (H), Berlin (B), Cottbus (C) und Artern (Ar) liegen. Im Visible entsteht der Eindruck, als wäre ein Teil des Ausschnitts wolkenfrei, auch die Küstenlinie ist größtenteils gut zu erkennen (Abb. 4a). Das Infrarotbild (Abb. 4b) hingegen zeigt sehr deutlich auch dünne mittelhohe und hohe Bewölkung. Bei der Berechnung der Bedeckungsgrade wurde auch kein wolkenfreies Pixel gefunden. Die Stationen der Gitterzellen (und die meisten übrigen in dem Gebiet) melden jedoch weniger als 8/8 Bewölkung. In der Abb. 4c sind die Einteilungen der Pixel in bestimmte Wolkengruppen exemplarisch visualisiert worden. Weder über Land noch über Wasser wurde wolkenfreie Pixel erfaßt. Die dunkleren Grautöne symbolisieren dünne und/oder lockere, die hellen Grautöne dichte Bewölkung.

Die Gitterzelle Artern liegt am Rande des Cumulonimbus-Clusters, welcher bereits am Nachmittag Niederschläge brachte. Die Station meldet Altocumulus und Cumulonimbus, aus dem Satellitenbild konnten mittelhohe und hohe (Cumulonimbus) erkannt werden, so daß die Übereinstimmung hier gut ist, anders als in Warnemünde, wo ausschließlich Cirrus beobachtet wurde, während sich die berechneten Teilbedeckungsgrade etwa gleich auf mittelhohe und hohe Wolken verteilen. Da die Sicht an der Station sehr weit reicht, und andere Stationen der Umgebung ebenfalls keine mittelhohen Wolken melden, ist in diesem Fall von Fehleinschätzungen der Satellitendaten auszugehen. Tatsächlich bewegen sich die Grauwerte im Grenzbereich der beiden Wolkengruppen.

Zur Demonstration der Repräsentativität einer Station für eine ganze Gitterzelle wurde die Zelle Berlin (in Abb. 4 mit "B" gekennzeichnet) ausgewählt. Potsdam liegt etwa in der Mitte des linken Randes, Berlin-Dahlem in der Mitte etwas unterhalb des oberen Randes und Berlin-Tempelhof in der rechten oberen Ecke der Zelle. Die Cirrusfelder befinden sich im Nordosten und im Süden der Zelle, wurden aber auch in Dahlem erkannt (Tab. 2), anders als der Altocumulus, der sich im Südwesten und im Nordosten befindet. Der Altocumulus war zu weit von der Station Dahlem entfernt und/oder wurde von vertikal teilweise mächtigem Cumulus verdeckt (5/8 Bedeckung in Dahlem, nicht in der Tabelle angegeben). Diese Wolkenart wurde in Potsdam jedoch nicht beobachtet, obwohl sie im größten Teil der Zelle vorkommt. Nur in den METEOSAT-Daten werden alle drei Wolkenarten erfaßt.

5.3 Vergleich der Bedeckung aus dem REM3-Output (aus SYNOP-Daten) und dem Output aus den METEOSAT-Daten

Die Abb. 5a bis 5c zeigen die Bedeckung, wie sie bislang in REM3 enthalten ist, für den 12.8.1998, 09, 12 und 15 UTC. Wolkenlose Gebiete (inkl. Gebiete mit einem Bedeckungsgrad $< 0,2$) sind in schwarz dargestellt, die Einheit sind Zehntel Grad.

Ost- und Südosteuropa erscheinen den ganzen Tag über als wolkenfrei, da die Bewölkung dort in erster Linie aus dünnem Cirrus besteht, der meist nur einen kleinen Teil des beobachteten Himmels einnahm, teilweise aber auch nicht gesehen wurde. Über Mitteleuropa ist im Tagesverlauf eine Zunahme der Bedeckung erkennbar, welche auf die Bildung und Ausdehnung von Cumulonimbuswolken zurückzuführen ist.

Die Abb. 6a-e zeigen die Bedeckung, wie sie sich aus den METEOSAT-Daten für 09 UTC ergibt (7a-e für 12:30 UTC und 8a-e für 15 UTC), und zwar

- a: Anteil der dichten Bewölkung in Gitterzellen mit einem Gesamtbedeckungsgrad $\geq 0,8$
- b: Gesamtbedeckungsgrad
- c: Teilbedeckungsgrad für hohe Wolken inklusive Cumulonimbus
- d: Teilbedeckungsgrad für mittelhohe Wolken
- e: Teilbedeckungsgrad für tiefe Wolken (ohne Cumulonimbus)

Die Darstellung wurde den Abb. 5a-5c angepasst, zusätzlich werden Gitterzellen, bei denen mehr als die Hälfte der Pixel nicht zugeordnet werden konnten, in braun dargestellt.

Für den Vergleich muß die unterschiedliche Definition für den Bedeckungsgrad berücksichtigt werden: Für die METEOSAT-Daten ist es das Verhältnis "wolkenfreie" zu "bewölkten" Pixeln. Eine überwiegend hellgraue Fläche bedeutet, daß in diesem Gebiet nur für wenige Gitterzellen mindestens 13 "wolkenfreie" Pixel gefunden wurden (ab 108 "bewölkten" Pixeln pro Gitterzelle ergibt sich ein Bedeckungsgrad $\geq 0,9$ und die zugehörigen Pixel werden grau dargestellt). Dies ist an diesem Tag für nahezu alle Gitterzellen der Fall. Die Abbildungen 6b, 7b und 8b zeigen den Gesamtbedeckungsgrad ohne eine Unterscheidung der Dichte der Bewölkung - hierbei ist jede Wolkenstruktur verschwunden.

Wird für alle Gitterzellen mit einem Gesamtbedeckungsgrad $\geq 0,8$ der Anteil der dichten Bewölkung Ndi berechnet und analog zu den übrigen Abbildungen dargestellt (also z.B. blau: $20\% \leq Ndi \leq 30\%$ oder grau: $Ndi \geq 90\%$), zeigt sich, dass sich in Ost- und Südosteuropa der Gesamtbedeckungsgrad überwiegend aus den "dünn bewölkten" Pixeln zusammensetzt, weshalb diese Gebiete in den Abbildungen 6a, 7a und 8a meist blau erscheinen. Diese Abbildungen zeigen auch am deutlichsten und in einer ähnlichen Art und Weise wie die Abb. 5a-5c die Ausdehnung der Cumulonimbusfelder über Mitteleuropa.

Für alle drei Termine wird deutlich, daß die hohe Bewölkung dominiert. Zum einen sind dort auch die Cumulonimben enthalten (die aufgrund ihrer niedrigen Basis eigentlich zu den tiefen Wolken gerechnet werden), zum anderen bildet sich selbst dünner Cirrus aufgrund seiner im Vergleich mit dem Boden um mehr als 60 K tieferen Oberflächentemperatur im Infrarot sehr deutlich ab (Abb. 6c, 7c, 8c). Tiefergelegene Wolkenschichten können (bei gleichzeitigem Vorhandensein von Cirrus) nur erfaßt werden, wenn sie (horizontal und vertikal) entsprechend dicht sind, wie es im Westen im Bereich der Wolkenspirale zu erkennen ist. Außerdem darf der Cirrus eine bestimmte Dichte nicht überschreiten. Aufgrund der Häufigkeit von Cirrus bzw. Cumulonimbus an diesem Tage bestehen die Abbildungen für tiefe und mittelhohe Wolken überwiegend aus Zellen mit geringer oder überhaupt keiner tiefen Bewölkung, was in Ost- und Südosteuropa den Bodenbeobachtungen entspricht.

Die METEOSAT-Daten sind eine gute und wichtige Ergänzung für die Wolkenanalyse, auch wenn zumindest im operationellen Betrieb nachts Abstriche an der Trefferquote gemacht werden müssen. Für dünn besiedelte Gebiete oder für Meeresgebiete sind sie oft die einzige flächendeckende Datenquelle, insbesondere hohe Wolken werden bislang nur teilweise erfaßt. Außerdem ist eine Unterteilung in Teilbedeckungsgrade (auch in Abhängigkeit von der Dichte) möglich, so daß wichtige Zusatzinformationen bereitgestellt werden. Im Winter wird die Wolkenanalyse zumindest für tiefe Wolken über einer Schneedecke schwierig.

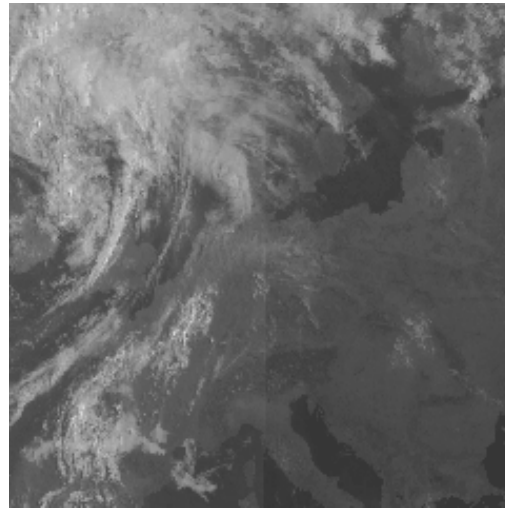
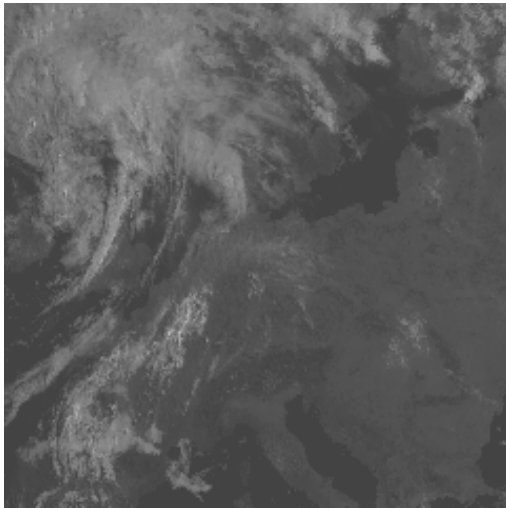
Die wichtigen Parameter "Bedeckungsgrad" und "Teilbedeckungsgrad" können mit dem vorgestellten Verfahren in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung photochemischen Ausbreitungsmodellen zuverlässig zur Verfügung gestellt werden.

6. Literatur

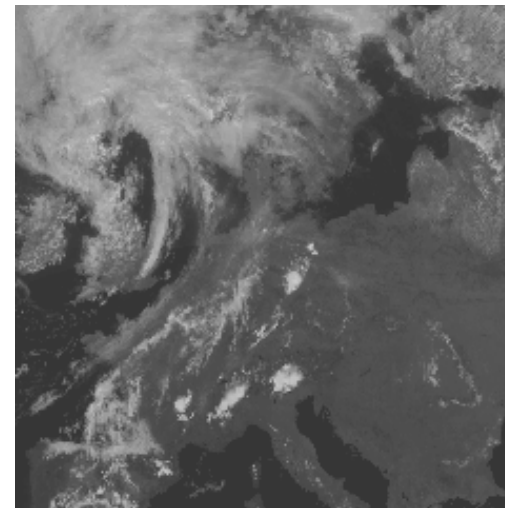
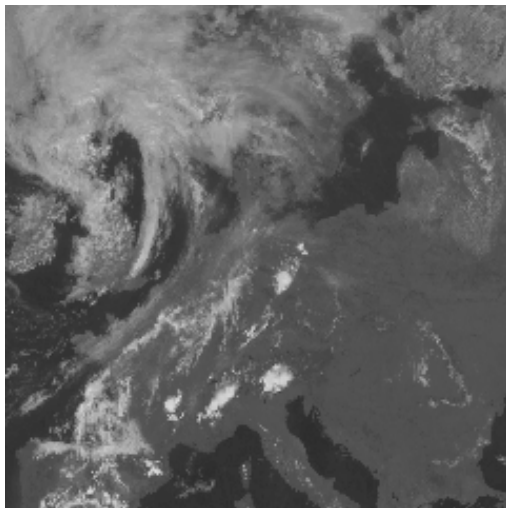
- Kriebel, K-T., G. Gesell, M. Kästner und H. Mannstein, 1999:
The cloud analysis tool APOLLO: Improvements and Validations. DLR, Institut für Physik der Atmosphäre, Report No. 126
- Oestreich, A., J. Flemming, und E. Reimer, 1998:
Application of Cloud Information and Classification from METEOSAT Data for CTM REM3. Contribution to: GLOREAM Report 1998
- Sedlak, I., 1996:
Studie zur Berücksichtigung von Bewölkungsdaten aus Satellitenbilder in einem eindimensionalen Grenzschichtmodell. Diplomarbeit, Freie Universität Berlin
- Stull, R.B., 1988:
An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Atmospheric Sciences Library, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Niederlande)

7. Bildmaterial

Nachfolgend sind Abbildungen zur Analyse und vergleichenden Betrachtung von Bedeckung und Art der Wolken aus Meteosat aufgeführt.



12.8.98 08 UTC METEOSAT-7, VIS

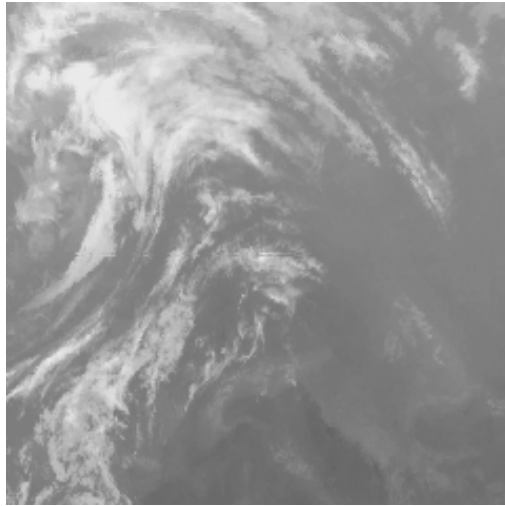


12:30 UTC METEOSAT-7, VIS

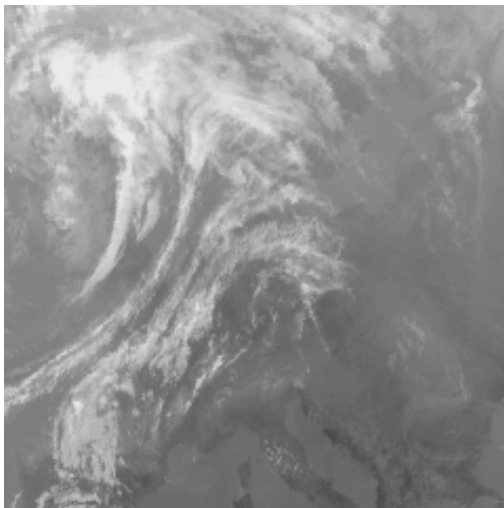


12.8.98,15 UTC METEOSAT-7, VIS

Abb. 2: Aufnahmen des Visible-Kanals von METEOSAT-7 für 08:00, 12:30 und 15:00 UTC. Links: ohne, Rechts: mit Sonnenstandsnormierung

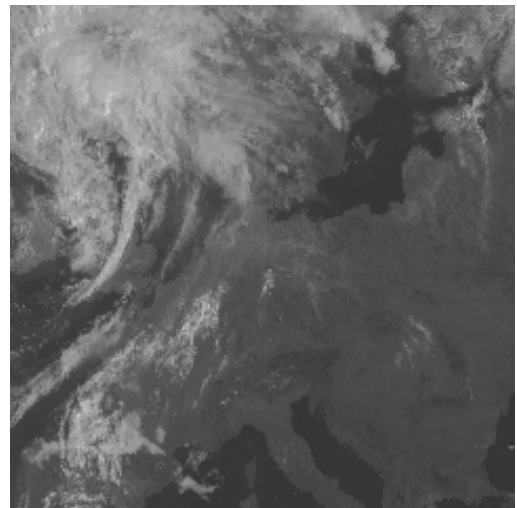


06:00 UTC, IR

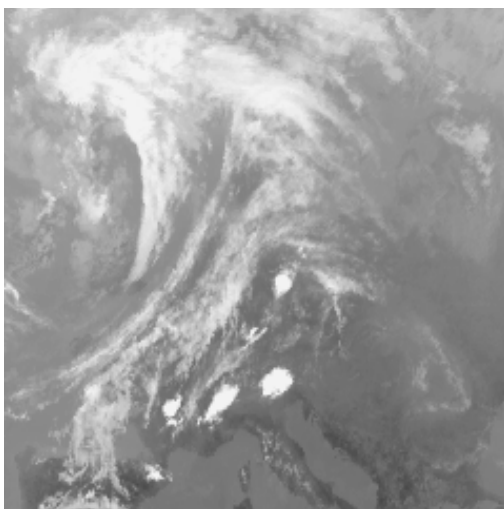


IR

09:00 UTC,

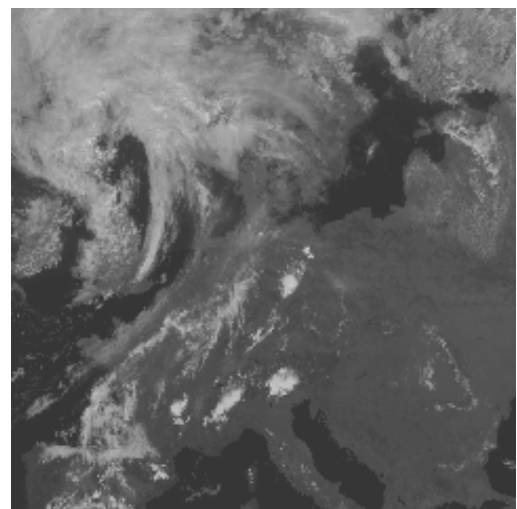


VIS

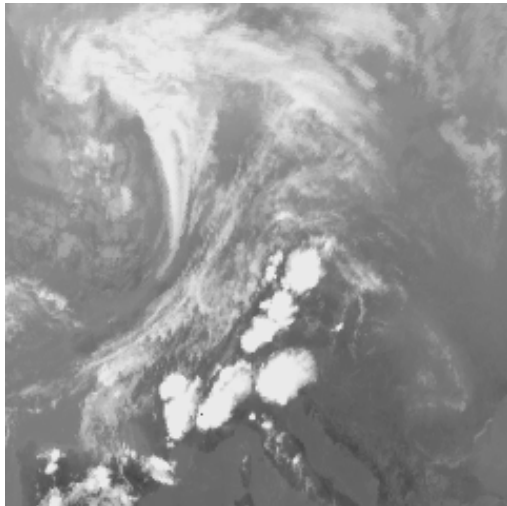


IR

12 :30 UTC

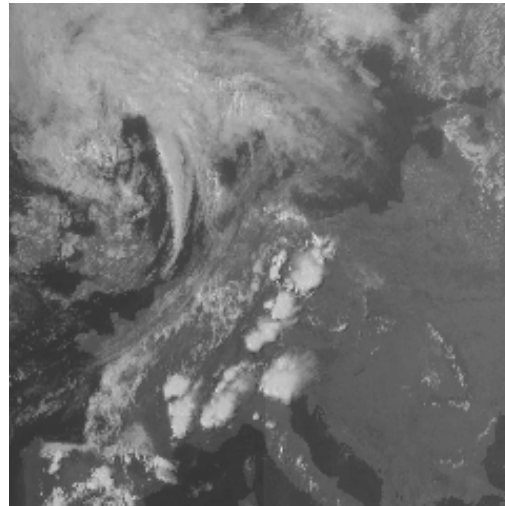


VIS

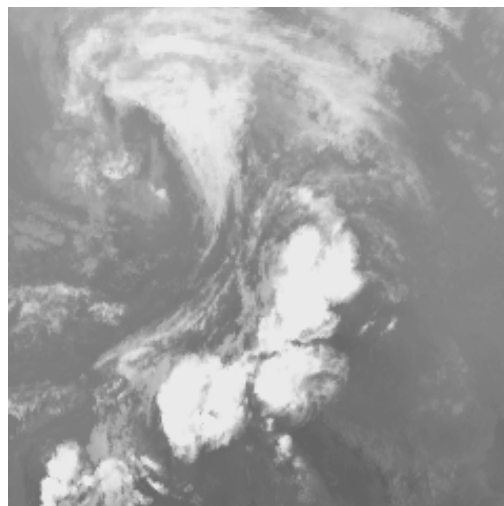


IR

15:00 UTC,



VIS



18:00 UTC, IR

Abb.3: METEOSAT-7, 12.8.1998: Änderung der Bewölkung im Tagesverlauf, dargestellt in dreistündigem Abstand. 06:00 und 18:00 UTC nur IR, sonst IR (links) und VIS (rechts)

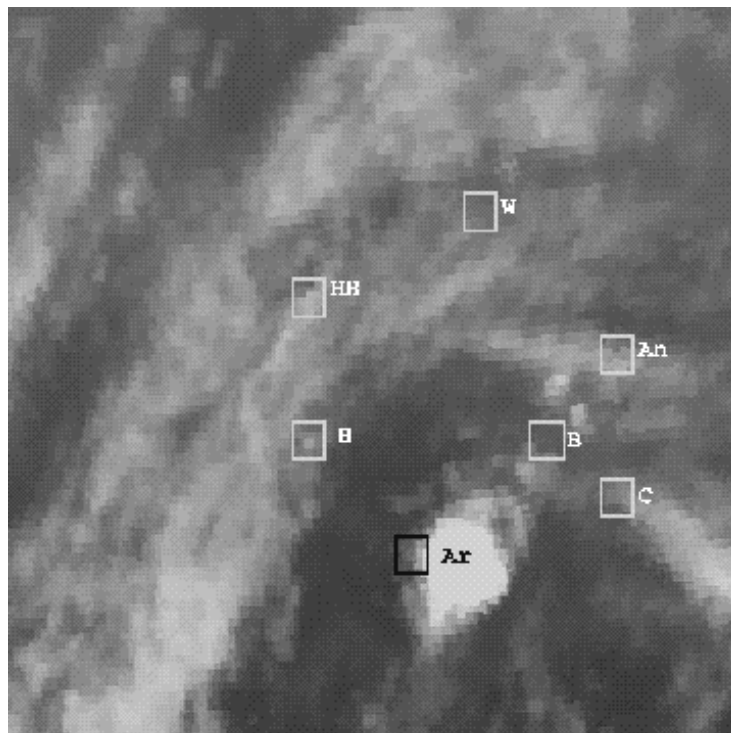
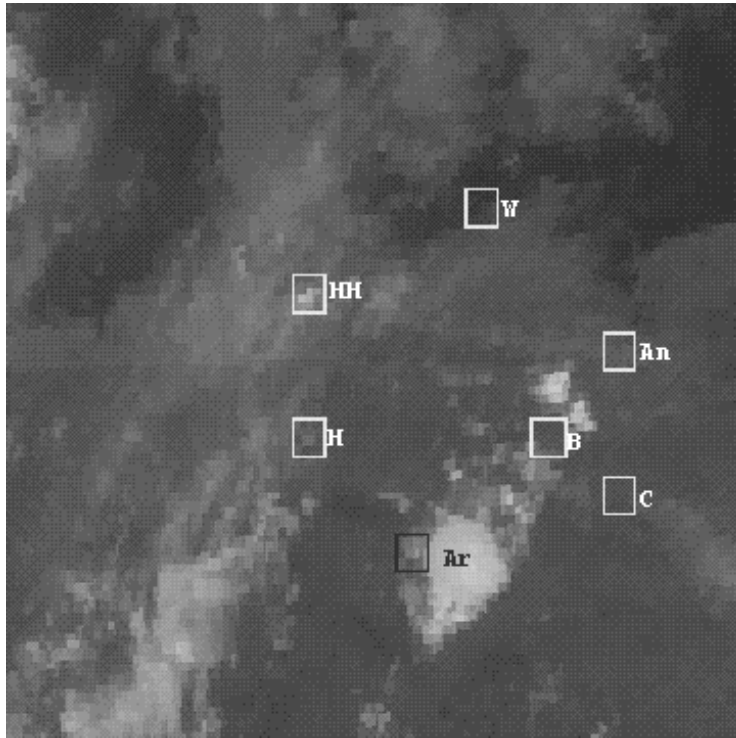
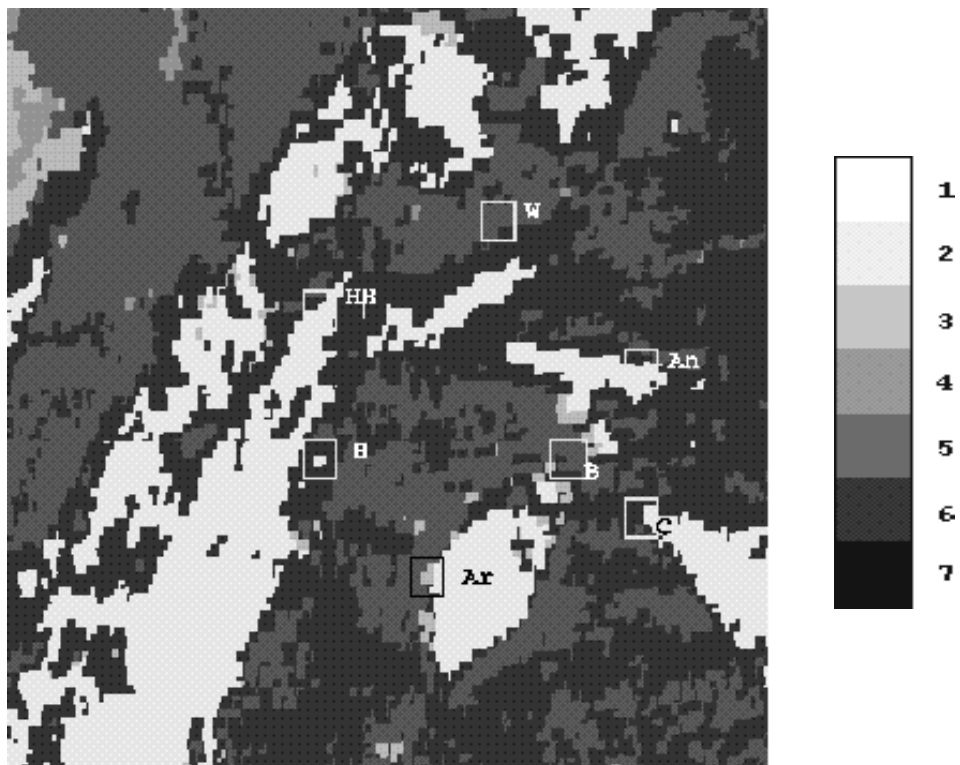


Abb. 4: Mitteleuropa-Ausschnitt vom 12.8.98, 12:30 UTC, METEOSAT 7.
4a) Visible (oben); 4b) Infrarot (unten)
W: Warnemünde, HH: Hamburg, An: Angermünde, H: Hannover, B: Berlin
C: Cottbus, Ar: Artern



4c) Graustufenbild für die einzelnen Wolkengruppen

- 1: dichter Cirrus, Cb**
- 2: dichte mittelhohe Wolken**
- 3: dichter Stratus, Stratocumulus, Cumulus mit geringer bis mittlerer vertikaler Mächtigkeit**
- 4: dünner Stratus, lockere konvektive Bewölkung geringer bis mittlerer vertikaler Mächtigkeit (im Bild nicht vorhanden)**
- 5: dünne bis mitteldichte mittelhohe Wolken, konvektive Wolken größerer vertikaler Mächtigkeit**
- 6: dünner Cirrus**
- 7: wolkenfreie Pixel (im Bild nicht vorhanden)**

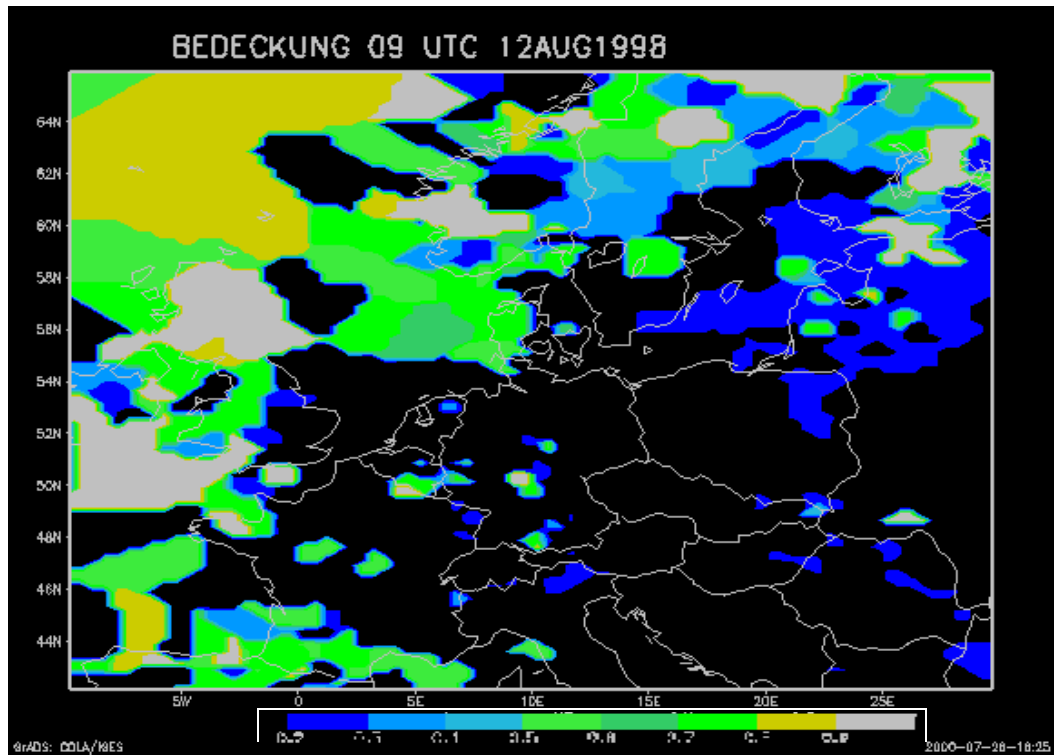


Abb.5a: Bedeckungsgrad, berechnet aus SYNOP-Daten, wie zur Zeit in REM3 verwendet, für 09 UTC

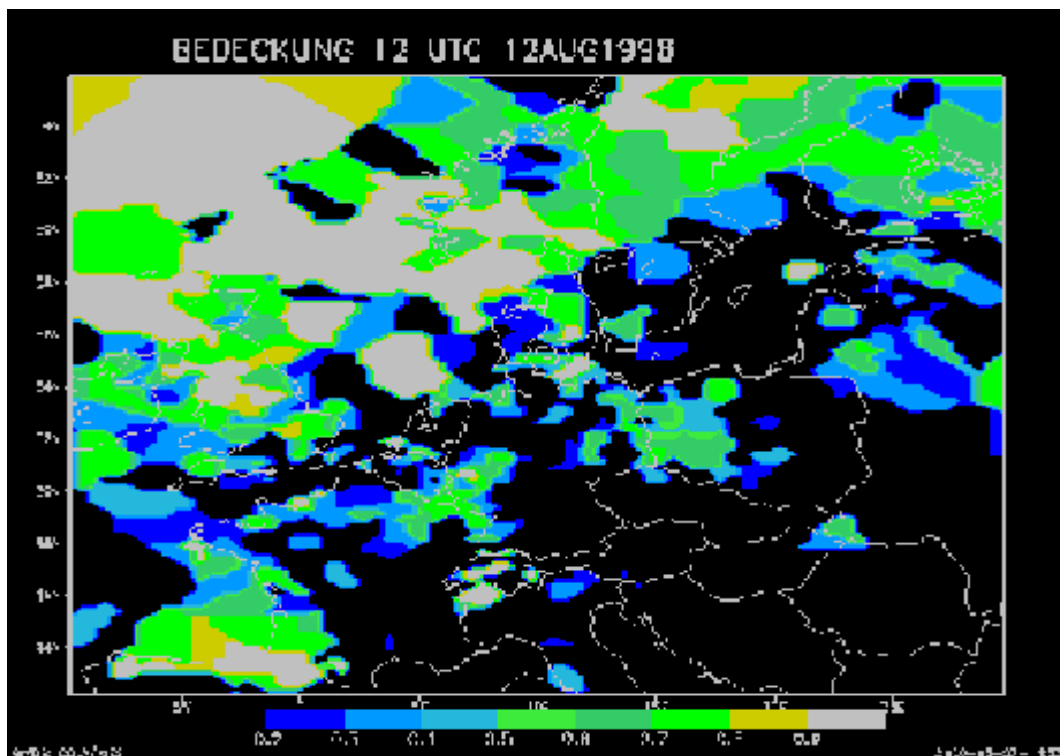


Abb.5b: Bedeckungsgrad, berechnet aus SYNOP-Daten, wie zur Zeit in REM3 verwendet, für 12 UTC

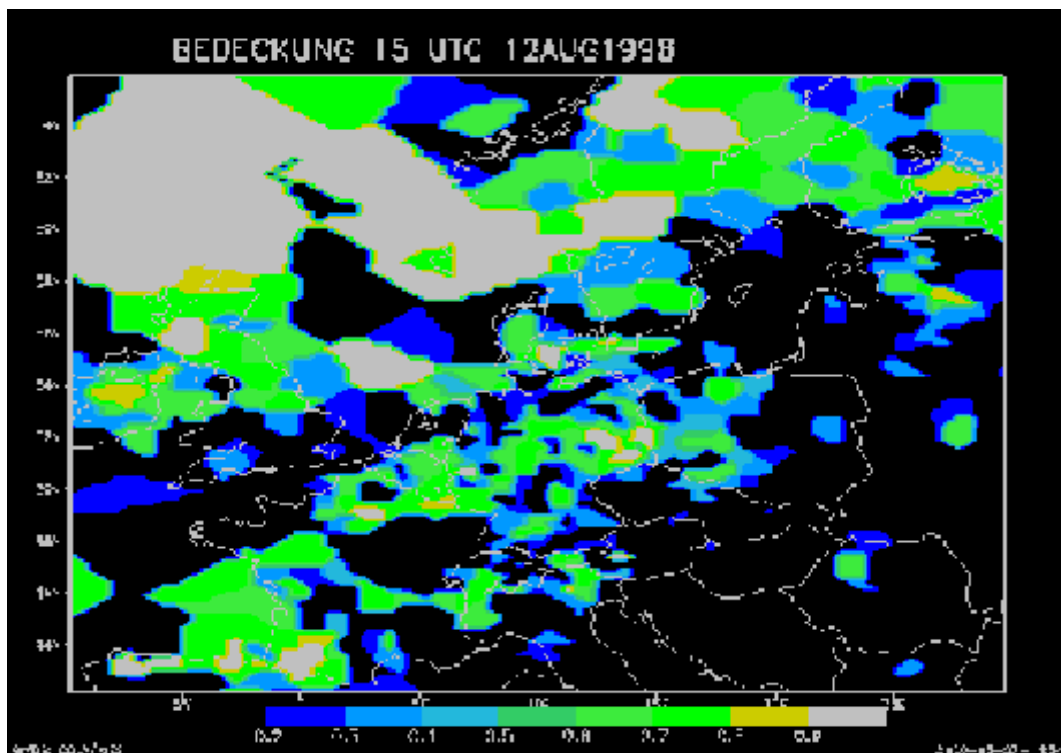


Abb.5c: Bedeckungsgrad, berechnet aus SYNOP-Daten, wie zur Zeit in REM3 verwendet, für 15 UTC. Alle drei Abbildungen wurden von J. Flemming berechnet und erstellt.

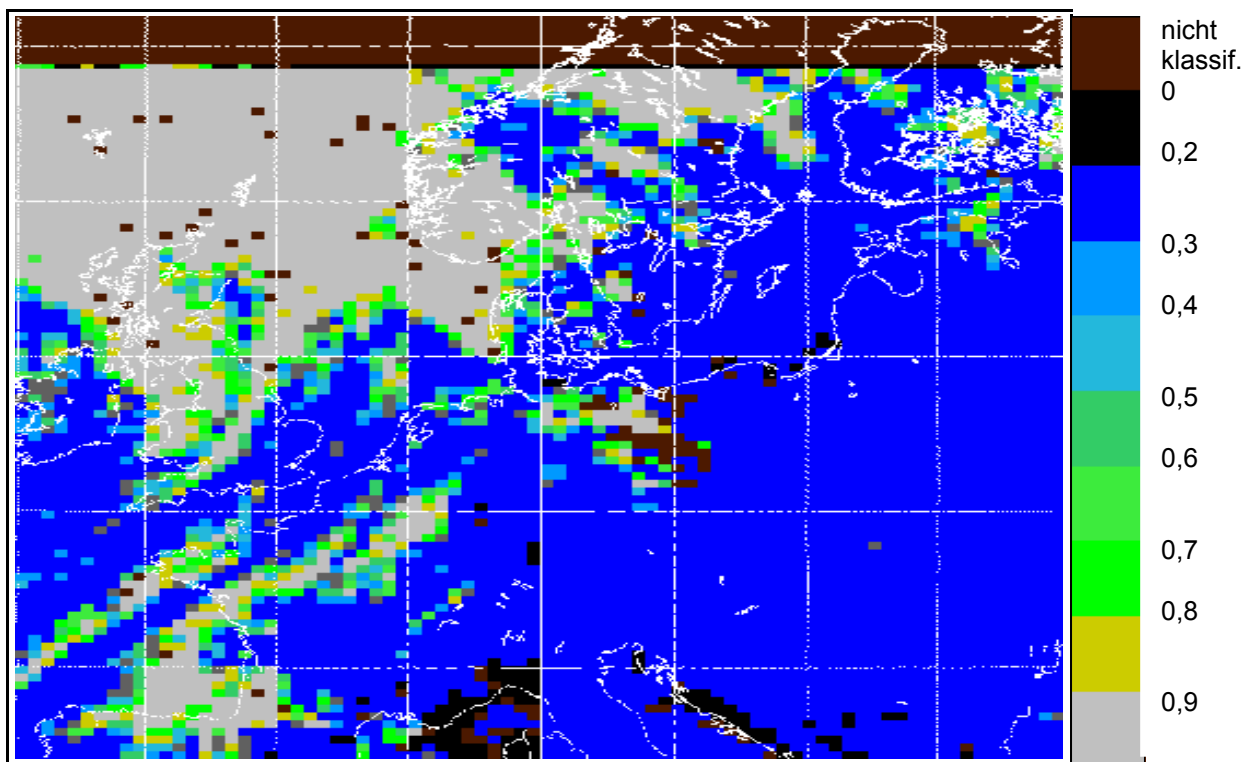


Abb. 6a: Gesamtbedeckungsgrad 0,8 aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 09 UTC
Dargestellt ist der Anteil der dichten Bewölkung am Gesamtbedeckungsgrad.

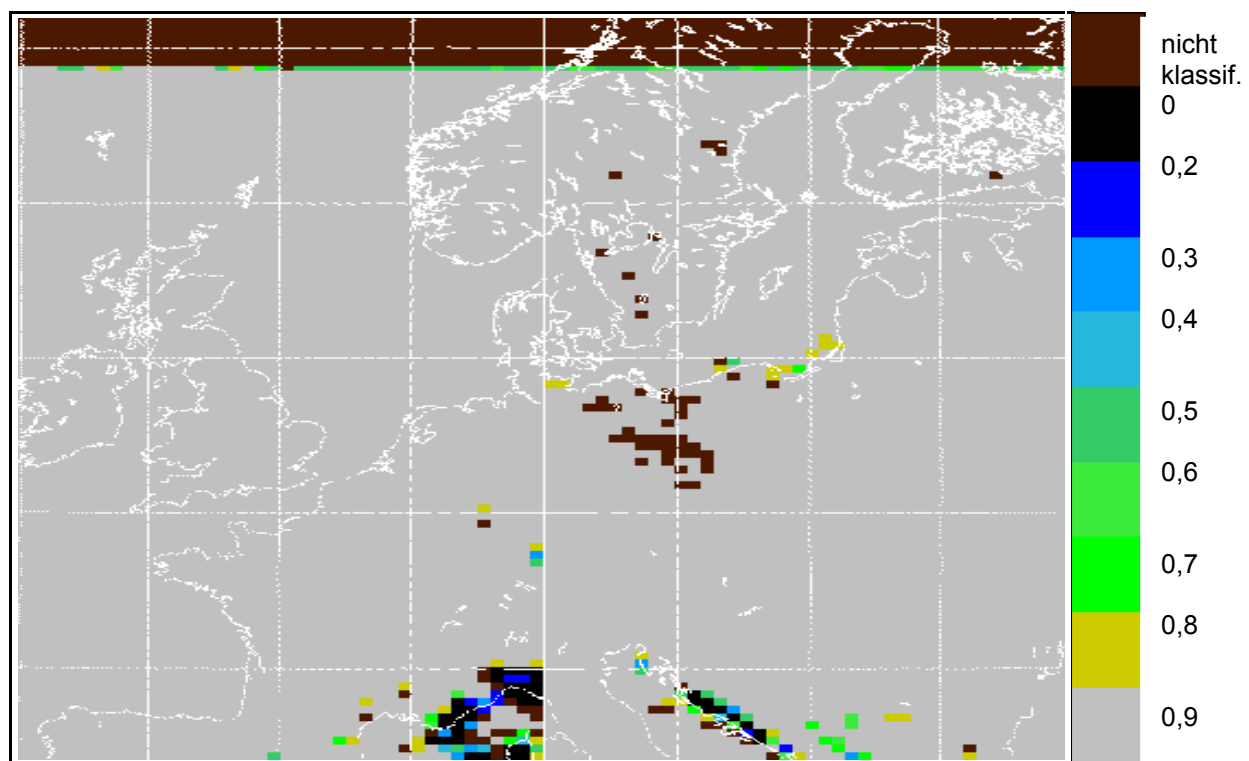


Abb. 6b: Gesamtbedeckungsgrad aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 09 UTC

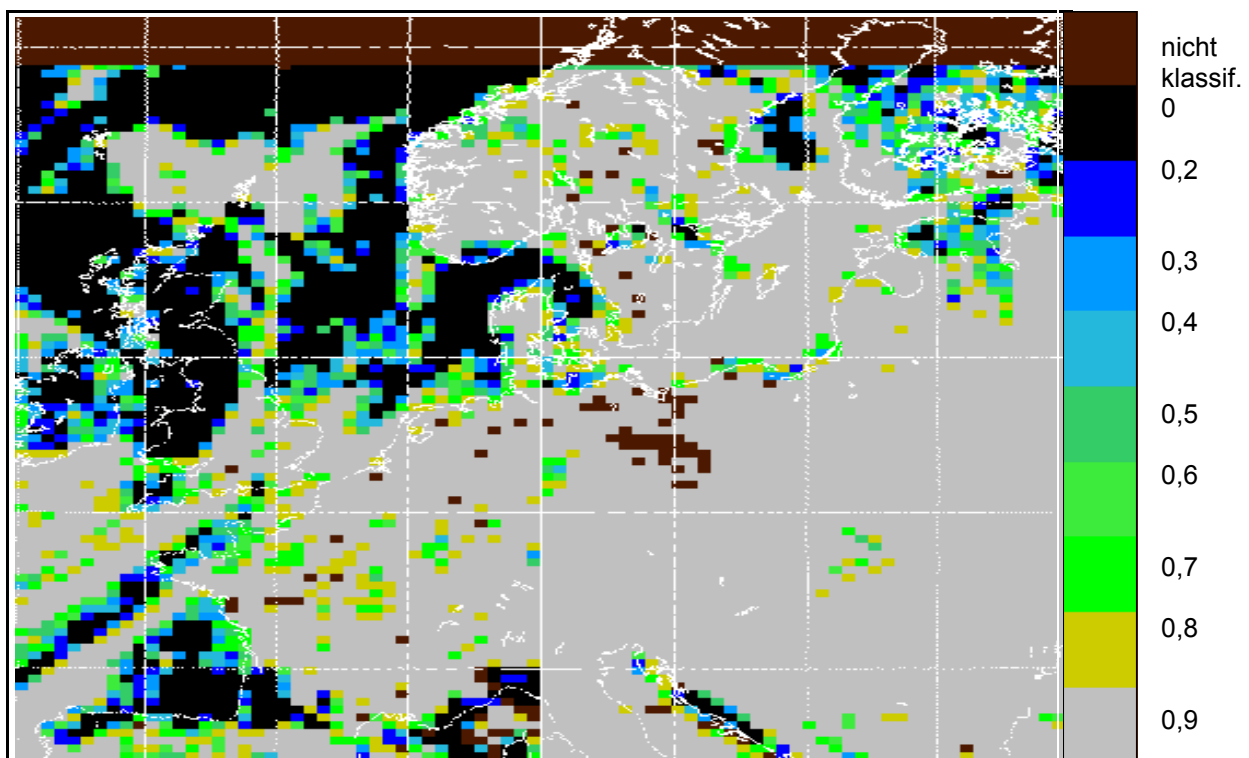


Abb. 6c: Bedeckungsgrad hohe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 09 UTC

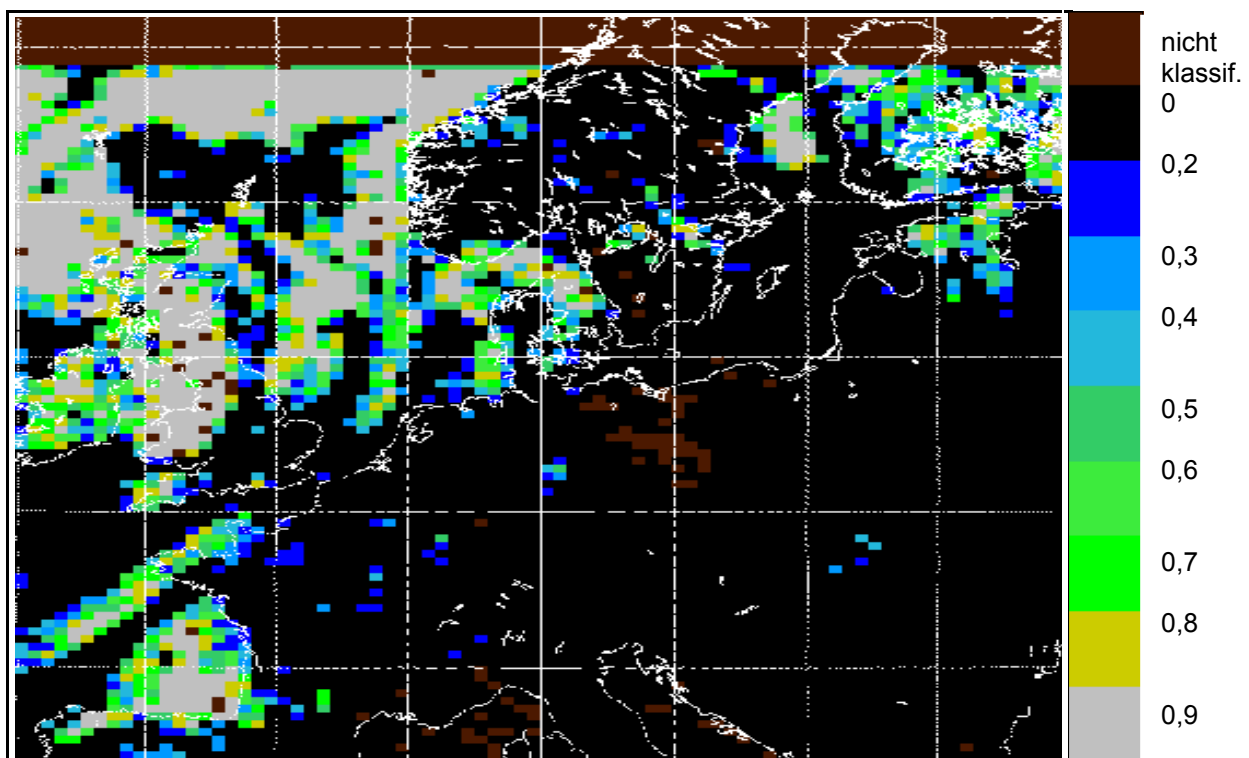


Abb. 6d: Bedeckungsgrad mittelhohe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 09 UTC

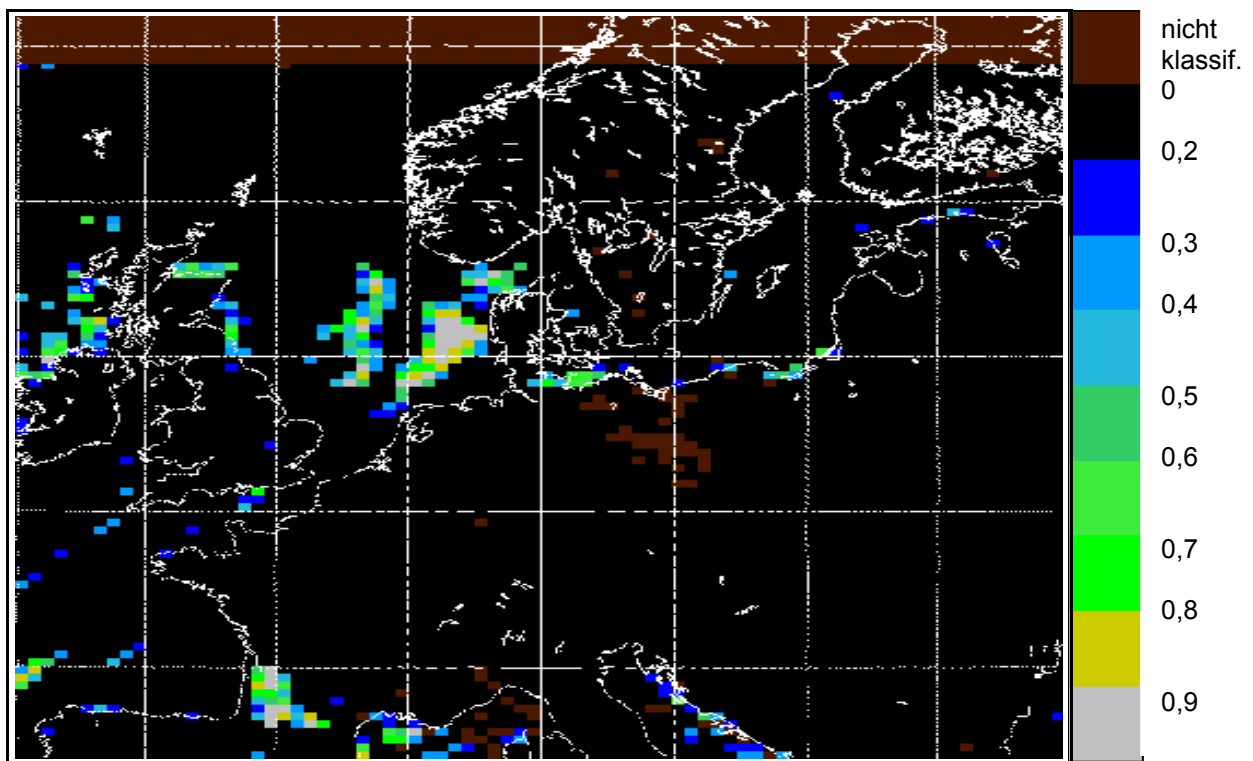


Abb. 6e: Bedeckungsgrad tiefe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 09 UTC

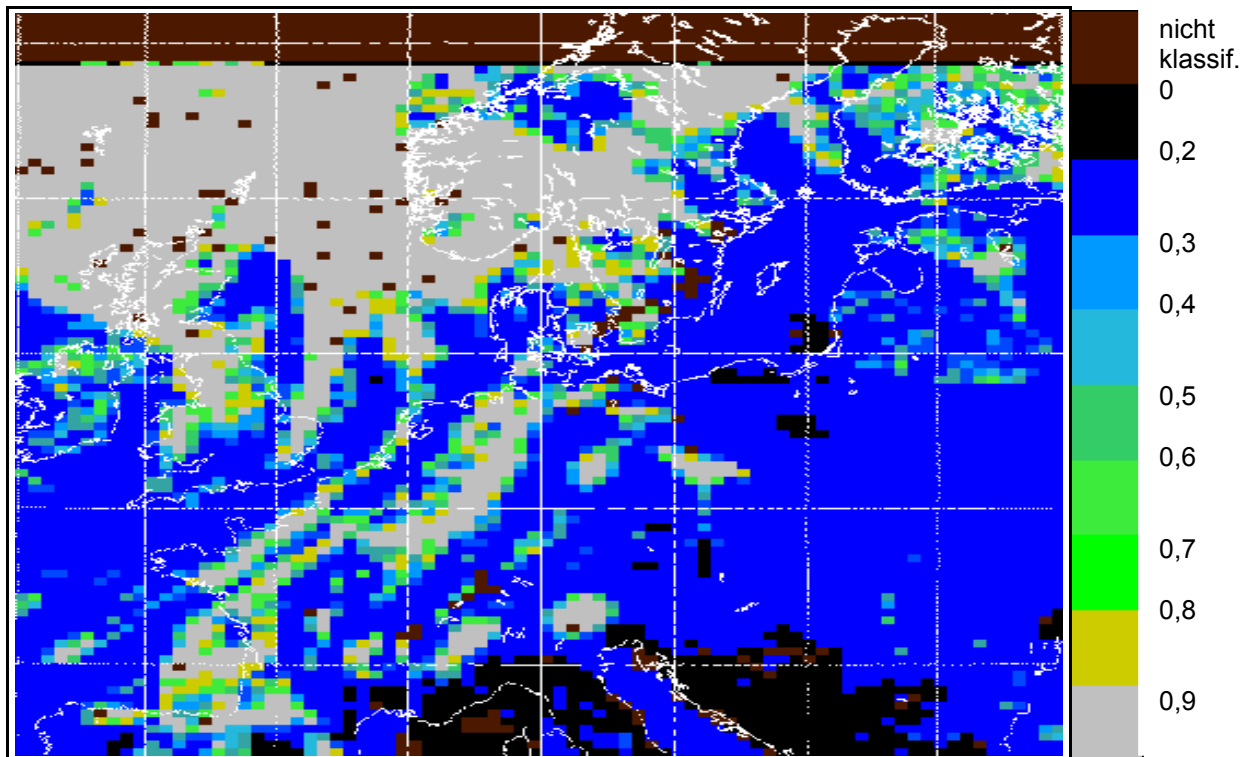


Abb. 7a: Gesamtbedeckungsgrad 0,8 aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 12:30 UTC
Dargestellt ist der Anteil der dichten Bewölkung am Gesamtbedeckungsgrad.

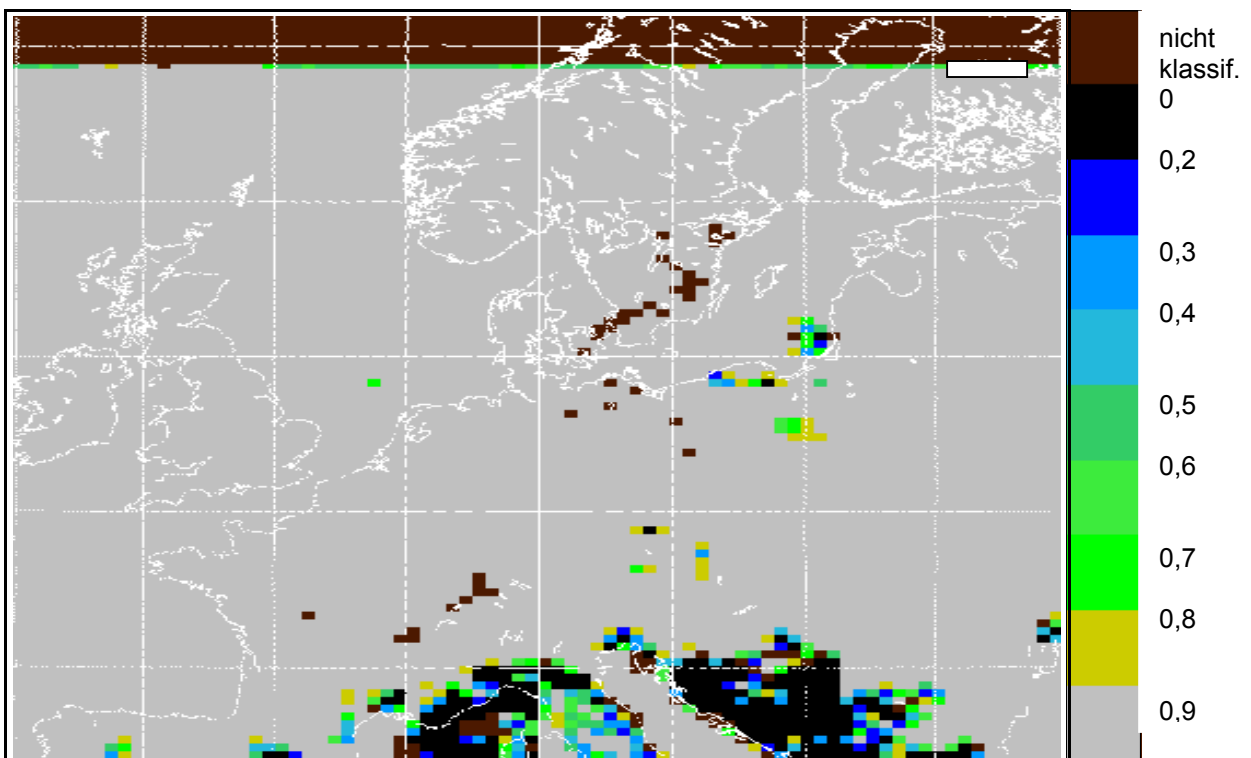


Abb. 7b: Gesamtbedeckungsgrad aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 12:30 UTC

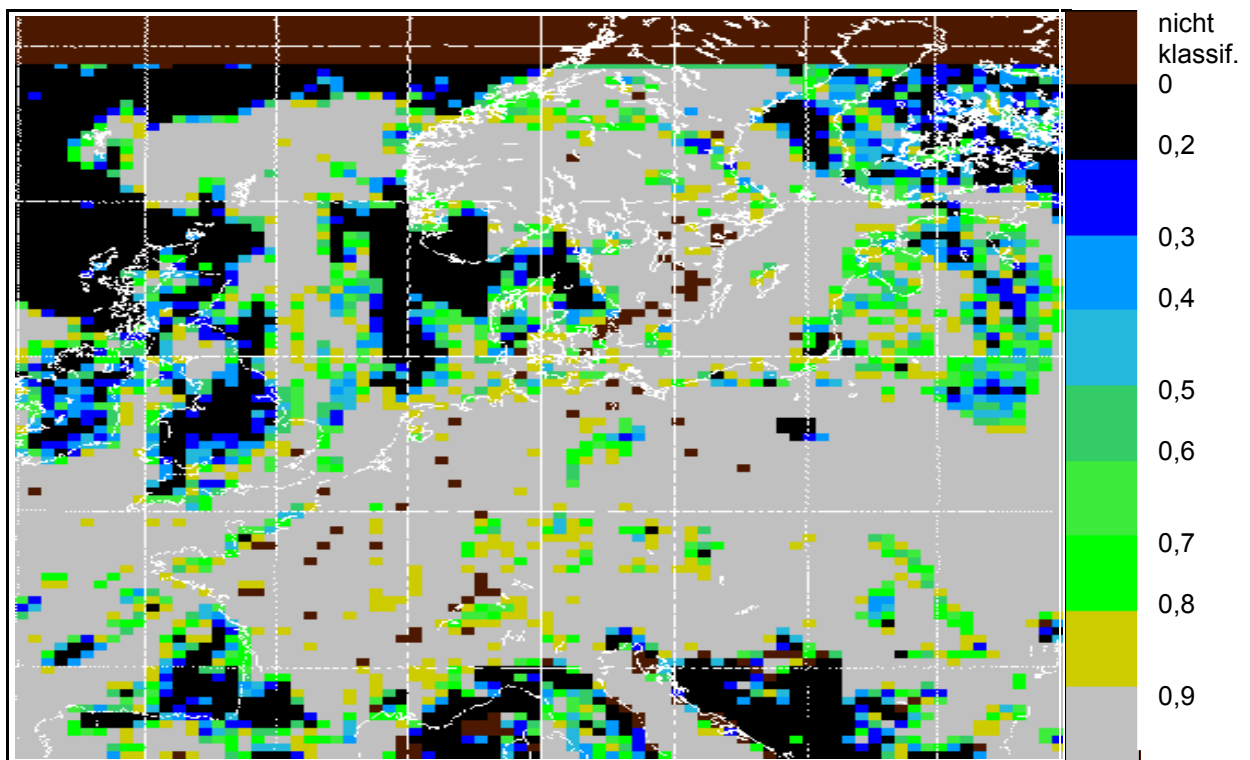


Abb. 7c: Bedeckungsgrad hohe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 12:30 UTC

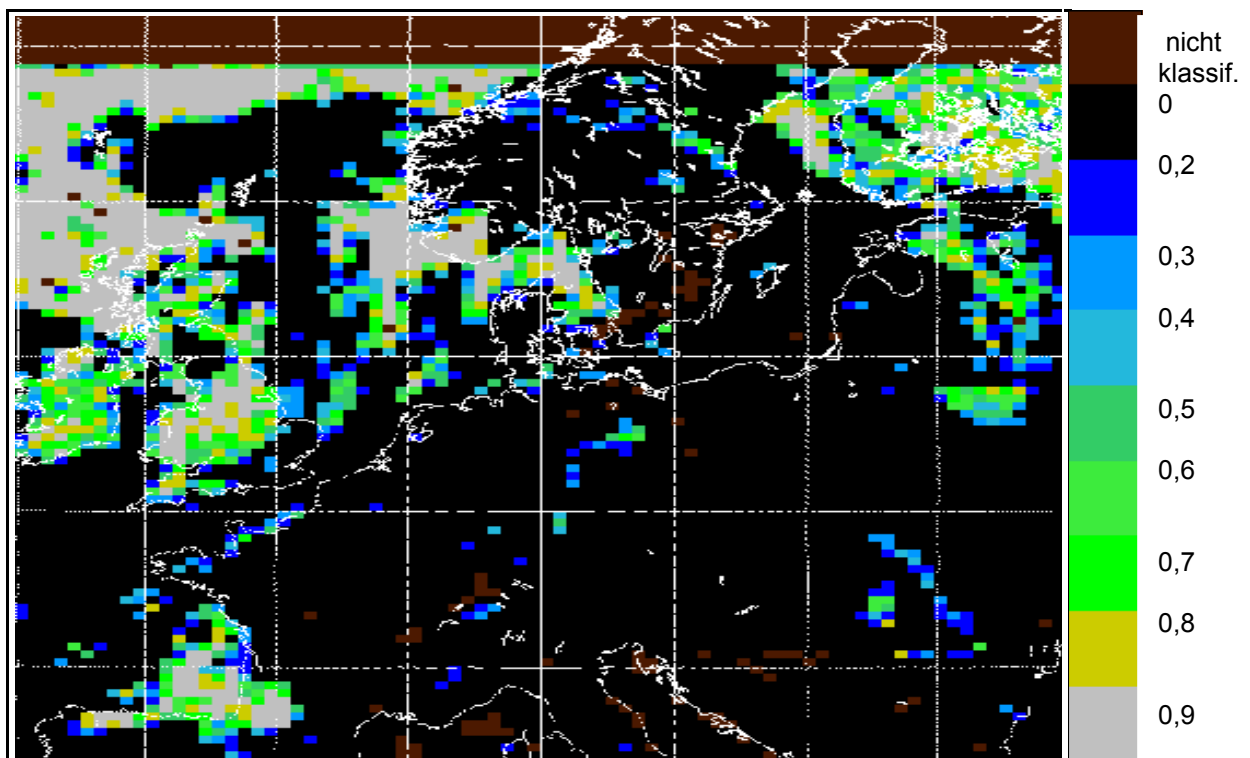


Abb. 7d: Bedeckungsgrad mittelhohe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 12:30 UTC

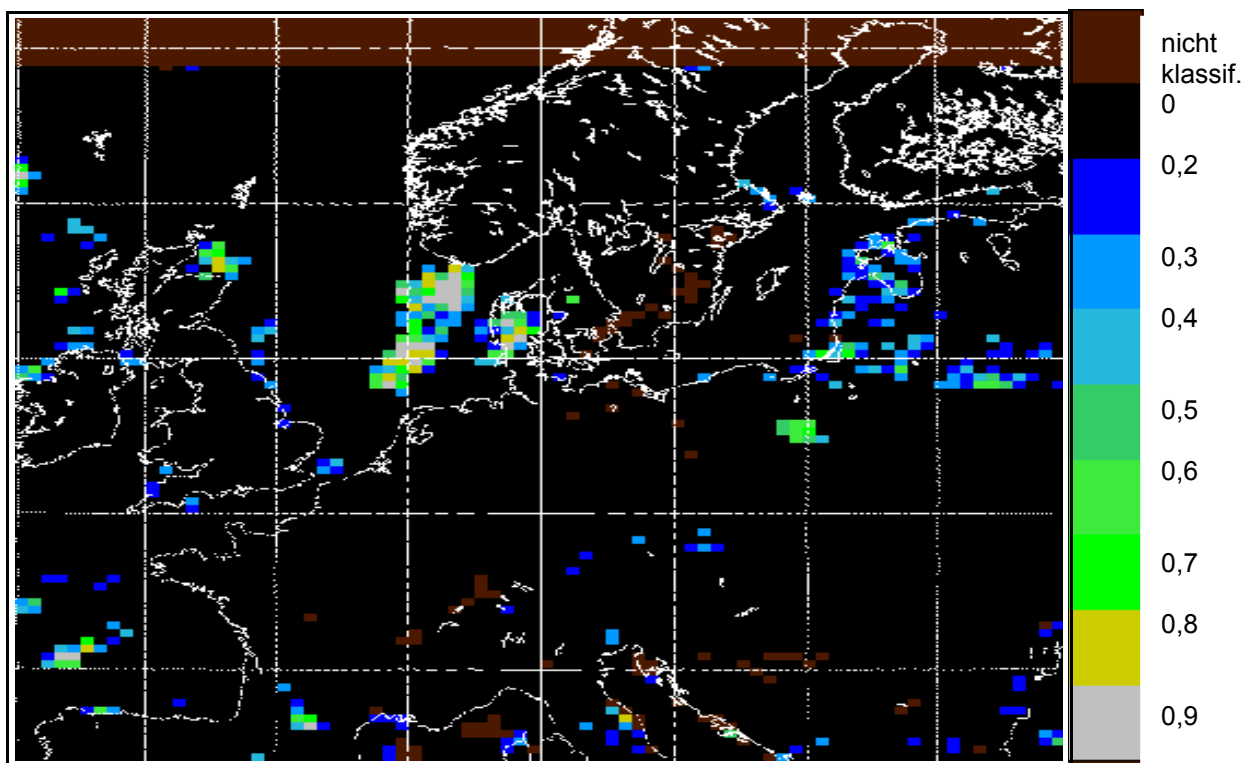


Abb. 7e: Bedeckungsgrad tiefe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 12:30 UTC

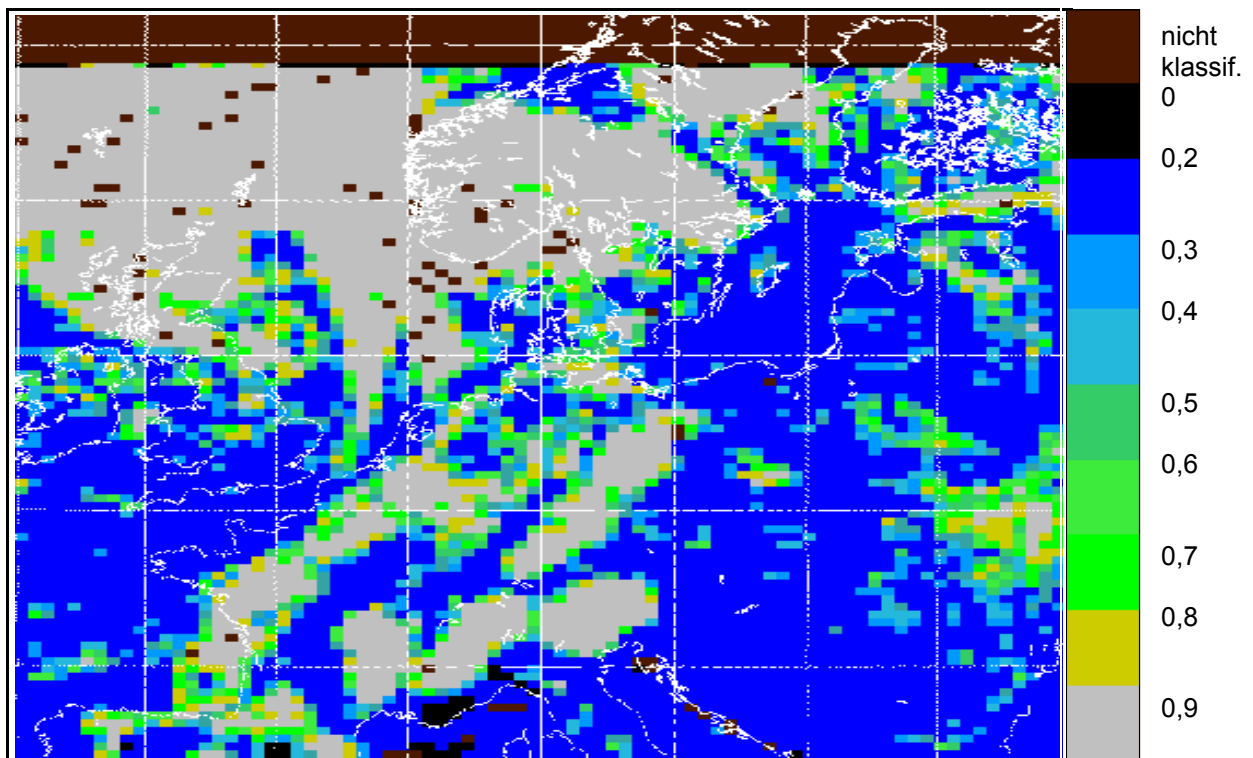


Abb. 8a: Gesamtbedeckungsgrad 0,8 aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 15 UTC
Dargestellt ist der Anteil der dichten Bewölkung am Gesamtbedeckungsgrad.

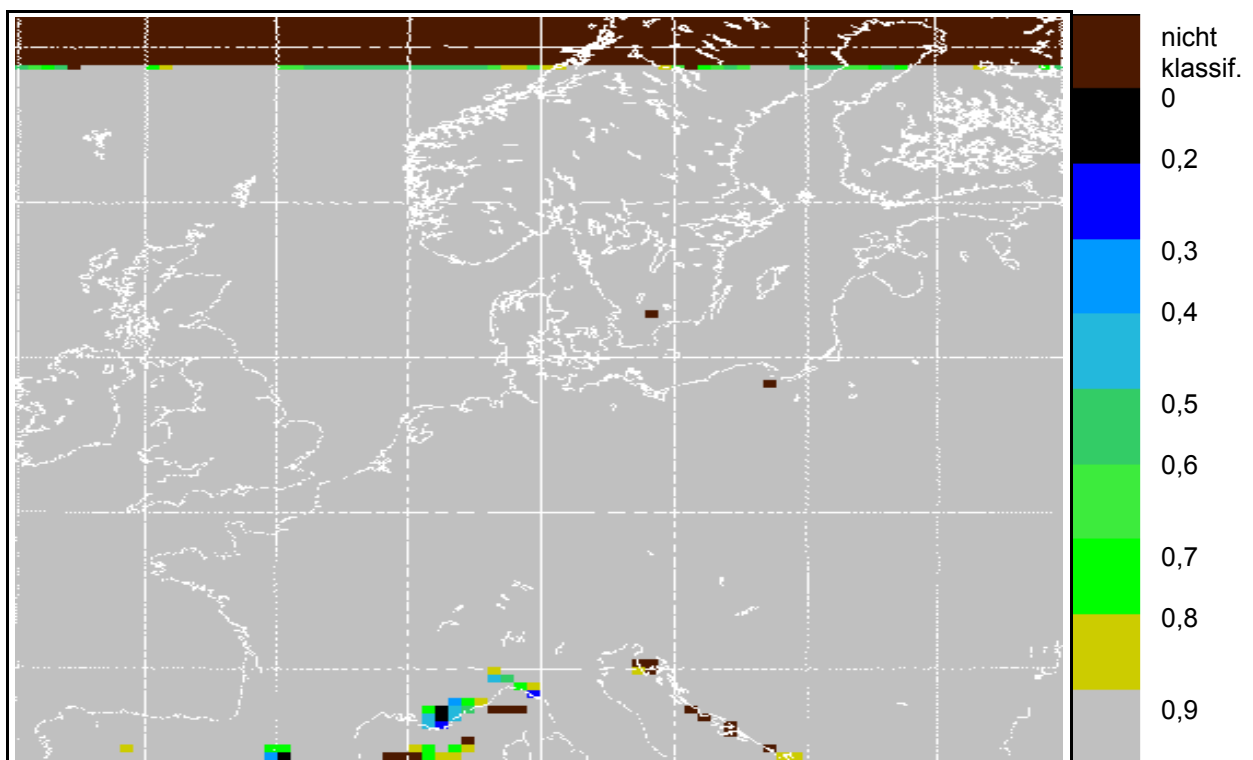


Abb 8b: Gesamtbedeckungsgrad aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 15 UTC

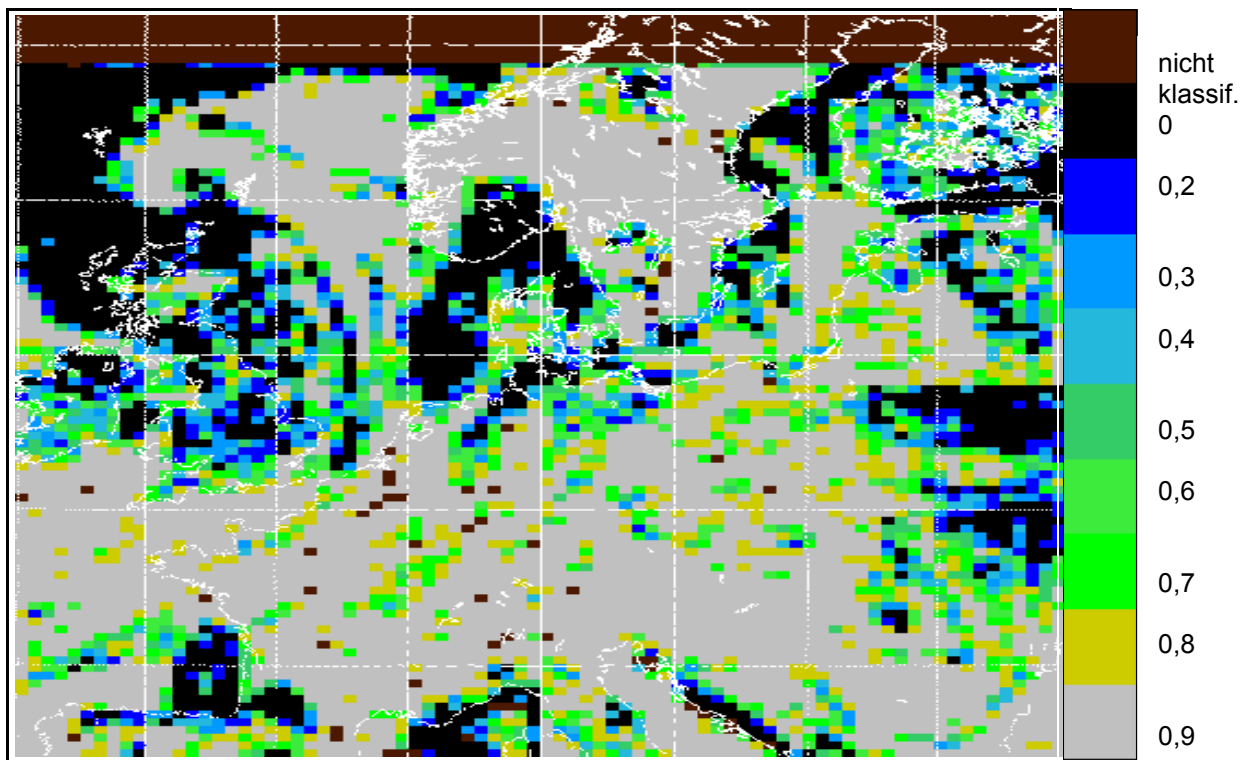


Abb. 8c: Bedeckungsgrad hohe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 15 UTC

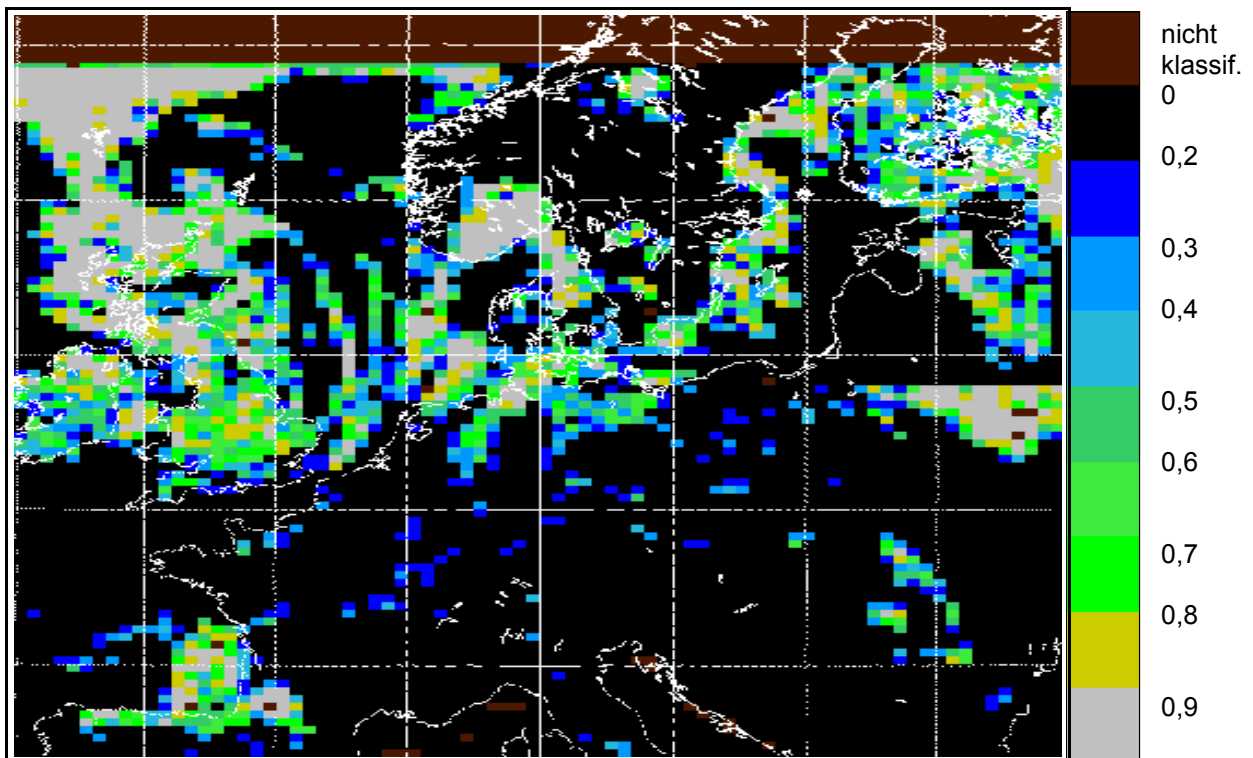


Abb. 8d: Bedeckungsgrad mittelhohe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 15 UTC

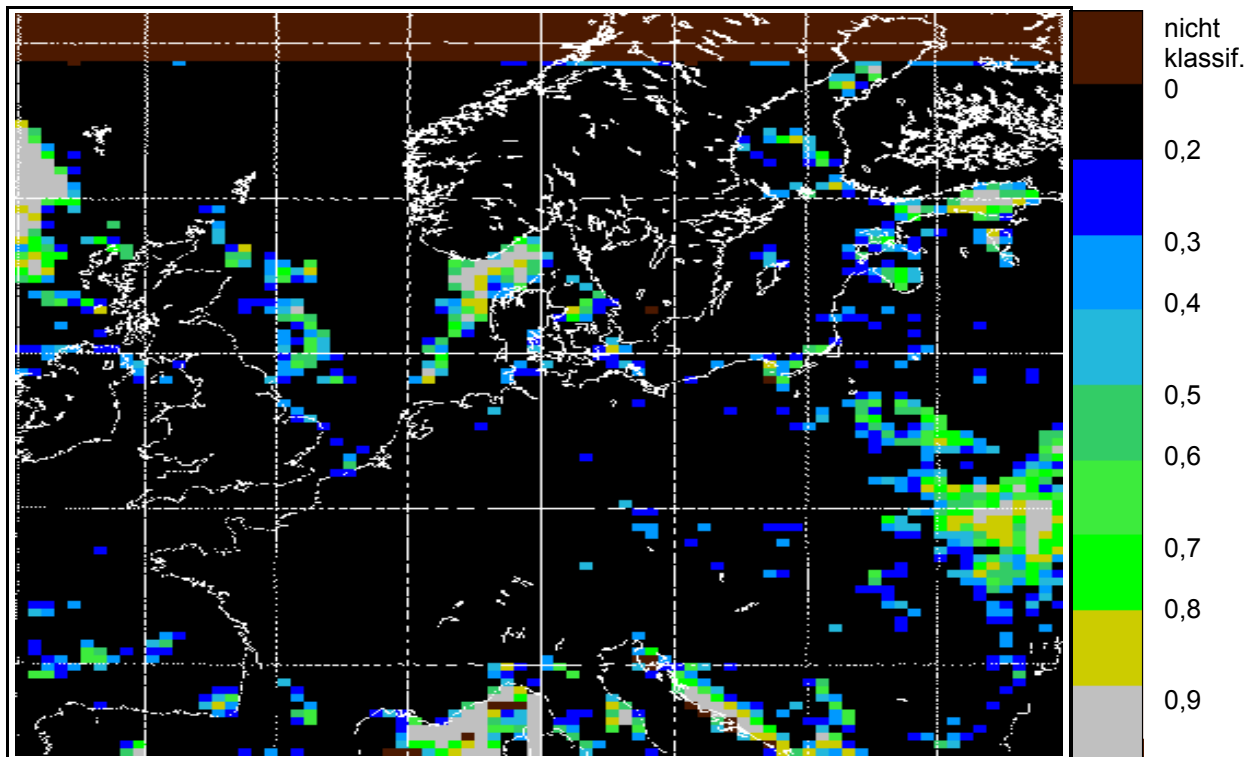


Abb. 8e: Bedeckungsgrad tiefe Wolken aus METEOSAT-Daten, 12.8.1998, 15 UTC

8. Tabellen:

Station	Breite	Länge	N	CL1	CL2	CM1	CM2	CH1	CH2	Twolo
Warnemünde	54,33N	12,08E	1	--	--	.42	0	.58	0	--
			0,63	0	/	0	/	Ci spi	/	25
Gdansk	54,33N	18,93E	0,95	0,25	0	0,08	0	0,63	0	18,0
			0,5	Cu hum	/	0	/	Ci fib	/	17
Torun	53,03N	18,58E	0,61	0,55	0	0,03	0	0,03	0	19,5
			0,5	0	/	0	/	Ci fib	/	23
Angermünde	53,03N	14,00E	1	--	--	0,31	0	0,63	0,06	--
			0,88	0	/	0	/	Cs	/	26
Plock	52,58N	19,73E	0,72	0,63	0	0,02	0	0,07	0	19,1
			0,38	0	/	0	/	Ci unc	/	22
Cottbus	51,78N	14,32E	1	--	--	0,24	0	0,76	0	--
			0,88	0	/	0	/	Cs	/	27
Artern	51,38N	11,3E	1	--	--	0,52	0,18	0,03	0,27	--
			0,5	Cb cap	/	Ac cas	/	0	/	32
Wroclaw	51,1N	17,0E	1	--	--	--	--	0,09	0,91	--
			0,88	0	/	0	/	Cs	/	26
Katowice	50,23N	19,03E	1	--	--	--	--	1	0	21,1
			0,38	0	/	0	/	Ci spi	/	26
Tatabanya	47,57N	18,37E	1	--	--	0,03	0	0,97	0	--
			0	0	/	0	/	0	/	34

Tab. 1: Vergleich METEOSAT-7 (weiß, 12:30 UTC) mit Bodenbeobachtungen (hellgrau unterlegt, 12 UTC) für den 12.8.1998. Bei den Satellitendaten wird nur der jeweilige Teilbedeckungsgrad, bei den Bodenbeobachtungen nur die jeweilige Wolkenart angegeben. Die für METEOSAT-7 angegebenen Temperaturen sind der Mittelwert aller "wolkenfreien" Pixel der zugehörigen REM3-Zelle.

N: Gesamtbedeckungsgrad; **CL1:** dünner Stratus, lockere konvektive Bewölkung geringer bis mittlerer vertikaler Mächtigkeit (Cu hum); **CL2:** dichter Stratus, Stratocumulus, Cumulus mit geringer bis mittlerer vertikaler Mächtigkeit (Cu med); **CM1:** dünne bis mitteldichte mittelhohe Wolken (Ac cas), konvektive Wolken größerer vertikaler Mächtigkeit (Cu con); **CM2:** dichte mittelhohe Wolken (Ac cas); **CH1:** dünner Cirrus (Ci fib, Ci unc, Ci spi); **CH2:** dichter Cirrus (Cs), Cumulonimbus; Twolo: mittlere Temperatur der wolkenfreien Pixel (so vorhanden) bzw. Stationstemperatur; **0:** Wolkengruppe nicht vorhanden; **--:** Wolkengruppe nicht beobachtbar

Station	Breite	Länge	N	CL1	CL2	CM1	CM2	CH1	CH2
METEOSAT			1	0	0	0,76	0,06	0,18	0
Berlin-Dahlem	52,47N	13,3E	0,88	Cu med con	--	0	--	Ci spi	--
Berlin-Tempelhof	52,48N	13,42E	0,88	Cu med con	--	Ac cas	--	Ci spi	--
Potsdam	52,38N	13,07E	0,75	0	--	Ac cas	--	Cs	--

Tab. 2: Vergleich der Bodenbeobachtungen der Stationen Dahlem, Tempelhof und Potsdam (hellgrau unterlegt, 12 UTC) mit den Ergebnissen aus den METEOSAT-7-Daten (weiß, 12:30 UTC) für den 12.8.1998 für die zugehörige REM3-Zelle. Die für METEOSAT-7 angegebenen Temperaturen sind der Mittelwert aller "wolkenfreien" Pixel der zugehörigen REM3-Zelle.

N: Gesamtbedeckungsgrad; **CL1:** dünner Stratus, lockere konvektive Bewölkung geringer bis mittlerer vertikaler Mächtigkeit (Cu hum); **CL2:** dichter Stratus, Stratocumulus, Cumulus mit geringer bis mittlerer vertikaler Mächtigkeit (Cu med); **CM1:** dünne bis mitteldichte mittelhohe Wolken (Ac cas), konvektive Wolken größerer vertikaler Mächtigkeit (Cu con); **CM2:** dichte mittelhohe Wolken (Ac cas); **CH1:** dünner Cirrus (Ci fib, Ci unc, Ci spi); **CH2:** dichter Cirrus (Cs), Cumulonimbus; **0:** Wolkengruppe nicht vorhanden; **--:** Wolkengruppe nicht beobachtbar

9. Zeitaufwand:

a) Verarbeitung aktueller Daten

Sobald die Bildaufnahme abgeschlossen ist und die einzelnen Bildfiles bereitstehen, können die einzelnen Schritte der Weiterverarbeitung (siehe Flußdiagramm, Abb.1) erfolgen. Die Ergebnisse liegen tagsüber nach etwa 6 Minuten, nachts (also ohne VIS) nach etwa 3 Minuten vor.

b) Verarbeitung von Archivdaten

Hierfür werden die Daten vom Speichermedium auf Platte tageweise kopiert.

Für diesen Tag erfolgen dann als Ganzes die notwendigen Berechnungen. Währenddessen kann bereits der nächste Tag kopiert werden, so daß kein Extra-Zeitaufwand entsteht. Ebenso ist es nicht zwingend notwendig, erst einen ganzen Tag fertigzurechnen, bevor der nächste begonnen wird. Die einzelnen Rechenschritte werden statt dessen ineinander verschachtelt. Bei einem achtstündigen Arbeitstag würde die Aufarbeitung eines ganzen Jahres etwa 4 Monate dauern, so daß in einem Jahr drei Archivjahre gerechnet werden können.

Speicherplatz

Sowohl die entzerrten als auch die transformierten Files benötigen einen Speicherplatz von je 2 MB.

Werden alle fünf Files pro Termin archiviert, sind das im Sommer ca. 342 MB pro Tag. Hinzu kommen ca. 1,2 MB pro Termin für den Ergebnisfile, also nochmal ca. 58 MB pro Tag, das sind insgesamt 400 MB pro Tag. **Im Jahr** würden somit ca. **140 GB** Speicherplatz benötigt.

Bei einer Archivierung lediglich der transformierten Bildfiles sowie des Ergebnisfiles würden noch knapp 200 mb pro Tag und **70 GB pro Jahr** benötigt.

Werden nur die Ergebnisfiles gespeichert, sind das **pro Jahr ca. 21 GB** benötigter Speicherplatz.

Die Daten müssen auf externen Medien (z.B. CD-ROM o.ä.) gespeichert werden.

10. Bewertung

Die Verwendung von beobachteten Bedeckungsgraden und Typen von Wolken für die meteorologischen Treiberfelder des chemischen Transportmodells REM3 hat sich als sinnvoll erwiesen im Vergleich zur Wolkenbestimmung von Wettervorhersagemodellen, die durch die grobe Auflösung und eine begrenzte Wolkendarstellung erhebliche Probleme zeigen. Dabei werden die Wolken prinzipiell nach den Beobachtungsvorschriften der Wetterdienste erfasst.

Probleme ergeben sich bei der flächenhaften Erfassung, da die Beobachtungsstationen der Wetterdienste nicht flächendeckend ist, besonders natürlich über den Meeresgebieten. Hier bieten die METEOSAT-Daten eine gute und wichtige Ergänzung für die flächenhafte Wolkenanalyse, auch wenn zumindest im operationellen Betrieb nachts wegen der Abschattung gewisse Abstriche bei der Auswertung gemacht werden müssen. Jedoch sind sie besonders für Meeresgebiete die einzige flächendeckende Datenquelle mit hoher Zeitauflösung. Auch ist eine Bestimmung von Teilbedeckungsgraden möglich, die eine wichtige Zusatzinformation darstellen.

Das hier angesprochene Analysenverfahren zeigt generell gesicherte Ergebnisse bei den niedrigen und mittelhohen Wolken, während hohe Wolken bislang nur teilweise erfaßt werden. Im Winter wird die Wolkenanalyse zumindest für tiefe Wolken über einer Schneedecke schwierig.

Die wichtigen Parameter "Bedeckungsgrad" und "Teilbedeckungsgrad" können mit dem vorgestellten Verfahren in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung für den meteorologischen Treiber des photochemischen Ausbreitungsmodells REM3 zuverlässig zur Verfügung gestellt werden.

