

Zeitschrift: Beiheft zum Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern
Herausgeber: Geographische Gesellschaft Bern
Band: 1 (1975)

Artikel: Bewölkungsuntersuchungen über der Sahara mit Wettersatellitenbildern
Autor: Winiger, Matthias
Kapitel: 1: Methoden der Bewölkungsauswertung
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-960237>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

I. Teil:
Methoden der Bewölkungsauswertung

2. VERWENDETES DATENMATERIAL

Im folgenden werden einige technische Fakten zusammengestellt, soweit sie für unsere Untersuchungen relevant sind. Für detaillierte Auskünfte bezüglich Satelliten und Dateneigenschaften sei auf die vielfältige Fachliteratur (u.a. STOLDT, HAVANAC, 1973), speziell aber auf die jeweiligen USER'S GUIDES, die zu vielen Satellitensystemen erhältlich sind (z.B. NIMBUS USER'S GUIDE) verwiesen. In den einzelnen Kapiteln (6.3., 12.1., 18.1.) wird zudem zusammengestellt, welches Datenmaterial von welchen Satelliten schliesslich für die Auswertungen beigezogen wurde.

2.1. Satelliten

Eine ausführliche Liste aller bilderzeugenden Satellitensysteme wurden vom Autor in TOMLINSON (1972:327-333) veröffentlicht.*)

Die Vielfalt der eingesetzten Systeme lässt sich grob in experimentelle und operationelle einteilen. Während erstere v.a. dem Testen neuer Sensoren und aller damit verbundenen technischen Einrichtungen dienen, sind die Satelliten der zweiten Gruppe vor allem auf den routinemässigen täglichen Einsatz ausgerichtet, wobei natürlich die erfolgreichen technischen Errungenschaften der Experimentiersatelliten zur Anwendung gelangen. In der klimatologischen Praxis wird natürlich nicht mit aller Schärfe zwischen beiden Satellitenarten unterschieden, sondern es werden zur Wahrung der zeitlichen Kontinuität Bilder aller verfügbaren Satelliten ausgewertet.

Experimentelle Satelliten: TIROS, Nimbus, ATS, ERTS (Landsat)

Operationelle Satelliten: ESSA, ITOS, NOAA, SMS

Als Vergleichsmaterial konnten zusätzlich Bilder bemannter Raumschiffe (APOLLO, Skylab) beigezogen werden, die aber ihres episodischen Charakters wegen höchstens für Einzelfall-Studien geeignet sind.

2.2. Satellitenbahnen (vgl. Tab. 1)*)

Mit Ausnahme der allerersten Raumkörper der TIROS-Serie umlaufen praktisch alle meteorologischen Satelliten die Erde auf kreisförmigen, quasipolaren, sonnensynchronen Bahnen. Damit ist eine globale Bilderfassung innerhalb eines Tages gewährleistet. Die Ueberquerung des Aequators immer zur gleichen Ortszeit, ist eine wesentliche Voraussetzung für die weltweite Vergleichbarkeit der Daten.

Eine spezielle Bahn weisen die geostationären Satelliten (ATS, SMS) auf: ihre Umlaufzeit entspricht der Rotationszeit der Erde. Da in der Regel die Inklination 0° ist, ist der Subsattellitenpunkt theoretisch immer an der gleichen Geländestelle.

*) Tab. 1 im Anhang

2.3. Sensoren (vgl. Tab.1) *)

Für eine Gesamtübersicht der heute gebräuchlichen Sensoren sei auf BARRETT (1974:36ff), STOLDT, HAVANAC (1973) und die USER'S GUIDES verwiesen. Im folgenden sei deshalb nur in knappen Worten die bilderzeugenden Sensoren erwähnt, soweit ihre Produkte in dieser Arbeit zur Auswertung gelangten.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Vidicon-Kameras, die ausschliesslich im sichtbaren Spektralbereich arbeiten und abtastenden Systemen (IDCS, SSCC, MRIR, HRIR, VHRIR), die teils im sichtbaren, teils im infraroten Spektralbereich Daten aufzeichnen. Abgesehen von den technischen Unterschieden und der ungleichen Möglichkeit, Daten realtime (APT) zu übertragen oder einer der zentralen Empfangsstationen (z.B. Wallops oder Fairbanks) zu übermitteln, sind die für die Bildinterpretation relevanten Unterschiede v.a. in der Bildgeometrie, den daraus resultierenden Beleuchtungsverhältnissen, der geometrischen Bildauflösung und dem zur Verfügung stehenden Spektralbereich zu suchen.

Die mit einer Televisionskamera vergleichbaren Vidicon-Kameras und sog. "AVCS"-Kameras der TIROS, ESSA- und Nimbus I + II -Satelliten registrieren eine Momentaufnahme auf einer lichtempfindlichen Schicht, die nachher elektronisch abgetastet, und entsprechend dem jeweiligen "Grauwert" in ein analoges Signal unterschiedlicher Stärke verwandelt wird. Dieses kann dann entweder direkt oder nach vorheriger Speicherung zur Erde übertragen und dort wieder zeilenweise in ein Bild umgewandelt werden. Dieser Bildtypus weist demnach eine Bildgeometrie auf, die sich grundsätzlich von einer Luftbildaufnahme nicht unterscheidet, und deren wesentlichste Charakteristika in LINDENBEIN (1970) zusammengestellt sind.

Das Image Dissector Camera System (IDCS) und die Radiometer der Typen SR, MRIR, HRIR und VHRIR nehmen nicht mehr Momentaufnahmen auf, sondern tasten die Erdoberfläche quer zur Flugrichtung kontinuierlich ab. Die auf der Erde in Bildform zurückverwandelten Daten präsentieren sich entweder als kontinuierlicher Bildstreifen oder als "Einzelbild", das äusserlich von den AVCS-Bildern kaum zu unterscheiden ist, aber doch eine prinzipiell andere Bildgeometrie aufweist (vgl. SCHENK, 1973, und Kap. 8. dieser Arbeit).

War die Bildqualität der ersten Satelliten für eine grossräumige Auswertung der Bewölkung gedacht, lässt das gesteigerte Auflösungsvermögen der jüngsten Aufnahmesysteme selbst kleinräumige Analysen zu. Voraussetzung dazu ist, dass zur Erzeugung des Bildes ein photochemisches Wiedergabesystem und nicht das noch weitverbreitete Fotofax-Verfahren angewendet wird.

*) Tab. 1 im Anhang

2.4. Datenform

2.4.1. Bilder, Bildmosaike

Es wurden für die nachfolgenden Bewölkungsanalysen Bilddaten unterschiedlicher Form benutzt.

1. Faksimile-Wiedergaben von APT-Aufnahmen der Empfangsstation Colovrex (bei Genf) der Radio Suisse S.A., z.T. auf Mikrofilm festgehalten, konnten zum Schliessen allfälliger Lücken verwendet werden. Besonders bei älteren Aufnahmen war der Grautonumfang rel. bescheiden, so dass die Differenzierung der Bewölkung nicht immer zweifelsfrei möglich war.
2. APT- und direct-readout-Bilder der Sternwarte Bochum auf photographischem Papier. Diese Aufnahmen sind speziell zum Zweck geographischer Interpretationen verarbeitet worden und weisen einen überdurchschnittlichen Qualitätsstandard auf, was insbesondere für die VHRIR-Aufnahmen der NOAA-2 und -3 gilt.

Sowohl die Bochumer Bilder, wie auch die Aufnahmen der Station Colovrex erfassen den Südrand der Sahara nur unter günstigen Umständen, während die zentralsaharischen Gebirge noch mit einer Regelmässigkeit von ca. 80 % der verfügbaren Daten abgebildet werden.

Die Aufnahmen sind unentzerrt, so dass eine Auswertung grösseren Stils nur für relativ kleine Gebiete mit vertretbarem Aufwand in Frage kommt. Dazu gehört etwa der Vergleich der beiden Hochgebirgsräume des Hoggars und des Tibesti (Teile 3 und 4 dieser Arbeit).

3. AVCS-Mosaike der ESSA-Satelliten 3, 5, 7 standen für das ganze Jahr 1968 zur Verfügung. Für den tropischen Bereich eigneten sich insbesondere die entzerrten und mit Mercator-Koordinaten versehenen Bildzusammensetzungen. Für klimatologische Studien grosser Räume ist allein diese Datenform rationell auswertbar, da einerseits keine Ueberlappungen berücksichtigt werden müssen und ein einheitliches Auswertungsgitter verwendet werden kann.
4. "Minimum"-, "Average"- und "Maximum brightness charts" dienen vor allem dem Bewölkungsvergleich über den Ozeanen. Sie wurden mit gutem Erfolg auch bei der Bestimmung der Schneedecke in ihrer kontinentalen Verbreitung (etwa in Kanada) verwendet. Dagegen liefern sie nicht sehr brauchbare Ergebnisse über den Wüstengebieten.

Andere Daten - Digitaldarstellungen der Albedoverhältnisse, vertikale Temperaturprofile - wurden lediglich zu Vergleichszwecken sporadisch beigezogen.

2.4.2. Filme

AVCS-Mosaike einzelner Tage sind verschiedentlich zu Filmen verarbeitet worden. Die Zirkulationsverhältnisse der Atmosphäre sind in ihrer Komplexität kaum anschaulicher erfassbar als in dieser Form. Für die vorliegende Arbeit bot vor allem der Film "Tropical Atlantic Cloud Patterns 1968" (WAB 209) ein vorzügliches Anschauungsmaterial.

2.5. Bildeigenschaften

Für die Interpretation sind in erster Linie die geometrischen und spektralen Abbildungseigenschaften von Bedeutung. Auf die für quantitative Analysen (Oberflächentemperaturen) unerlässlichen Strahlungstemperaturangaben wurde verzichtet. Ueber das Auflösungsvermögen der einzelnen Sensoren gibt Tabelle 1 Auskunft. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die dort angegebenen Werte für den Nadirpunkt oder Subsatellitenpunkt Gültigkeit haben und gegen den Bildrand hin grösser werden. Die räumliche Auflösung ist eine Funktion der Sensorauflösung - die sich durch die Anzahl Bildlinien pro Videoaufnahme, bzw. das Gesichtsfeld (instantaneous field of view) der Scanner beschreiben lässt - der Höhe des Satelliten über Grund und des Abstandes vom Aufnahmepunkt. In Fig. 1 sind diese Zusammenhänge graphisch dargestellt.

Die auftretenden Verzerrungen lassen sich anschaulich durch die Abbildung des geographischen Koordinatennetzes darstellen. Sie sind randlich besonders bei der Scanner-Aufnahme so stark, dass in der Regel nur der Bereich zwischen den abgebildeten weissen Linien (Abstand von der Subsatellitenbahn: 1000 km) auswertbar ist.

Sensorbedingte Einflüsse beeinträchtigen die Grautonverteilung des Vidiconbildes. Randliche Vignettierungen, Veränderungen der lichtempfindlichen Schicht der Bildröhren, nicht-lineare Bildschwärzungskurven, teilweise nicht vollständig gelöschte vorangehende Aufnahmen beeinflussen die Bildqualität und damit die Sicherheit im Erkennen von Bewölkung bei den APT-, AVCS- und teilweise den IDCS-Systemen.

Diese variable Bildqualität beeinträchtigt die Kontinuität der Genauigkeit der Auswertungsergebnisse, was v.a. bei klimatologischen Reihenbeobachtungen als Nachteil hingenommen werden muss. Neben den aus Tab. 1 ersichtlichen Unterschieden in der Bildauflösung und den eben beschriebenen sensorbedingten Qualitätseinbussen müssen Bildverarbeitungsverfahren der Bodenstationen berücksichtigt werden. Konnte im Archiv der Sternwarte Bochum noch am Originalmaterial gearbeitet werden, so mussten die AVCS-Mosaike ab Mikrofilm rückvergrössert werden.

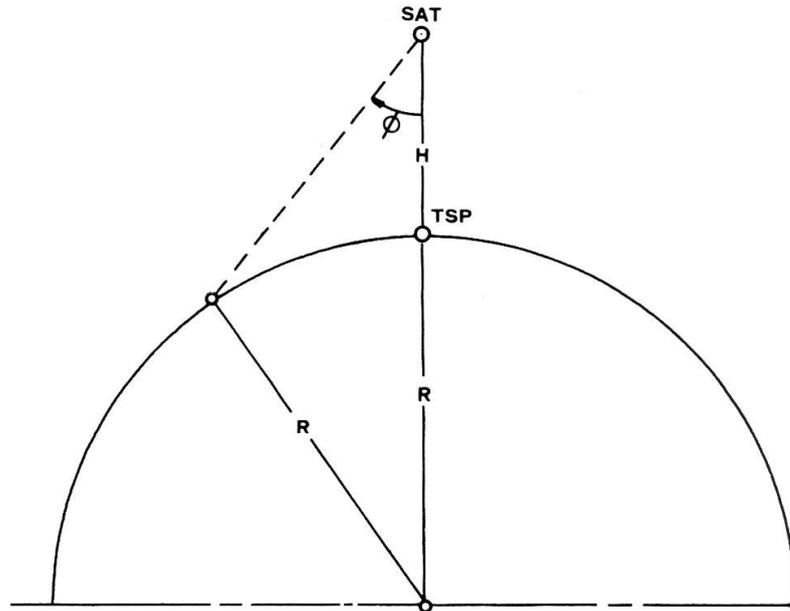
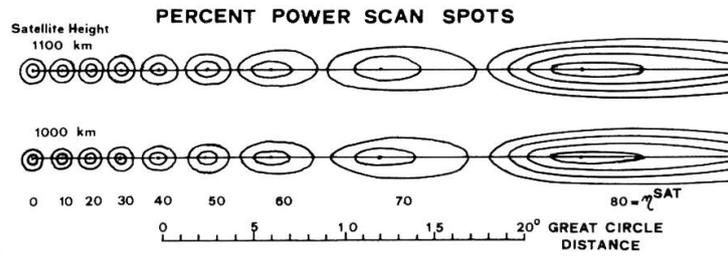


Fig.1: Berührungsfläche des Abtaststrahls eines Radiometers auf der Erdoberfläche aus 1000 und 1100 km Höhe als Funktion des Abtastwinkels ϕ , bzw. der Grosskreisdistanz (H =Höhe der Satellitenbahn, R = Erdradius, TSP=Subsatellitenpunkt, Nadir) (Aus SCHENK,1973:65, verändert).

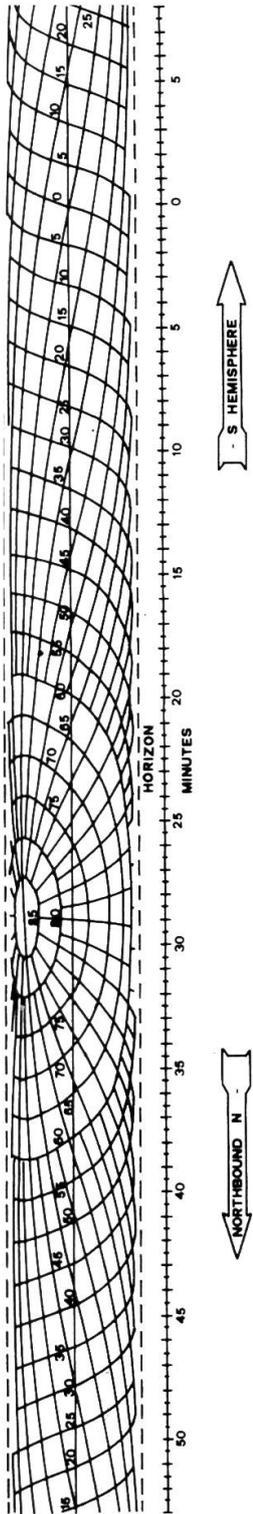


Fig.2.b

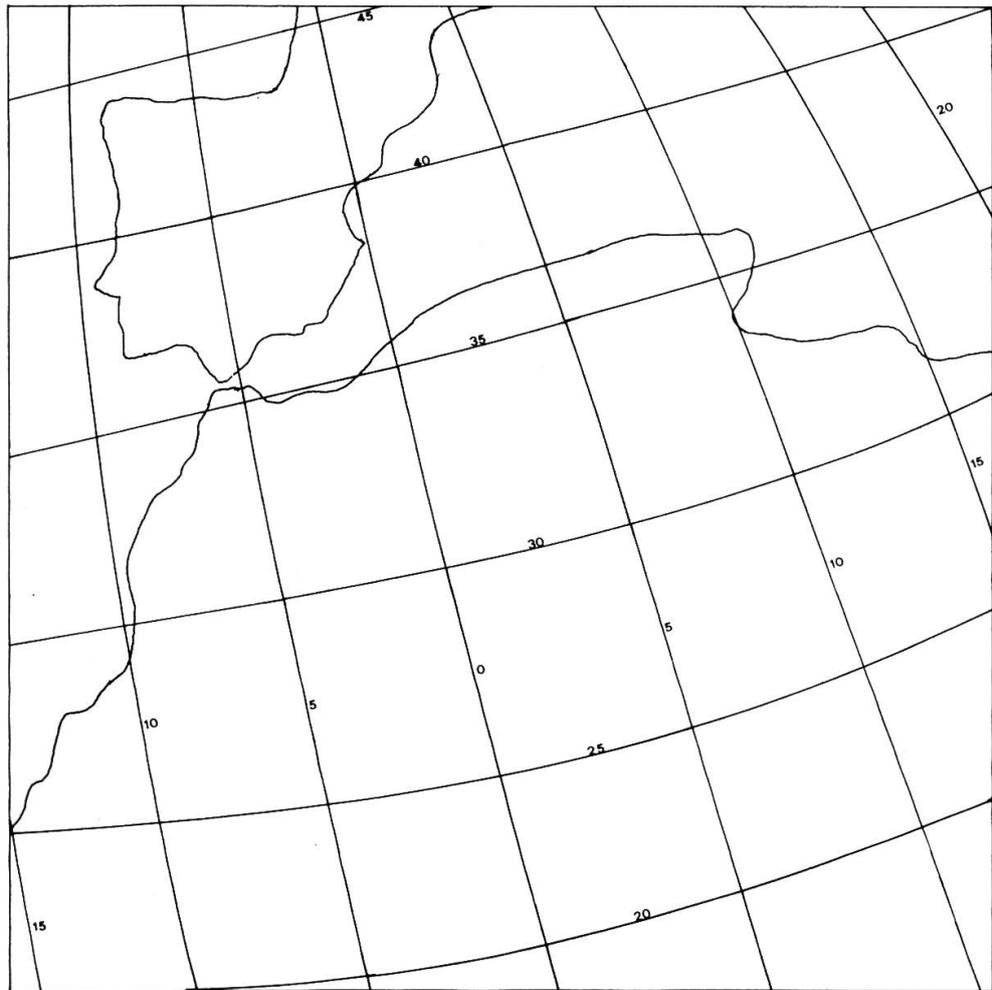


Fig.2 .a

Fig.2.a: Verzerrung des geographischen Koordinatennetzes in einer APT-Aufnahme des Satelliten ESSA 6 (HAUPT, 1970:II-142)

Fig.2.b: Verzerrung des geographischen Koordinatennetzes in einer Direct-Read-out -IR-Scanneraufnahme. (ESSA Direct Transmission System Users Guide, 1969:137)

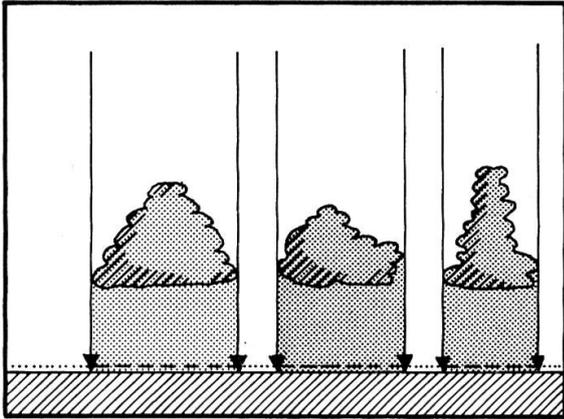


Fig.3.a: Bewölkungsgrad aus der Sicht des Satelliten bei annähernd paralleler Beobachtungsrichtung.

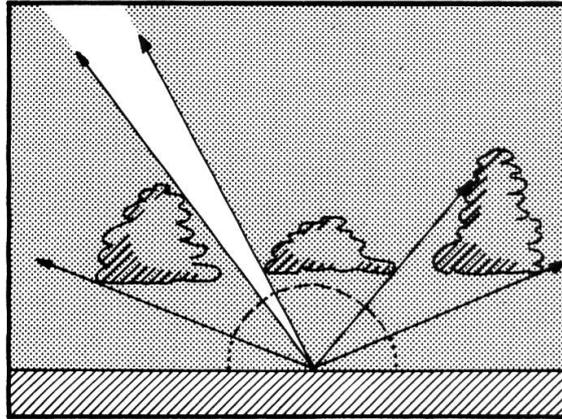


Fig.3.b: Bewölkungsgrad aus der Sicht des erdgebundenen Beobachters.

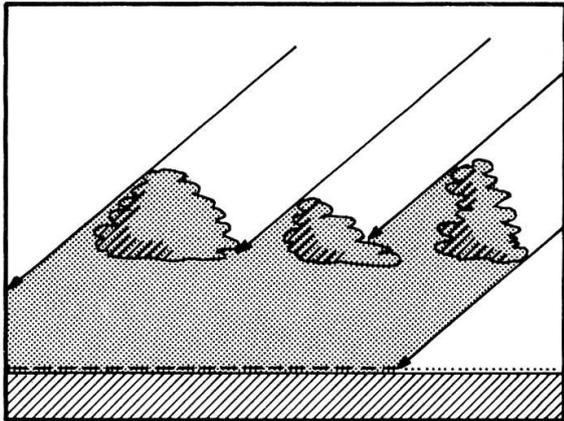


Fig.3.c: Bewölkungsgrad in Bezug auf die momentane Sonneneinstrahlung.

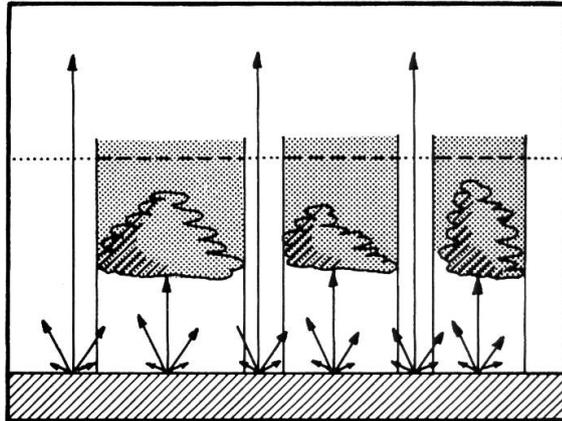


Fig.3.c: Bewölkungsgrad aus der Sicht des Satelliten bezogen auf die terrestrische Strahlungsemission.

Fig. 3: Der Bewölkungsgrad in Abhängigkeit des Beobachtungsstandortes und der Beobachtungsgeometrie, bzw. Projektionsrichtung. Punktierte Flächen: durch Bewölkung abgedeckte Fläche am Himmelsgewölbe, bzw. der Erdoberfläche. Darstellung schematisch, ohne Berücksichtigung von Streuungs-, Absorptions- und Reflexionseffekten.

3. TECHNIK DER BILDAUSWERTUNG

3.1. Definition "Bewölkungsgrad"

Unter Bewölkungsgrad (oder gleich bedeutend "Bedeckungsgrad") verstehen wir hier den Anteil, den die Wolkendecke aus annähernd vertikaler und parallelprojektiver Perspektive an einer Einheitsfläche einnimmt, unabhängig von Wolkenart, -höhe und -dichte (Fig. 3 a).

Diese Definition weicht von derjenigen des erdgebundenen Beobachters ab, der den Bewölkungsanteil zentralperspektiv auf das Himmelsgewölbe, das uneinheitlich durch einen örtlich wechselnden Horizont begrenzt wird, bestimmt. Seine Werte sind deshalb normalerweise grösser als die Angaben aus der Satellitenbeobachtung (Fig. 3 b). Vergleiche dazu auch Teil 2.

Aus beiden ermittelten Bedeckungsbeträgen lässt sich theoretisch eine Sonnenscheindauer berechnen. Die effektiv gemessene Sonnenscheindauer weicht ja nach geographischer Lage, Jahres- und Tageszeit sowie Bewölkungsart von diesem theoretischen Wert ab, da einerseits wieder eine Parallelprojektion aus wechselnder Richtung auftritt, andererseits Streuung und Absorption der verschiedenen Wolkenarten stark variieren (Fig. 3 c). Ebenfalls sehr komplex wirkt die Wolkendecke auf die terrestrische Ausstrahlung, wobei wiederum neue Kriterien für den Bedeckungsgrad Gültigkeit haben (Fig. 3 d).

3.2. Datenreduktion und -verarbeitung

Die Wolkendecke ist -vereinfachend - ein flächenhaftes Phänomen. Die synoptische Kartierung basiert auf Stationsbeobachtungen, also auf subjektiven Schätzungen des Bewölkungsanteiles an dem dem Beobachter sichtbaren Himmelsausschnitt. Dieses Gesichtsfeld ist von Station zu Station verschieden, je nach Horizontabdeckung durch Berge, Vegetation oder Gebäude. Die Stationsdichte variiert von Raum zu Raum sehr stark, obwohl man sich aufgrund internationaler Empfehlungen bemüht, eine gewisse Regelmässigkeit in die räumliche Struktur des Beobachtungsnetzes zu bringen. Nach BARRETT (1974:11) sollte der Abstand von Klimastationen (Bodenbeobachtungen) 500 km nicht übersteigen.

Die synoptische Beobachtungsmethode bezweckt, dass Messdaten (z.B. Luftdruck) vergleichbar sind. Bedingt durch den Tagesgang der Bewölkung resultiert daraus in den hemisphärischen Wetterkarten ein global verfälschtes Bild der Wolkendecke. Die Bildmosaike sonnensynchron umlaufender Satelliten dagegen zeigen uns eine Wolkenverteilung, die generell vergleichbar ist und damit einer klimatologischen Auswertung entgegenkommt.

Andrerseits sieht sich der Klimatologe - wie eingangs erwähnt - mit wachsender Datenmenge vor immer grössere Auswertungsprobleme gestellt. Bei jeder klimatologischen Verarbeitung der Satellitenbilder geht es im Grunde um den Vergleich des beobachteten Phänomens an einer bestimmten geographischen Stelle über einen längeren Zeitraum hinweg. Der stets wechselnde Standard der Datenform (Bildgeometrie, Sensorauflösung etc.) erschwert besonders über längere Zeiträume hinweg ein rationelles, d.h. automatisiertes Auswertungsverfahren, so dass die Daten auf anderem Wege gewonnen und teilweise auch verarbeitet werden müssen. Dies bedingt aber eine ganz entscheidende Reduktion der anfallenden Datenmenge.

In den folgenden Abschnitten seien sowohl automatisierte, als auch alternative Auswertungsverfahren kurz erläutert.

3.2.1. Automatisierte Verfahren

Während die routinemässige Bildverarbeitung durch automatisierte Verfahren operationell im globalen Massstab seit mehreren Jahren eingeführt ist, liegen erfolgreiche Versuche klimatologischer Auswertungen in der Regel nur für kleinere Räume und kürzere Zeitspannen vor. Ein Beispiel globaler klimatologischer Bildverarbeitung sind die sog. "brightness products", die die mittleren Albedoverhältnisse über verschieden lange Zeitabschnitte wiedergeben. Dabei lassen sich Stellen mit hoher Albedo über Ozeanen und Regenwaldgebieten problemlos als Bewölkung interpretieren, wogegen über Gebieten mit hoher Untergrundalbedo (Sandwüste, Eisflächen) die Separierung der Bewölkung nicht mehr mit Sicherheit möglich ist.

Ueber den Herstellungsprozess dieser brightness-charts, die als Mittelwerts- oder Häufigkeitsdarstellungen in verschiedener zeitlicher Zusammensetzung als "average brightness products" (Mittel über 5, 30 oder 90 Tage), "minimum brightness charts" und "maximum brightness charts" erhältlich sind, informieren BOOTH und TAYLOR (1969).

BRISTOR (1968) beschrieb in ausführlicher Weise die Bearbeitung von ESSA-Daten, die vollautomatisch von der Aufnahme zum entzerrten, mit Koordinaten versehenen Mosaik führt. Er bringt dabei auch das Problem der Datenmenge zur Sprache: Für die globale Bedeckung eines Tages werden drei "standard 2400-ft. tape reels" benötigt. Die endgültige Archivierungsform der Digitaldaten geschieht in reduzierter Form, indem je 8x8 Bildzellen der ursprünglichen Aufnahme zu einem neuen Datenelement zusammengefasst werden. Diese reduzierten Daten bilden auch die Grundlage für die sog. "brightness products" (Mittlere Albedo über 5, 30 oder 90 Tage), "minimum brightness charts" und "maximum brightness charts" (Minimale, bzw. maximale Albedo eines Gebietes über einen bestimmten Zeitabschnitt), wie sie BOOTH und TAYLOR (1969) erläuterten. Details von der Grösse des

räumlichen Auflösungsvermögens der Sensoren gehen dabei zwar verloren, doch die grossräumigen Strukturen leiden kaum unter dieser Reduktion. Galten die eben skizzierten Verarbeitungsverfahren für die Videodaten der ESSA-Serie, so sind wesentliche Fortschritte bezüglich Qualität seit der Ablösung der Videoaufnahmesysteme durch multispektrale Scanner erzielt worden. Auch wenn das Standard-Endprodukt ein entzerrtes Bild, versehen mit geographischen Koordinaten und teilweise mit geographischen Umrissen geblieben ist, so fallen doch viele Einschränkungen qualitativer Art weg. So vor allem die Bildvignettierungen, Bildmarken, Alterungsprozesse der Videoröhren, deren Ausmass nach BRISTOR nur empirisch abgeschätzt werden konnten.

Ein Beispiel neuester Bildverarbeitungsverfahren beschreibt WILKES (1974).

Behandeln die bisher besprochenen Verfahren ausschliesslich die Verarbeitung der gesamten Bildinformation, so geht es im folgenden v.a. um die Analyse gewisser Bildteile, in unserem Falle die Bewölkung. Es geht dabei um eine automatisierte Objektidentifikation, die u.U. wesentlich schwieriger sein kann.

Zwei grundsätzlich verschiedene Fragestellungen sind zu unterscheiden:

1. Bestimmung des Bewölkungsgrades
2. Bestimmung der Wolkenart.

zu 1.: Als Beispiel einer klimatologischen Auswertung der Bewölkung sei die Arbeit von MILLER und FEDDES (1971) zitiert. Die Autoren stellten einen "Global Atlas of Relative Cloud Cover" zusammen für den Zeitraum von 1967-1970. Als Basismaterial fanden die verarbeiteten AVCS-Daten (digital) Verwendung, die, wie oben erwähnt, bereits eine komprimierte Form der Originaldaten des Satelliten darstellen (ein Bildelement ist das Mittel von ursprünglich 8x8 Bildelementen aufgeteilt auf neu 15 Grautonstufen). Die Grautonskala wurde schlussendlich auf 5 Klassen reduziert. Die gemittelten Resultate wurden je nach Jahreszeit gewogen, um den Effekt bestimmter jahreszeitlich auftretender Wolkenarten (z.B. kleine Cumuli-Felder im Sommerhalbjahr) auszugleichen. Schliesslich sind jeweils je 4 Monatskarten dargestellt worden: a) Mittlere Bewölkung in Octas, b-d) je die Prozentuale Häufigkeit des Auftretens einer "Bewölkung" von 0-2, 3-5, 6-8 Octas. Die Darstellung ist klimatologisch und global betrachtet ausserordentlich instruktiv, und von grösstmöglicher Objektivität. Zahlreiche neue Erkenntnisse wie die wolkenfreie Aequatorialzone und die schrägen Wolkenbänder über den Subtropen können den Bildern direkt entnommen werden. Aber auch hier weisen die Autoren den Leser gleichzeitig hin auf die Interpretationsschwierigkeit in Gebieten mit hoher Untergrundsalbedo (Eis, Sand, Schnee, vgl. Tabelle 4), was natürlich in ganz besonderem Masse auf Nordafrika zutrifft (vgl. Abb. 3, 5.)

zu 2.: Die automatisierte Bestimmung der Wolkenarten und weitgehende Analysen verlangen die Methoden der "Pattern Recognition" (Mustererkennung), ein eigener spezialisierter Zweig der Bildinterpretation. Das Problem berührt unsere Arbeit nur am Rande, sei aber der Vollständigkeit halber doch gestreift. Grundsätzlich werden dabei die Hauptunterscheidungsmerkmale der klassischen Luftbildinterpretation berücksichtigt: Bestimmung folgender Faktoren 1. Form, 2. Grösse, 3. Linearität (inkl. Richtungsverteilung), 4. Muster, 5. Grauton (Albedo). Die Quantifizierung dieser Einzelkomponenten ist mit unterschiedlich grossem Aufwand automatisch möglich. Ihre Kombination sollte Auskunft geben über Wolkenart, dynamische Vorgänge (Windfeld) und weitere Grössen (z.B. Korrelation N.schlag) geben. Grundsätzliche Ueberlegungen und teilweise weitgediehene Studien vermitteln folgende Autoren: LEIGHTY und LUKES (1974), ROSENFELD (1969), ROSENFELD et al (1965), LEESE, EPSTEIN (1963) u.a.

Die Bedeutung solcher Verfahren ist unumstritten und ebenso ausgeprägt ist der Trend, diese automatisierten Verfahren zur operationellen Reife zu führen.

3.2.2. Semiautomatische Verfahren

Die unter diesem Stichwort vereinigten Verfahren verwenden in hohem Masse automatisierte Methoden zur Lösung von Teilschritten, wobei dem Beobachter aber ein mehr oder weniger grosser Anteil an Zwischenentscheidungen zufällt. Ausgesprochen benutzerfreundlich und universal ist beispielsweise das System DIBIAS der DFVLR in Oberpfaffenhofen, das einem sehr breiten Spektrum von Interpretationsbedürfnissen entgegenkommt (HABERAECKER, NOWAK, 1975).

Einfachere Beispiele sind die neuerdings in zahlreichen Varianten erhältlichen semi-automatischen Bildanalysegeräte, wie etwa der CLASSIMAT (Leitz, Wetzlar) oder der QUANTIMET. In der Regel können Einzelprobleme gelöst werden, wie Teilchenzählung, Teilchengrösse, Flächenanteile, Form, wobei die Auswahlkriterien vom Interpretieren in der Regel über einen Monitor eingegeben und kontrolliert werden. Die Einsatzmöglichkeit des CLASSIMAT von Leitz wird im Kapitel 6.4. näher beschrieben, so dass hier nicht weiter darauf eingegangen werden muss.

3.2.3. Manuelle Verfahren

Ausserhalb der grossen Auswertungszentren wird auch heute noch der weitaus überwiegende Teil der Satellitendaten ohne jede Weiterverarbeitung lediglich als Zusatzinformation verwendet, wenn man sich überhaupt an eine Bildinterpretation heranwagt.

Sobald aber von einer reinen Bildinterpretation abgesehen wird und klimatologische Reihen abgeleitet werden sollen, ist eine Umorganisation und Reduktion der Datenmenge unumgänglich. Bei

der Bestimmung des Bewölkungsgrades bieten sich zwei Möglichkeiten der manuellen Datenextraktion aus dem vorgegebenen Bildmaterial an:

1. Punktbestimmungen, die zwangsläufig binären Charakter haben ("bewölkt" - "nicht bewölkt") und ein statistisches Erhebungsverfahren darstellen.
2. Flächenhafte Bedeckungsschätzungen: Der Bewölkungsgrad wird über einer Einheitsfläche bestimmt. Grundsätzlich wird dabei die gesamte vorhandene Bewölkung berücksichtigt und die Mengenschätzung kann differenziert vorgenommen werden.

In beiden Fällen entscheidet die Maschenweite des Rasters über die Genauigkeit, bzw. die Differenziertheit des Resultates. Im Folgenden seien einige nähere Erläuterungen und Vergleiche gegeben.

3.2.3.1. Punktraster (Point sampling, Fig.4)

Die Datenerhebung mit Hilfe des Punktrasters ist ein Stichprobenverfahren. Aus einer Grundgesamtheit (Gesamterdoberfläche) werden einzelne Geländestellen zu Beobachtungspunkten bestimmt. Dies trifft auch bei der traditionellen Stationsbeobachtung zu. An jedem Tag müssen die gleichen Geländestellen berücksichtigt werden. Es ist zweckmässig, wenn dem Punktraster ein geographisches Koordinatennetz zu Grunde liegt, das ja im Falle der AVCS-Bildmosaike bereits vorhanden ist. Durch die Meridiankonvergenz verändert sich allerdings der Punktabstand, doch ist dies in tropischen Breiten noch tolerierbar.

Statistisch gesprochen handelt es sich hierbei um eine systematische Stichprobenerhebung (systematic point samples).

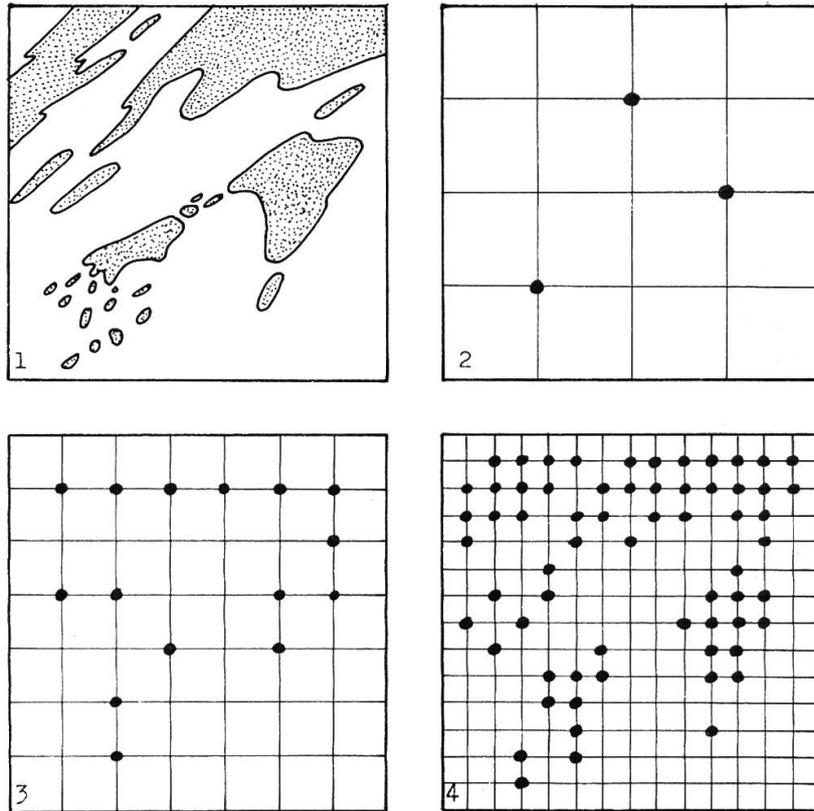
Aufgrund tiefgehender Untersuchungen von OLSSON (1971) über Stichprobenverfahren an Luftbildern und Karten zeigt das systematische Gitternetz gegenüber andern Punktverteilungen (z.B. Zufällig, Stratifiziert zufällig) oder Transversalen die besten Resultate (Bestimmt nach der χ^2 -Methode).

Neben der Art der Stichprobenverteilung spielt auch die Dichte eine wesentliche Rolle.

Nach OLSSON (1971:F12) nimmt die Genauigkeit erheblich stärker als proportional zur Anzahl der Stichproben zu.

Der Abstand der einzelnen Gitterpunkte wird in unserem Beispiel durch mehrere Faktoren bestimmt:

1. Die Genauigkeit der Bildvorlage: Die Lagegenauigkeit der einzelnen Geländepunkte gegenüber dem geographischen Koordinatennetz variiert von Tag zu Tag. Im schlechtesten Fall



 nicht bewölkt
 bewölkt
 Wolken

1: Auszuwertendes Bild
 mit Bewölkung
 2-4: Auswertung mit Gittern
 unterschiedlicher Maschen-
 weite

Fig.4: Punktuelle Bewölkungsauswertung (Binär-entscheid) mit verschiedenen Rastern.

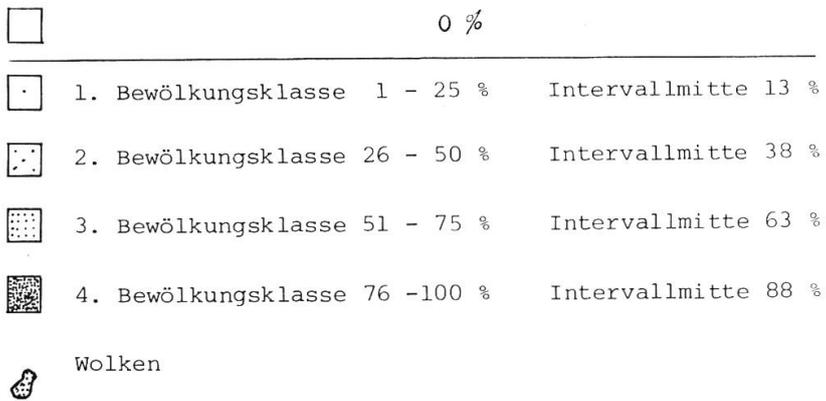
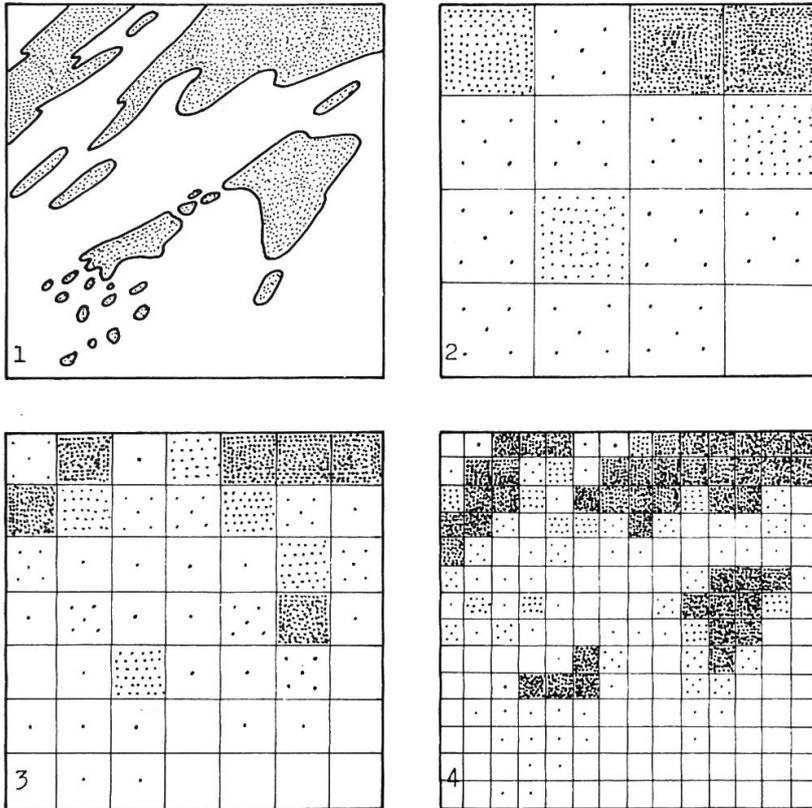


Fig.5: Flächenhafte Bewölkungsauswertung mit verschiedenen Rastern und 4 Bewölkungsklassen.

treten Abweichungen von $+ 1^{\circ}$ auf (= ca. + 100 km). Diese Verschiebungen sind für ein einzelnes Bildmosaik überall gleichsinnig, so dass durch Verschiebungen des Gitternetzes dieser Fehler stark reduziert werden kann. Der verbleibende Restfehler kann nicht eliminiert werden. Er ist dafür verantwortlich, dass die Messpunkte täglich kleine Lageverschiebungen aufweisen und damit streng genommen über eine längere Periode die einander entsprechenden Stichproben innerhalb eines kleinen Kreises von ca. $1/4^{\circ}$ Durchmesser (ca. 25 km) liegen.

2. Topographie: Wenn die Topographie ohne Einfluss wäre auf die Bewölkungsverteilung, könnte für den gesamten afrikanischen Raum nördlich des Äquators mit einer theoretisch gleichen Genauigkeit der Bewölkungskarten gerechnet werden. Die Tatsache orographischer Wolkenbildung spricht aber gegen diese Annahme. So wird gerade in Gebirgsräumen diese Art der Datenerhebung der Wirklichkeit nicht gerecht, je nachdem, ob eine Gebirgserhebung auf einen Rasterpunkt fällt oder dazwischen. Durch ein engmaschiges Gitternetz, das so gelegt wird, dass auf jede grössere Gebirgserhebung (resp. Talung) mindestens ein Datenpunkt fällt, können diese orographischen Einflüsse weitgehend ausgeschaltet werden.
3. Art der Bewölkungsbildung: Die Bewölkung ist im feucht-tropischen und ektropischen Bereich räumlich nicht gleich verteilt. Im feucht-tropischen Raum herrscht die konvektive Bewölkung vor, die aber im Gegensatz zu orographischer Wolkenbildung nicht immer an gleicher Stelle erfolgt. Im subtropischen Trockenraum finden wir je nach beteiligter Luftmasse, konvektive Wolkenzellen, frontale Bänder und sehr häufig die linear angeordnete Jet-Streambewölkung (vgl. Abb. 9, S. 112) Im ektropischen Westwindbereich dominieren frontal angeordnete Wolkenfelder, die zwar ebenfalls konvektive Zellen enthalten und orographisch beeinflusst werden, aber doch eine ausgeprägt horizontale Bewegung ausführen. Langfristig gleichen sich diese charakteristischen Bewölkungsverteilungen in den verschiedenen Klimaregionen aus. Kurzfristig aber fallen sie ins Gewicht.
4. Oekonomische Gesichtspunkte: Die Zahl der erhobenen Daten beeinflusst natürlich direkt den zeitlichen Aufwand der Berechnungen. Bei 200 Datenpunkten ergibt dies pro Auswertungsjahr bereits rund 73 000 Einzeldaten, die dann entweder abgelocht und mit dem Computer oder mit Hilfe konventioneller Rechenverfahren in mehreren Operationen zu den Ergebnissen verarbeitet werden müssen.

Die gewählte Lösung bestand darin, dass verschiedene Raster zur Anwendung gelangten:

- Rasterweite von 5° für Randgebiete (Ozeane, Feuchttropen, Mittelmeerraum) für die Jahresauswertung 1968.
- Rasterweite $2,5^{\circ}$ für die Testauswertung August 1968, die trockentropischen Gebiete der Jahresauswertung 1968.
- Rasterweite 1° für die Gebirgsauswertungen (Tibesti, Hoggar, Tassili n'Ajjer) 1968.

3.2.3.2. Flächenraster (Fig. 5)

Es ist das am meisten angewendete Verfahren (z.B. MOHR 1972, WALCH 1968). Bei der Auswertung von Rasterflächen fallen die unter 2.3.1. genannten Punkte 2 und 3 nicht mehr ins Gewicht. Jede Bewölkung wird erfasst. Die Maschenweite, bzw. Feldergrösse sowie die Klassenbildung entscheiden über die Differenziertheit der Auswertung.

Folgende Flächengrössen wurden verwendet:

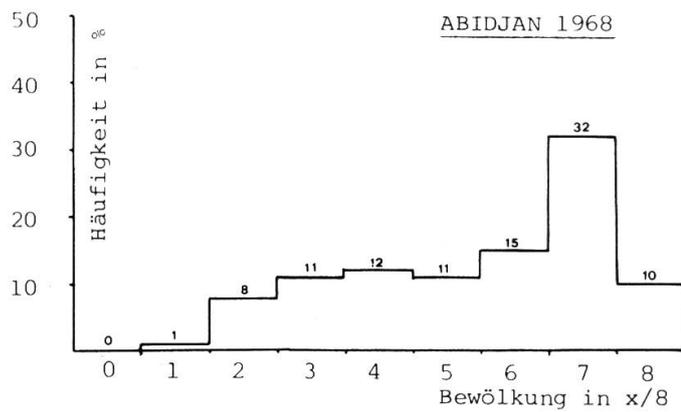
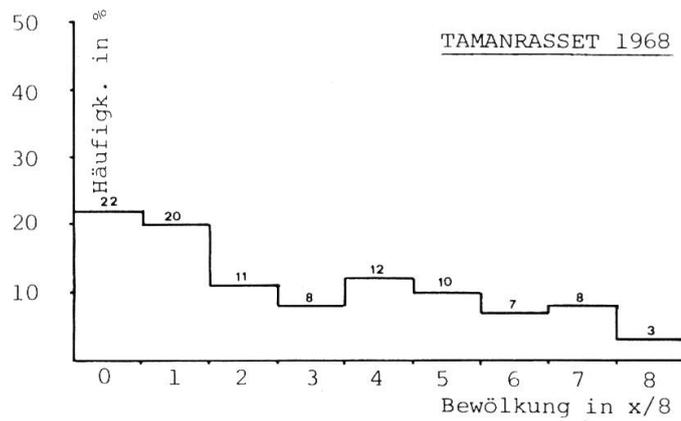
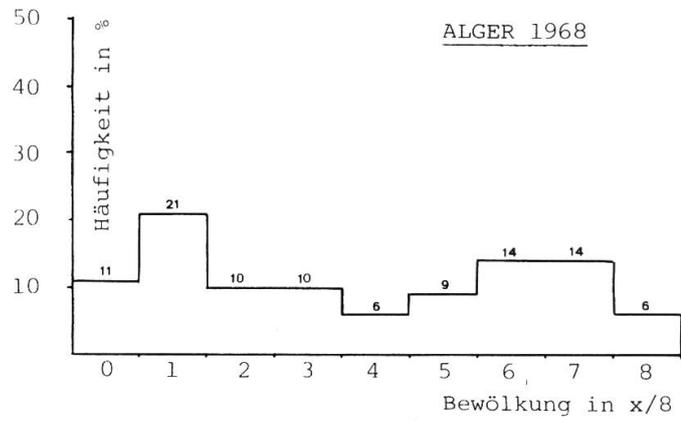
- Für die Testauswertung August 1968: $2,5^{\circ}$ Seitenlänge.
- Für die Auswertung Tibesti und Hoggar 1966-1973: $1/2^{\circ}$ Seitenlänge.

Klassenbildung: In der Literatur finden sich verschiedene Beispiele von Wolkenklassenbildungen. Die in der Klimatologie üblichen Zehntelangaben oder die Oktas der Synoptik eignen sich für die Bedeckungsschätzungen auf den kleinen Beobachtungsfeldern nicht in optimaler Weise. Zu viele Bilder zeigen verschwommene Uebergangsbewölkungen (Cirren, Ac-Felder). BARRETT (1974:107) zitiert eine Zusammenstellung von McCLAIN (1966), die in Anlehnung an die Bezeichnungen in den sog. Nephanalysen folgende Kategorien von Wolkenanteilen unterscheidet: "Open" (<20%), "Mostly open" (20-50%), "Mostly covered" (50-80%), "Covered" (<80%). Die beiden mittleren Kategorien umfassen grössere Intervalle. Die Klassenbildung nimmt aber auf die tatsächliche Häufigkeit des Vorkommens von Bedeckungsgraden Rücksicht. Nach HISDAL (1974) ist die Häufigkeitsverteilung der Bewölkungszehntel U-förmig, d.h. geringe und starke Bewölkungen kommen rel. häufiger vor als mittlere Bedeckungsgrade, wobei sich seine Ausführungen auf europäische Stationen beziehen.

WALCH (1968) führte eine Abschätzung für das Gebiet der Nordsee in Zehnteln durch. Die Verhältnisse über dem dunkeln Untergrund des Meeres sind dabei dieser Klasseneinteilung förderlich.

In dieser Arbeit wurde eine Einteilung gemäss folgendem Schema vorgenommen:

Fig.6: Häufigkeitsverteilung der Bewölkungsgrade der Stationen Alger, Tamanrasset und Abidjan im Jahr 1968. Zusammengestellt aus Wetterkartenmeldungen (GEB, SCHERHAG, 1968/69).



Tab. 2: Bewölkungsklassen bei der Flächenauswertung

Klasse	Bewölkungsintervall in % der Rasterfeldfläche	Intervallmitte für die weitere Verarbeitung (in %)
0	0	0
1	1 - 25	13
2	26 - 50	38
3	51 - 75	63
4	76 - 100	88

Diese Klassenbildung wurde aus praktischen Gründen gewählt, obwohl sie den klimatologischen Gegebenheiten nicht in allen Teilen gerecht werden kann. Auf Grund der Häufigkeitsverteilung z.B. der Stationen Alger, Tamanrasset, Abidjan im Octas-System sind die Intervalle 0-12,5 % und 75-87,5 % am häufigsten vertreten. Diese fallen nach unserem System in die Klassen 1 und 4, die einen höheren, bzw. kleineren Mittelwert aufweisen als die entsprechenden Octas oder Zehntelklassen. Da in der weiteren Berechnung die Klassenmittelwerte verarbeitet wurden, sind schliesslich Bewölkungswerte in den Mittelwertskarten von 0-88 % möglich. Grössere als 88 % kommen in den Karten grundsätzlich nicht vor, da ein komplett bedecktes Rasterfeld mit 88 % Bewölkung in die Rechnung eingeht. Das Kartenbild ist also gegenüber der Wirklichkeit etwas zu ausgeglichen, vor allem fehlen die orographisch bedingten Bewölkungsspitzen, sowie die in den Feuchttropen häufigen hohen Bedeckungsgrade (Fig.6).

Die Bewölkungskarten, die auf den Binärentscheiden aufbauen, zeigen demgegenüber eine Wertskala von 0-100 % (vgl. Kap. 4.2.).

Diese Unausgeglichenheiten sind allerdings auch bei der klimatologischen Verarbeitung terrestrisch erhobener Bedeckungsangaben nicht ganz zu vermeiden. Auch HISDAL (1974:267) weist auf die für klimatologische Verarbeitungen etwas unglückliche Beobachtungsanweisung hin, wonach die Stufen 1 und 7 (der Octas-Skala) nicht die gleiche Intervalllänge aufweisen, wie die dazwischenliegenden Skalenschritte.

Diese Besonderheiten sind in erster Linie beim Vergleich der unterschiedlich erhobenen Daten von Belang.

4. ERGEBNISSE

4.1. Genauigkeit der Schätzungen

4.1.1. Flächenschätzungen

Schätzungen sind subjektive Entscheide und demzufolge mit Fehlern belastet, die von Beobachter zu Beobachter unterschiedlich ausfallen. YOUNG (1967) hat hierzu systematische Untersuchungen unternommen, indem er durch 10 qualifizierte Beobachter Schätzungen an Wettersatellitenbildern charakteristischer Bewölkungsverteilungen vornehmen liess. Die gleichen Beobachter hatten zusätzlich Schätzungen an künstlichen Wolkenbildern (Flächenanteil von Papierschnitzeln an einer Einheitsfläche) auszuführen. Die Ergebnisse sind bemerkenswert. Vorab zeigte sich, dass die Bildgrösse praktisch keinen Einfluss auf das Schätzergebnis hat (die gleichen Schätzungen wurden an 5 verschiedenen Bildgrössen vorgenommen). Dagegen war eine deutliche Ueberschätzung der Bewölkung in den Klassen 3/8 bis 5/8 nachweisbar.

Wenn für die hier vorliegenden Auswertungen mit einer ähnlichen Genauigkeitsstruktur gerechnet werden muss, dann verstärkt sich die unter 3.2.3.2. erwähnte Glättung der Bewölkungsverteilung.

Im Zusammenhang mit den terrestrischen Bewölkungsschätzungen aufgrund von Fischaugbilder (Kap. 8.1.) wird diese Frage noch einmal aufgegriffen werden.

2.3.3.2. Punktschätzungen

Für Punktschätzungen liegen keine vergleichbaren Untersuchungen vor. Das Problem ist auch etwas einfacher, indem der Entscheid "bewölkt" - "nicht bewölkt" doch leichter zu treffen ist, als eine quantitative Abschätzung des Bewölkungsgrades.

Einen gewissen Anhaltspunkt für die Genauigkeit des Binärentscheidendes lässt sich durch Wiederholung der Auswertung gewinnen.

Im Abstand von über einem Jahr wurden für 37 Punkte für je 31 Tage (August 1968) die Binärentscheidung vorgenommen. Fig. 7 zeigt das Ergebnis. Für 27 Beobachtungspunkte liegt das Monatsmittel in Schätzung II höher als in der ein Jahr zuvor durchgeführten Schätzung I. 4 Messpunkte lieferten das gleiche Resultat, 8 Punkte liegen tiefer. Die generell etwas höheren Bewölkungswerte bei Schätzung II dürfte vornehmlich auf die grössere Routine bei der Auswertung zurückzuführen sein, indem gewisse Grenzfälle in der Erkennbarkeit der Bewölkung später mit grösserer Sicherheit entschieden werden konnten.

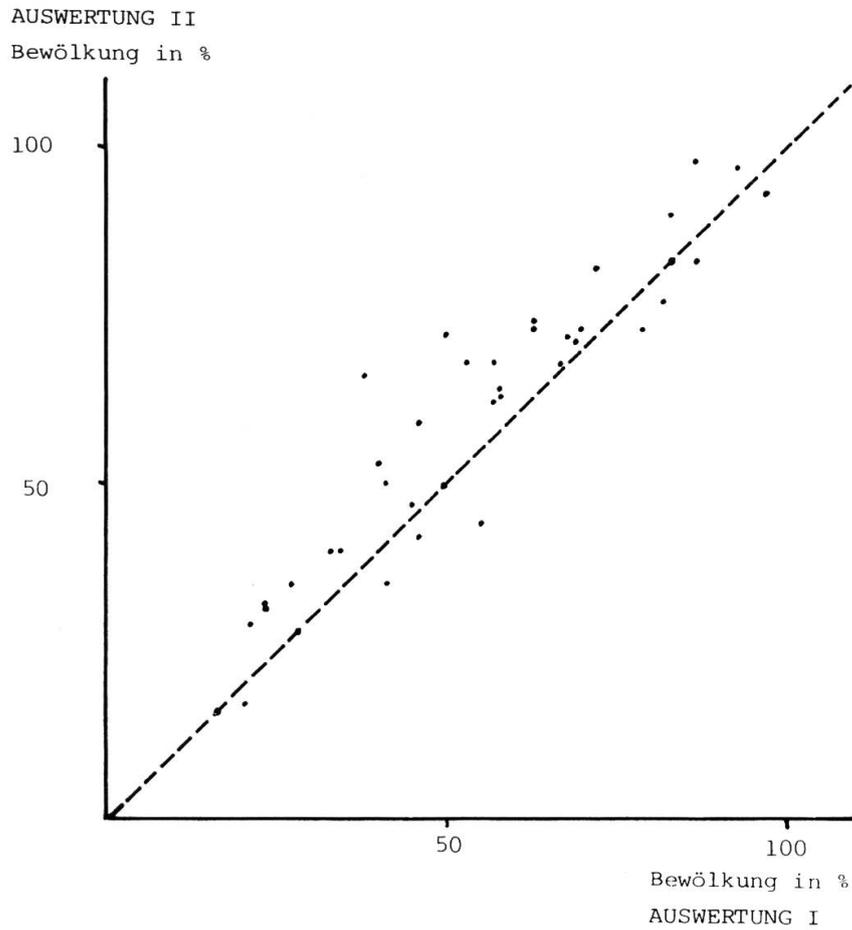


Fig.7: Testauswertung August 1968. Auswertung II wurde ein Jahr nach Auswertung I durchgeführt, wobei die gleichen 37 Auswertungspunkte gewählt wurden. Jeder Punkt setzt sich aus 31 Werten (=Monatsauswertung) zusammen. Bei Auswertung II wurden generell etwas höhere Bewölkungswerte ermittelt.

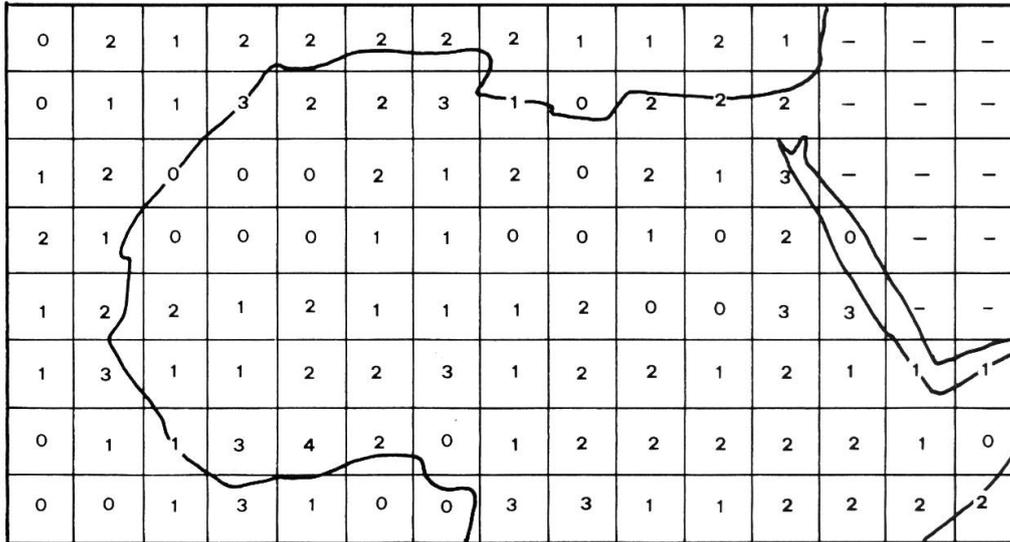


Fig.8: Dichte der Wetterkartenmeldungen pro $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ - Rasterfeld, August 1968. Berücksichtigt wurden nur Stationen, für die an mindestens 50 % der Tage eine Meldung vorlag. Im Mittel trifft es auf ca. $200'000 \text{ km}^2$ eine Station. Von Monat zu Monat ist die Verteilung gewissen Änderungen unterworfen (GEB, SCHERHAG, 1968, Bd.III, Auswertung der Bodenwetterkarten).

4.2. Vergleich der verschiedenen Auswertungsverfahren (Fig. 9-11)

Zum Methodenvergleich wurde die Bewölkungssituation des August 1968 des gesamten afrikanischen Raumes nördlich des Äquators kartiert.

1. Wetterkartenmeldungen (Fig. 9): Die Kartierung stützt sich auf die Bewölkungsangaben ($x/8$) in SCHERHAG et al (1968). Das Monatsmittel der einzelnen Stationen wurde vorerst in Prozent umgerechnet. Die Inhomogenität der Stationsverteilung ist durch die Punktdarstellung der einzelnen Stationen in Fig. 9 veranschaulicht und in Fig. 8 feldweise (gleiches Rasterfeld wie bei Fig. 10 und 11) ausgezählt. Dabei wurden nur Stationen eingezeichnet, bei denen für mindestens 50 % der Tage Daten zur Verfügung standen. Zu beachten ist, dass sich die Meldungen auf 12.00 Uhr GMT beziehen, wobei mit einer Abweichung von höchstens 1/2 Stunde von diesem Termin zu rechnen ist (schriftl. Mitt. von MALBERG, Berlin).
2. Punktbestimmungen (Fig. 10): Es wurde für ein Punktgitter von einheitlich $2 \frac{1}{2}^{\circ}$ Maschenweite die binäre Bewölkungsschätzung vorgenommen. Die Anteile der "bewölkt"-Entscheidung an der Gesamtzahl der für jeden Punkt vorliegenden Daten wurde als prozentuale Bewölkung ausgedrückt. Die Isonephen (Linien gleicher Bewölkung) beschreiben die Bewölkungsverteilung in $x/10$.
3. Flächenschätzungen (Fig. 11): Es wurde das gleiche Gitter wie unter 2. verwendet mit den in Tab. 2 angegebenen Klassen. Die mittlere monatliche Bewölkung der einzelnen Gitterflächen wurde wiederum in Prozent gerechnet, die Isonephen sind $x/10$ -Grenzen.

Für 2 und 3 dienten die AVCS-Bildmosaike als Grundlage.

Wie erwartet, differieren die drei Bewölkungskarten als Folge der unterschiedlichen Datenerhebungsart ziemlich stark voneinander. Ein punktwiser Vergleich ist nicht möglich, da praktisch keine lageidentischen Punkte zwischen 1 und 2 vorkommen und die Flächen unter 3 jeweils von den Punkten der Auswertung 1 abgegrenzt werden.

Vergleichbar sind hingegen die Gesamtbewölkung des Gebietes, die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Bewölkungsklassen und der Verlauf der Isonephen.

4.2.1. Gesamtbewölkung

Tab. 3 enthält die mittleren Bewölkungsmengen der verschiedenen Erhebungsarten. Zum Vergleich sind auch die in Teil III und IV durchgeführten Erhebungen beigelegt.

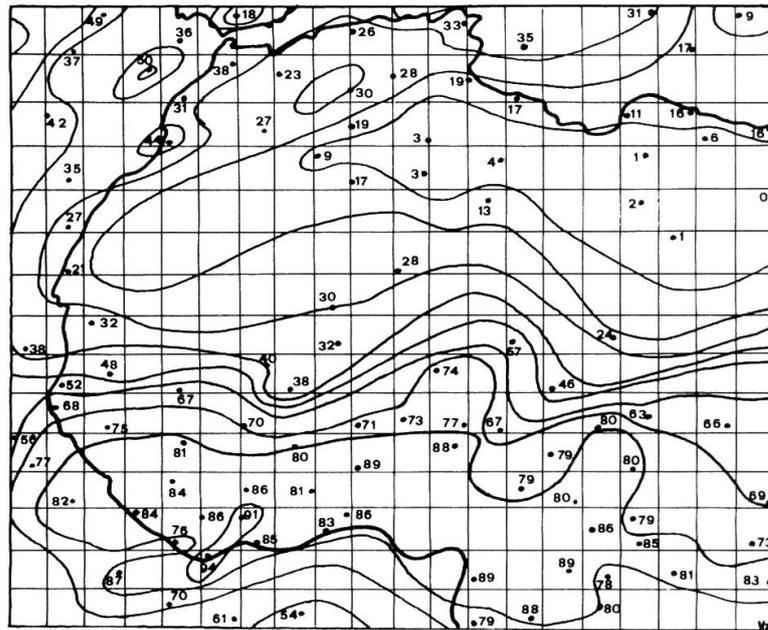


Fig.9 Bewölkung August 1968, Wetterkartenmeldungen

Fig.9-11: Bewölkung August 1968, Vergleich verschiedener Auswertungsverfahren. Sowohl die Bewölkungsmenge als auch der Verlauf der Isonephen weisen je nach Verfahren grosse Unterschiede auf. Die beiden Satellitenbildauswertungen in Fig. 10 und 11 verwenden ein Gitternetz gleicher Maschenweite. Werte in Prozent.

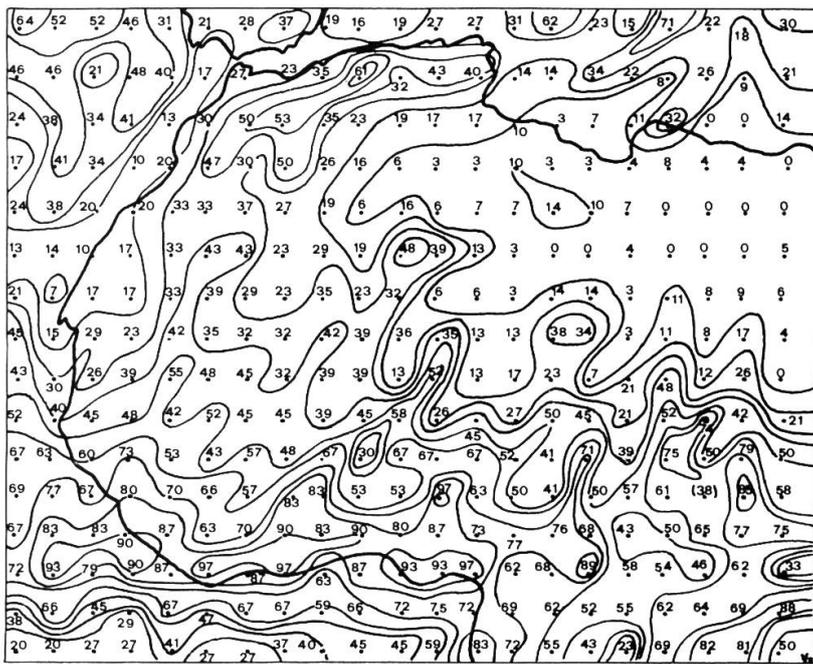


Fig.10 Bewölkung August 1968, Punktauswertungen

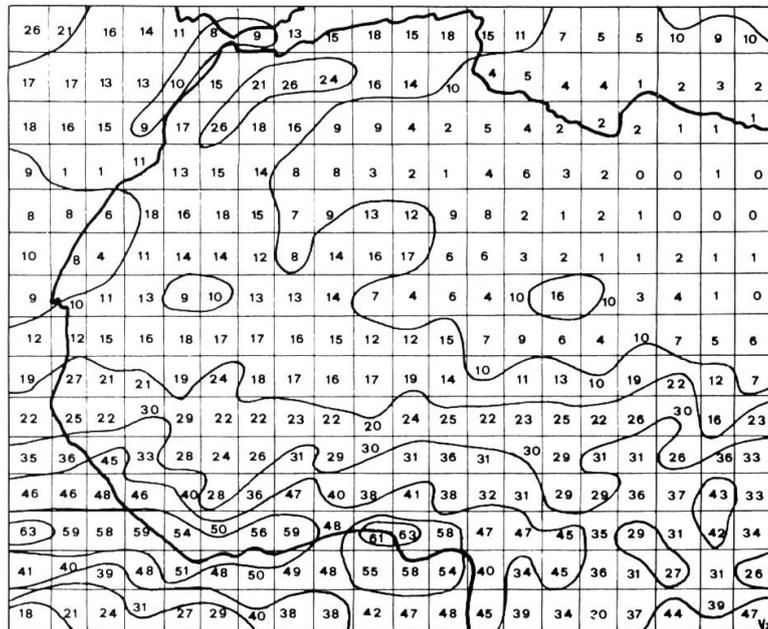


Fig.11 Bewölkung August 1968, Flächenauswertungen

Tab. 3 Mittlere Bewölkungsmengen für verschiedene Zeiträume, Gebiete und Erhebungsarten.
V: = Verhältnis Wetterkarte und Satellit

Beobachteter Zeitraum	August 1968	Jahr 1968	Jahre 1966-72
Ausgewertetes Gebiet	Afrika nördl. Aequator	Tamanrasset	Tamanrasset
I Wetterkarte (W)	47,7 %	36 %	31 %
II Satellit (P) (Punkterhebung)	38,4 %	34 %	-
III Satellit (F) (Flächenerhebung)	20,7 %	-	13 %
W : P =	1,2	1,1	-
W : F =	2,3	-	2,4

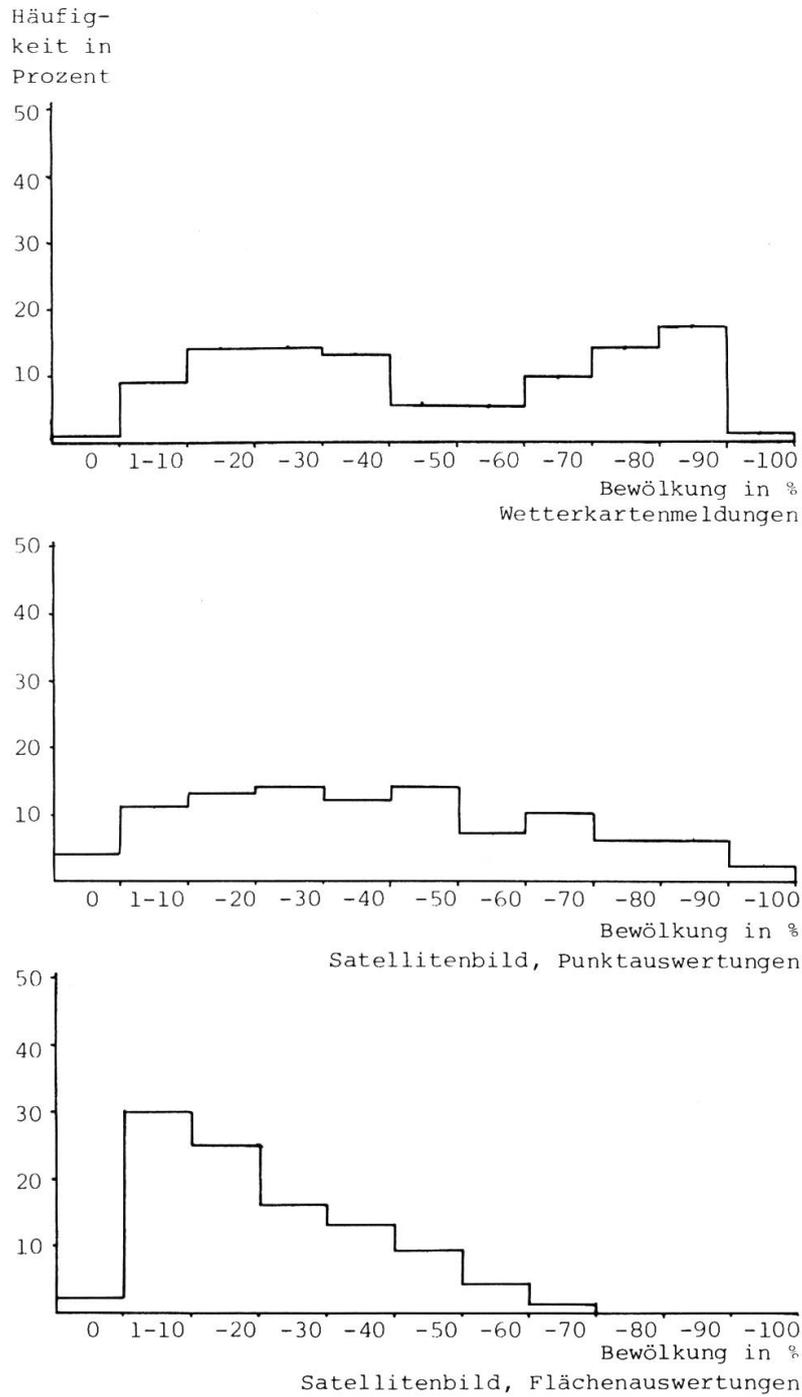
Zeitspanne und Beobachtungsgebiet sind zwar nicht identisch, trotzdem lassen sich gewisse gesetzmässige Abweichungen beobachten: Die Bodenbeobachtungen zeigen in allen Fällen das höchste Ergebnis, gefolgt von den punkt- und flächenhaften Satellitenauswertungen. Auch die Verhältnisse Bodenbeobachtung zu Satellitenauswertung bleiben sich bei den räumlich und zeitlich verschiedenen Auswertungen gleich.

Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, jedes der Auswertungsverfahren in ein anderes umzurechnen, womit die Vergleichbarkeit der Methoden gewährleistet ist. Dass auch hier die Genauigkeit mit der Länge der Untersuchungsperiode steigt, konnte durch wiederholte Versuchsreihen gezeigt werden. Allerdings ist es kaum eindeutig möglich, für einen bestimmten vorgegebenen Genauigkeitsanspruch die notwendige minimale Länge des Beobachtungszeitraumes anzugeben. Zudem müssten zusätzliche Vergleichsserien durchgeführt werden, damit ein gesicherter Umrechnungsfaktor für die direkte Vergleichbarkeit der verschiedenen Methoden zur Verfügung steht. Aus diesem Grund sind die Bewölkungsauswertungen der Teile III und IV dieser Arbeit bewusst nicht-korrigiert wiedergegeben worden.

4.2.2. Häufigkeit der Bewölkungsklassen

Die Häufigkeit des Vorkommens einzelner Bewölkungsklassen ($x/10$) ist den drei Karten (Fig. 9-11) entnommen und als Histogramm (Fig. 12) dargestellt worden. Die aus den drei Erhebungsarten sich ergebenden Unterschiede sind bedeutend. Wetterkarte: Für

Fig.12: Häufigkeitsverteilung der Bewölkungsgrade in Abhängigkeit des Auswertungsverfahrens. Die Daten sind den Fig. 9-11 entnommen, August 1968.



den Termin 12.00 Uhr GMT resultiert eine U-förmige Verteilung der Bewölkungsklassen, d.h. niedere und hohe Bewölkungswerte sind am häufigsten. Die drei Häufigkeitsverteilungskurven (Fig.6) zeigen den modifizierenden Einfluss der verschiedenen Klimaräume. Erwartungsgemäss dominiert die Häufigkeit kleiner Bewölkungsmengen im ariden Gürtel (Bsp. Tamanrasset). Umgekehrt sind die Verhältnisse im feuchttropischen Raum (Abidjan), gemischte Verteilungen treten im Mittelmeerraum auf.

Flächenauswertung: Hier überwiegen die Kategorien mit geringer Bewölkung (0-30%). Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass die Gesamtbewölkung im Mittel nur ca. 21 % beträgt und damit insgesamt in das unterste Bewölkungsintervall (1-25%) dieser Auswertung fällt. Höhere Werte als 88 % (= Mittelwert des höchsten Intervalles) sind - wie früher gesagt - schon theoretisch ausgeschlossen.

Punktauswertung: Hier könnten alle Werte zwischen 0-100% auftreten. Auffallend ist der beinahe identische Kurvenverlauf der Kategorien 0-40% im Vergleich mit den Wetterkartenwerten, während in den höheren Bedeckungsgraden doch entscheidende Abweichungen zu registrieren sind. Wieweit hier der Tagesgang der Bewölkungsbildung, bzw. der Unterschied im Beobachtungstermin eine Rolle spielt, sei im folgenden Abschnitt untersucht.

4.3. Einfluss des Bewölkungstagesganges

Der Tagesgang der Bewölkung ist in Gebirgen und Flachländern, Subtropen und Tropen und zu den verschiedenen Jahreszeiten nicht gleich ausgeprägt.

Tamanrasset (1390 m), am Südfuss des Hoggars, ist die einzige Wüstenstation, für die die stündlichen Bewölkungsangaben eines ganzen Jahres zur Verfügung stehen (DUBIEF, 1959).

Fig. 13 zeigt den Tageslauf dreier unterschiedlich langer Zeitabschnitte. Die Jahreszeitenmittelwerte schwanken erstaunlich wenig (was 1968 nicht mehr ganz zutrifft). Während im Winter der Tagesgang sehr ausgeglichen verläuft, bedingen Thermokonvektion und zugeführte äquatoriale, feuchte Luftmassen im Sommer ein ausgeprägtes Bewölkungsmaximum in den Nachmittagsstunden. Der Bedeckungsgrad 12.00 Uhr GMT (= Beobachtungstermin für die Wetterkarte) entspricht dabei zu allen Jahreszeiten annähernd dem Tagesmittelwert.

Die 12.00 Uhr GMT-Aufzeichnungen der Wetterkarte können deshalb gut für eine Bewölkungskarte herangezogen werden. Dagegen sind v.a. im Sommerhalbjahr beachtliche Differenzen zwischen einer Satellitenbeobachtung -die bis zu einigen Stunden vom 12.00 GMT-Termin abweichen kann - und der Wetterkartenmeldung zu verzeichnen.

Die Veränderlichkeit des Bewölkungsgrades innerhalb kurzer Zeit ist in Abb. 1 gezeigt.

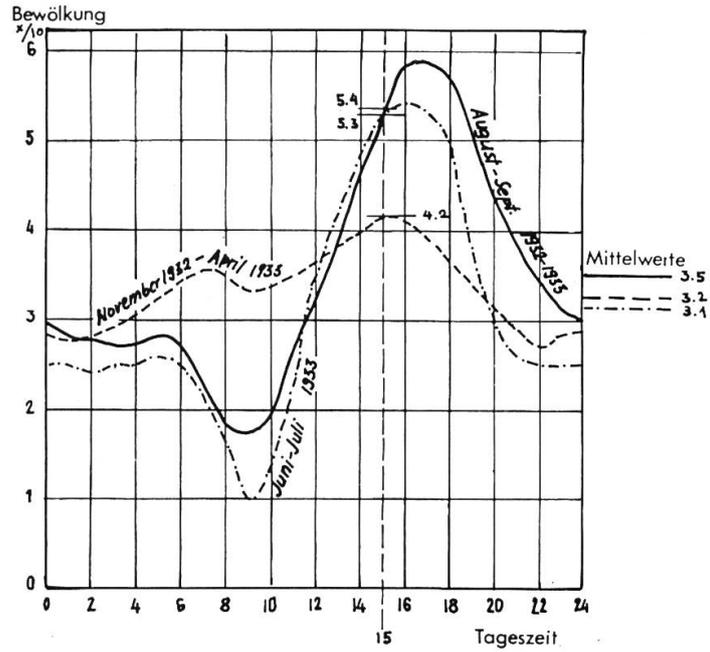


Fig.13: Tagesgang der Bewölkung in Taman-rasset (Hoggar). DUBIEF, 1959, verändert.

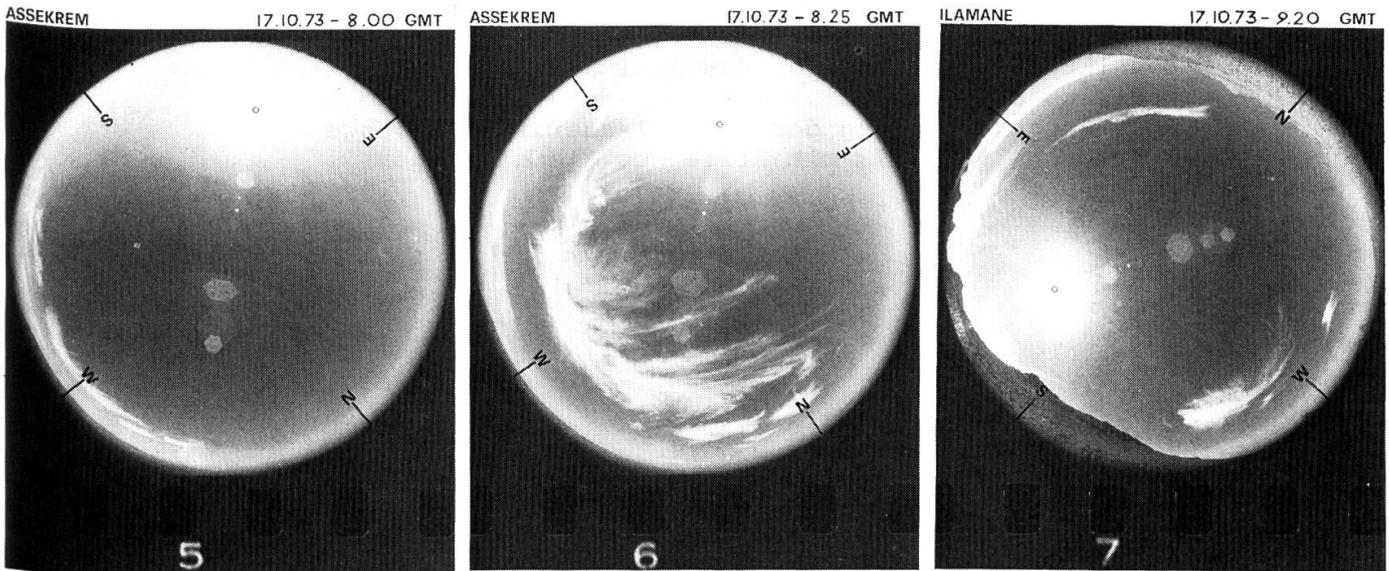


Abb.1: Veränderlichkeit des Bewölkungsbildes innerhalb kurzer Zeitspannen. 17.10.1973, 8.00 - 8.25 - 9.20 Uhr GMT. Hoggargebiet (Assekrem, Ilamane). Fischaugaufnahmen.

5. ZUSAMMENFASSUNG VON TEIL 1

Die Bewölkungskartierung über dem afrikanischen Trockenraum mit Hilfe von Wettersatellitenaufnahmen ist vorläufig nur mit einem manuellen Auswertungsverfahren genügend genau möglich. Die Reduktion der ursprünglich anfallenden Datenmenge ist hierzu aber absolute Voraussetzung. Durch zwei Verfahren, die in diesem Teil 1 geprüft werden, kann dieses Teilziel erreicht werden:

1. Durch punktuelle Datenextraktion (Binärentscheidung)
2. Durch flächenhafte Bewölkungsabschätzungen (Rasterflächen)

Die Auswertungsverfahren werden an einem Beispiel (August 1968) getestet und mit den terrestrischen Erhebungen verglichen. Die aus den drei Erhebungsverfahren resultierenden Bewölkungskarten weichen beträchtlich voneinander ab. Die Unterschiede erweisen sich als systematisch und sind quantitativ bestimmbar. Als Ursachen müssen folgende Faktoren in Rechnung gestellt werden:

1. Bewölkungstagesgang und Beobachtungstermine
2. Rasterflächengrösse
3. Klassenbildung bei der Flächenabschätzung
4. Tatsächlich vorkommende Häufigkeitsverteilung der einzelnen Bewölkungsklassen
5. Beobachtungsgeometrie der unterschiedlichen Beobachtungsstandorte.

Die folgenden Auswertungen werden wie folgt durchgeführt:

1. Bewölkungskartierung für das Jahr 1968 (ganz Afrika nördlich des Äquators) mit Hilfe des Punktgitters
2. Bewölkungskartierung der zentralsaharischen Hochgebirge von 1966-1973 mit Hilfe des Flächenrasters