

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: 4: Mehrjährige Bewölkungsanalysen über den Zentralsaharischen Hochgebirgen Tibetsi, Hoggar und Tassili N'Ajjer
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

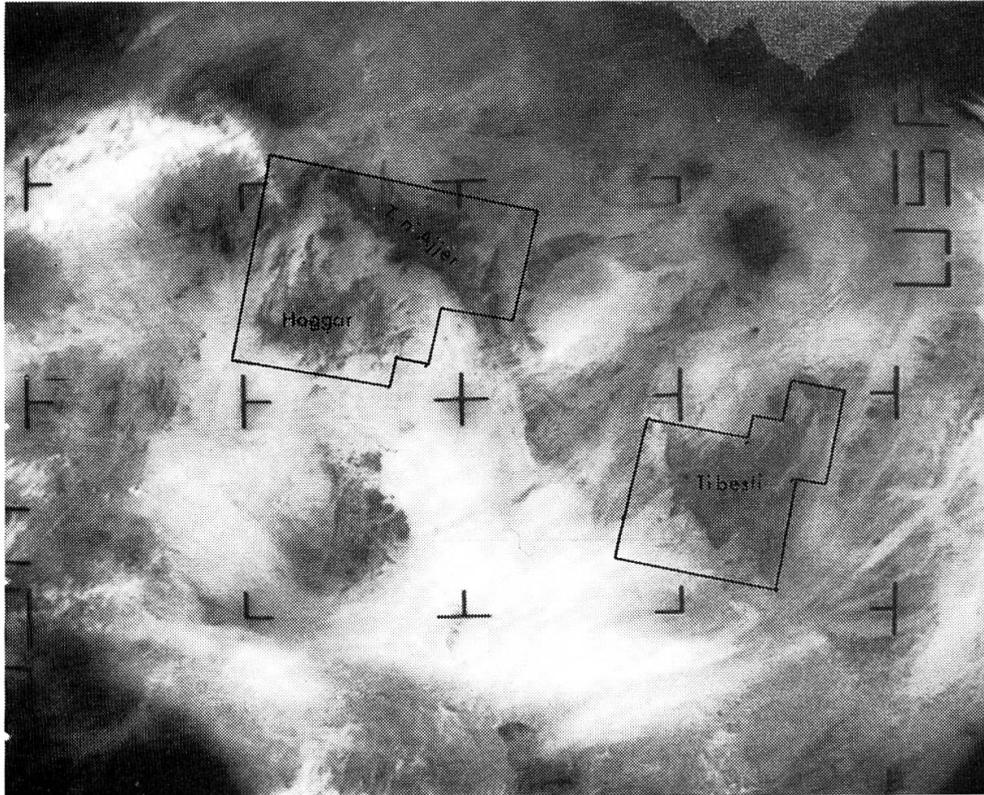
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media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

Download PDF: 22.07.2025

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

**IV. Teil:
Mehrjährige Bewölkungsanalysen über den
Zentralsaharischen Hochgebirgen Tibesti, Hoggar und
Tassili N'Ajjer**

Dieser Teil erschien in etwas erweiterter Form gemeinsam mit MESSERLI, B. und KAMINSKI, H. in "La Météorologie" V-29-1974:15-51 unter dem Titel: "Etude de la nébulosité faite sur plusieurs années d'après les images prises par satellites météo pour le Tibesti et le Hoggar-T.n'Ajjer".



Auswertungsgebiete Hoggar, Tassili n'Ajjer und Tibesti.
 Aufnahme NOAA-1. 17.4.1971, 14.13 Uhr GMT, Umlauf 1593, Sternwarte Bochum.

17. EINFUEHRUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Sahara, besonders aber deren zentrale Bereiche mit den ausgedehnten Beckenlandschaften und den Hochgebirgen Hoggar/Tassili n' Ajjer im Westen, sowie dem Tibesti im Osten, gehören dem subtropischen Hochdruckgürtel an mit seinen ausserordentlich charakteristischen und konstanten Klimaverhältnissen: grosse Wolkenarmut, intensive Einstrahlung, hohe Temperaturen, geringe oder fast keine Niederschläge. Dabei weisen die Gebirge eine etwas gemilderte Aridität auf und sind neben den Randbereichen der Wüste und einzelnen isolierten Wadis die einzigen Stellen, die mit einiger Sicherheit auch spärlichen Pflanzenwuchs aufweisen. Voraussetzungen dafür sind einerseits die dank der Höhenlage reduzierten Temperaturen, andererseits aber auch die fast periodisch fallenden Niederschläge. Entscheidend ist dabei, dass praktisch alle niederschlagserzeugenden Witterungskonstellationen in den geographisch isolierten zentralsaharischen Gebirgen generell auf Einflüsse der Zirkulationsgürtel südlich und nördlich der Sahara zurückzuführen sind. Damit ist die Frage nach den im Mittel vor-

ab meridional funktionierenden Zirkulationsmechanismen angeschnitten, die im globalen Energiehaushalt eine zentrale Rolle spielen.

Die Bewölkungsverteilung, deren Studium erst seit dem Vorliegen von täglichen Wettersatellitenbildern auch in den stationslosen zentralen Wüstenteilen routinemässig möglich ist, sollte, räumlich und zeitlich differenziert, die Einflüsse der verschiedenen Zirkulationskomponenten wiedergeben, falls diesen eine gewisse Gesetzmässigkeit zugrunde liegt. Die Auswirkungen der Bewölkung auf andere Klimaelemente ist evident, und es wurden zahlreiche Versuche unternommen, die Wechselbeziehungen quantitativ zu fassen.

Im vorliegenden Abschnitt wurde das an der Sternwarte Bochum seit 1966 archivierte Wettersatellitenbildmaterial bezüglich der Bewölkungsverteilung über den zentralsaharischen Hochgebirgen ausgewertet.

Die weitgehende Beschränkung der Studie auf die Hochgebirge ist insofern gerechtfertigt, da Hoggar und Tibesti als orographische Reaktivierungszentren wirken und so Fremdeinflüsse sichtbar machen, die über den flachen Beckenzonen unter Umständen keine Auswirkungen zeitigen würden und im Bewölkungsbild auch nicht mehr erkennbar wären.

18. AUSWERTUNG UND VERIFIKATION

Eine Bewölkungsuntersuchung über mehrere Jahre hinweg ist nur mit Hilfe eines vergleichsweise heterogenen Datenmaterials möglich. Technischer Fortschritt, Satellitenbahnen, Auflösungsvermögen und Spektralbereiche der Kameras, Sensordegradierung und Ausfälle in der komplizierten Bildübertragungskette sowie zahlreiche andere Faktoren bewirken, dass mit qualitativ sehr unterschiedlichem Bildmaterial gearbeitet werden muss. Dabei darf in unserem Fall die Bildwiedergabe der Bochumer APT-Station als optimal bezeichnet werden (Titelbild, vgl. auch KAMINSKI, 1973:363-364; 1968:754-755).

18.1. Satelliten

Es wurden gemäss nachfolgender Zusammenstellung die Bilder von neun verschiedenen Satelliten ausgewertet:

Tab. 14: Ausgewertete Satellitendaten.

Satellit	Einsatzjahre für die Auswertung
ESSA 2	April - Dezember 1966
ESSA 4	Februar - Mai 1967
ESSA 6	November 1967; März 1968
ESSA 8	Februar, August, November-Dezember 1969, Januar-Februar 1970, Januar 71-Juni 72, September 72- März 73
Nimbus 2	Mai 1966 - März 1968
Nimbus 3	April 1969 - März 1970
Nimbus 4	Januar - April, Juni - August 1972
ITOS 1	Februar - Dezember 1970
NOAA 1	Dezember 1970, April - Juni 1971

18.2. Datenausfälle

Insgesamt mussten beträchtliche Datenausfälle in Kauf genommen werden, wie die folgende Tabelle zeigt (Tab. 15). Besonders problematisch war das Jahr 1968. Es wurde deshalb in der Auswertung ausgeklammert.

Allerdings verzeichnet auch die Kontrollstation Tamanrasset (Hoggar) im Mittel rund 25 % fehlende Angaben (Berliner Wetterkarte, Cartes du Service météorologique).

Tab. 15: Mittlere Datendichte für die Periode Mai 1966 - März 1973 (in Prozent) (Bochumer Archiv).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hoggar/ Ajjer	40	57	48	43	59	56	45	40	56	54	51	41	49
Tibesti	55	72	58	56	68	71	69	57	69	69	65	57	64

18.3. Auswertungsverfahren

Die Auswertung erfolgte nach dem in 3.2.3.2. erläuterten Verfahren. Es sei hier in Kürze noch einmal skizziert.

Für beide zentralsaharische Hochgebirge wurde nach Möglichkeit jeden Tag ein Bild ausgewertet. Die Gebietseinteilung in Einheitsfelder mit $1/2^{\circ}$, bzw. 1° Seitenlänge war mit Hilfe transparenter Deckfolien möglich (Tibesti 86 Felder; Hoggar/Tassili n'Ajjer 95 Felder).

Im Gegensatz zur Auswertung in Teil III, die den binären Punktentscheid "bewölkt" oder "nicht bewölkt" verlangte, wurde die felderweise Beurteilung nach folgendem Schema vorgenommen:

Meteorol. Situation	Klasse	Bewölkungsgrad der Klassenmitte in %
Keine verfügbaren Daten	-	-
wolkenlos	0	0
1-25 % bewölkt	1	13
26-50% bewölkt	2	38
51-75% bewölkt	3	63
76-100% bewölkt	4	88

Die Klassenzuordnung einer bestimmten meteorologischen Situation war in den meisten Fällen ohne Schwierigkeiten möglich.

Für jede Einheitsfläche liess sich darauf eine mittlere monatliche Bedeckung berechnen (Summe der Klassenmitten/Summe der Tage mit Daten). Für den mittleren mehrjährigen Bewölkungsgrad wurden die einzelnen Monate je nach vorhandenem Datenmaterial gewichtet.

18.4. Verifikation

Der Vergleich mit terrestrischen Daten wurde anhand der Wetterkartenaufzeichnungen von Tamanrasset (Hoggar) durchgeführt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass den "punktuellen" Wetterkartenmeldungen das flächenhafte Mittel (50 x 50 km²) der Satelliteninterpretation gegenübergestellt wird. Fig. 47 zeigt, dass im Mittel der 6 Jahre (1966-67, 1969-72/3) der Bewölkungsgang wohl ausserordentlich gut übereinstimmt, die absoluten Bedeckungsangaben dagegen im Verhältnis 1 : 2,4 gegeneinander differieren. Dieser grosse Unterschied deckt sich mit den in Tab. 3 aufgestellten Vergleichen.

Der Bewölkungstagesgang wird sehr detailliert von DUBIEF für die Hoggar-Stationen Tamanrasset (Fig. 13) und Assekrem (DUBIEF in SCHIFFERS 1973, Bd. III:205) diskutiert, die beide auf der dem Sommermonsun zugekehrten Gebirgsseite lokalisiert sind, und somit nur unter Einschränkungen auf andere Regionen übertragbare Ergebnisse liefern. Es zeigt sich, dass die Bewölkungsmenge zirka um 11 Uhr dem Tagesmittel entspricht und zwar im Sommer (grosse Tagesschwankungen) und im Winter (kleine Tagesschwankungen). Der Beobachtungstermin der verschiedenen Satelliten schwankt zwischen zirka 9-15 Uhr, liegt aber im Mittel auch etwa bei 11 Uhr.

19. ERGEBNISSE

Aufgrund der bis dahin gemachten Vorbehalte und eingedenk der Unsicherheiten bei der Verifikation ist folgende vorsichtige Gesamtbewertung der Gültigkeit der Resultate angebracht:

1. Punktuell und kurzfristig sind relativ grosse Abweichungen zwischen Satellitenbildauswertung und den wirklichen Verhältnissen möglich.
2. Mit zunehmender Länge der Beobachtungsperiode und Grösse des Beobachtungsraumes werden die Ergebnisse zuverlässiger.
3. Bei der quantitativen Analyse dürften relative Differenzierungen gesicherter sein als absolute.

19.1. Schwankungen der Gesamtbewölkungsmenge im mehrjährigen Verlauf

Mit Ausnahme des Jahres 1970 schwanken die Gesamtbewölkungsmengen innerhalb sehr kleiner Abweichungen (Fig. 48). Die unvermittelte Bewölkungsverdoppelung 1970 vorab im Hoggar ist auf Bedeckungsmaxima im Frühling, sowie Herbst und Winter zurückzuführen. Eine vergleichbar extreme Schwankung ist für die Station Tamanrasset aufgrund der Wetterkartenmeldungen nicht festzustellen, so dass eine definitive Antwort auf diese Frage nicht gegeben werden kann.

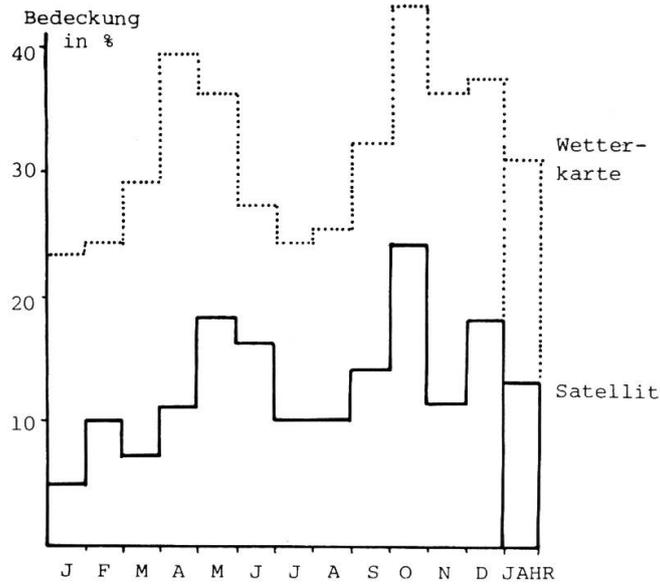


Fig.47: Jahresgang der Bewölkung der Hoggar-Station Tamanrasset. Vergleich der punktuellen Wetterkartenmeldungen und der flächenhaften (50x50 km²) Satellitenbilddauswertung (1966-1972).

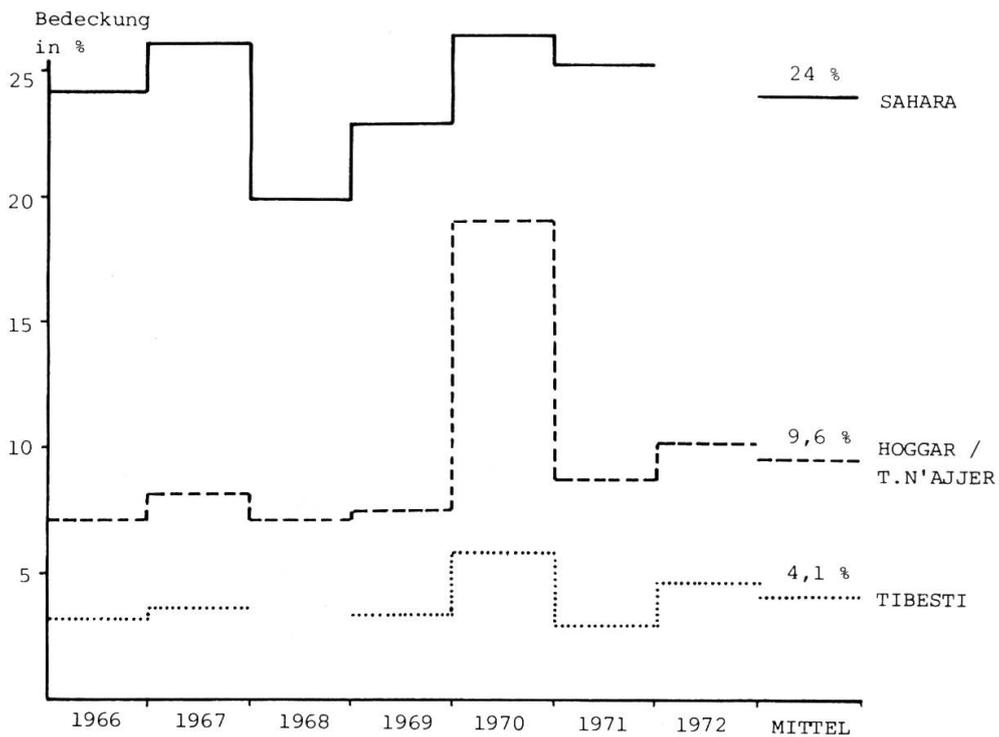


Fig.48: Schwankung der mittleren Jahresbewölkung von Mai 1966 - Dezember 1972. Gesamtsahara (südliche Begrenzung bei 16°-20°N, inkl. arabische Halbinsel; Auswertung der Sternwarte Bochum), Tibesti, Hoggar / Tassili n'Ajjer. Satellitenbilddauswertung.

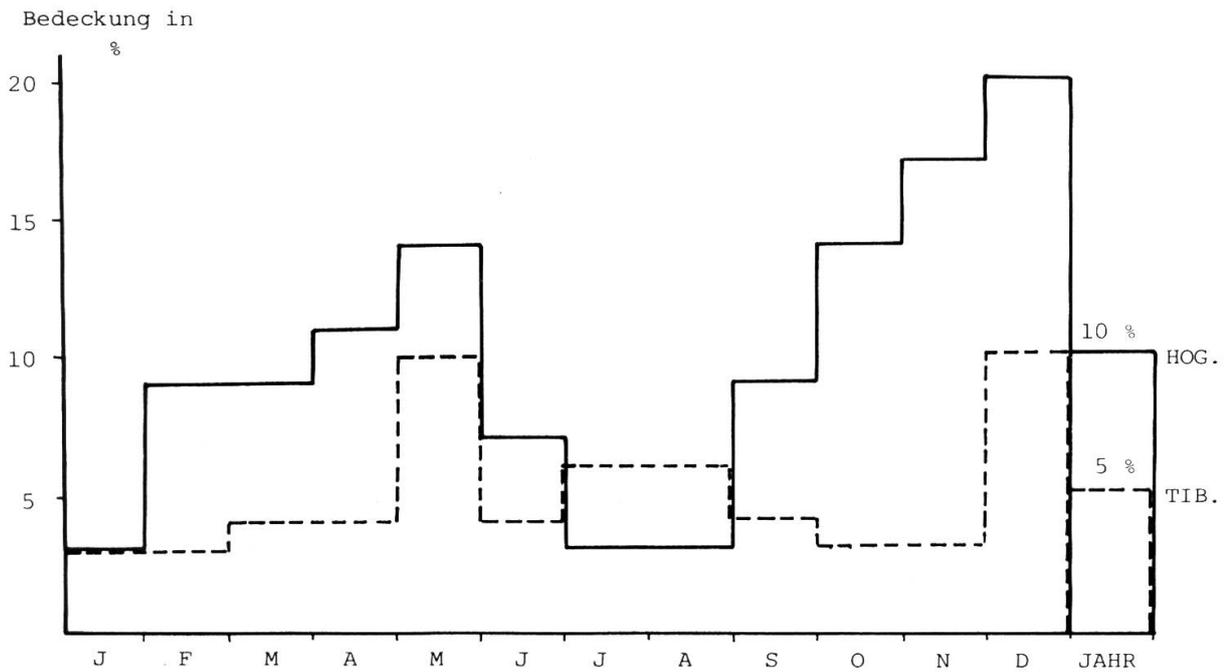


Fig.49: Mittlerer jährlicher Bewölkungsverlauf für Gebiete oberhalb 1000 müM. Hoggar / Tassili n'Ajjer und Tibesti. Mai 1966 - Dez. 1967, Jan. 1969 - März 1973 (6 Jahre). Satellitenbilddauswertung.

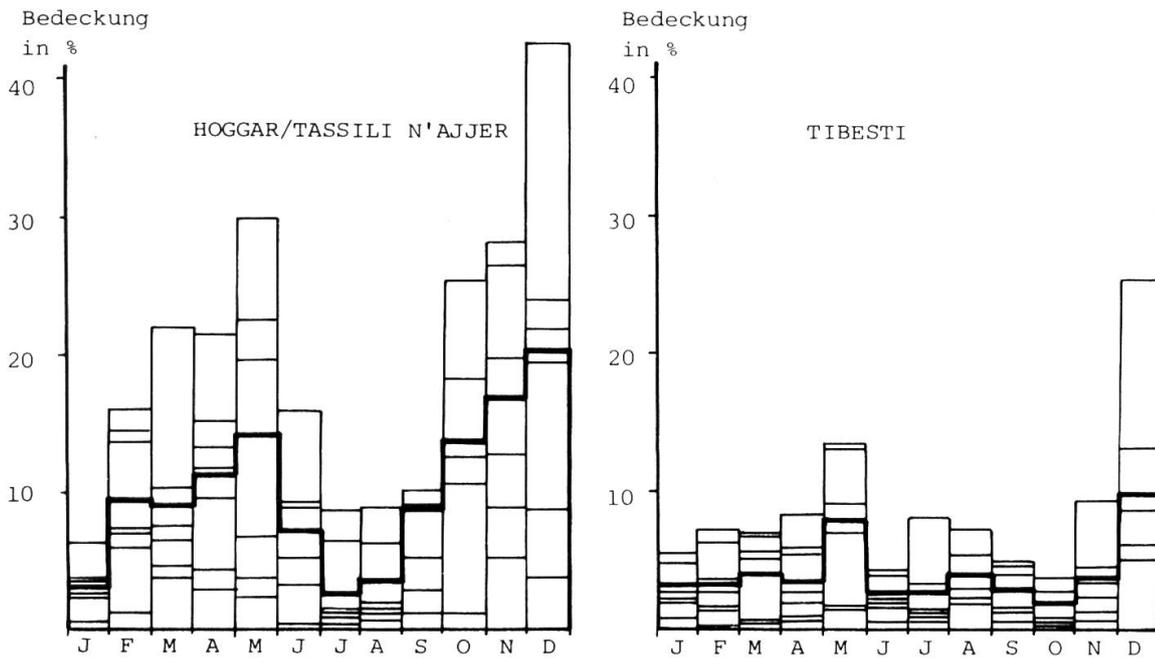


Fig.50: Streuung der monatlichen Bewölkungsgrade von Hoggar / Tassili n'Ajjer und Tibesti (je gesamtes Auswertungsgebiet) für den Zeitraum Mai 1966 - März 1973. Satellitenbilddauswertung. Monate mit zu geringer Datendichte (weniger als 33%) wurden weggelassen.

Ebenso erstaunlich ist andererseits das in den übrigen Jahren sehr konstante Bewölkungsgeschehen. Da die seit 1968 herrschende Dürre im Sahelbereich allgemein mit einem stark abgeschwächten Monsuneinfluss in Zusammenhang gebracht wird, erwartet man eher eine über die Jahre hinweg abnehmende Bewölkungstendenz. Offenbar wirken die Gebirge in einer Weise reaktivierend, die für Gebiete, die selbst südlich davon gelegen sind, keinesfalls zutrifft.

19.2. Mittlerer Jahresablauf des Bedeckungsgrades

Im Jahresmittel ist eine Abnahme von Westen nach Osten feststellbar (Fig. 34). Hierbei spiegelt sich die abnehmende Wirkung der Störungen aus dem Westwindbereich und der sommerlichen Feuchtluftvorstösse aus südlicher Richtung.

Das zahlenmässige Vorherrschen der mit ekotropischen Störungen liierten winterlichen Bewölkung manifestiert sich in der Jahreskurve aller Grossräume der Sahara mit einem Dezember-Maximum und Juli-Minimum.

In beiden Gebirgen weist der Januar im Vergleich zum Dezember eine überraschend geringe Bewölkung auf.

Ebenso auffällig ist andererseits die hohe Bedeckung im Mai. Dieser Monat nimmt auch im Niederschlagsgeschehen zumindest auf der Nordabdachung der Gebirge eine Sonderstellung ein, wo z.T. erstaunlich hohe Werte zu verzeichnen sind (GAVRILOVIC, 1969:47; DUBIEF, 1963:192). Wieweit sich hier der Uebergang von der Winter- zur Sommersituation manifestiert, ist nicht mit Sicherheit zu beantworten. Die in der Literatur häufig zitierten sudano-saharischen Störungen, die sich im Satellitenbild als Wolkenbrücken abzeichnen, tragen wesentlich zur hohen Maibewölkung bei und weisen in diesem Sinne auf Instabilitäten des Hochdruckgürtels hin.

Insgesamt würde man einen grösseren Einfluss der monsonalen Vorstösse in den Sommermonaten auf den Bedeckungsgrad vermuten. Da es sich aber meist um konvektive Wolkentypen handelt, bleiben sie örtlich auf die grossen Massenerhebungen in den südwestlichen Gebirgstteilen konzentriert und treten erst in den Bewölkungskarten ausgeprägter in Erscheinung (vgl. 19.3.1.).

Erwartungsgemäss ist die Streuung der einzelnen Monatswerte (z.B. Mai) von Jahr zu Jahr im Vergleich zur grossräumigen Betrachtung bedeutender (Fig. 50).

19.3. Jahreszeitliche Bewölkungskarten für die zentralsaharischen Hochgebirgszonen (Fig. 51 und 52)

Die Einteilung der Bewölkungskarten ist identisch mit dem Auswertungs-gitter. Die Seitenlängen betragen wie erwähnt $\frac{1}{2}^{\circ}$, bzw. 1° . Die Gebirgskonturen sind als Orientierungshilfe eingetragen. Durch einen 10-stufigen Punktraster wird der jährliche und jahreszeitliche mittlere Bedeckungsgrad dargestellt und ist zudem in jedem Rasterfeld numerisch angezeigt.

Die Abgrenzung der 3-monatigen Intervalle erfolgte aufgrund der Jahreskurve (Fig. 49).

19.3.1. Höhenverteilung der Gebirge

Die Interpretation der raum-zeitlichen Bewölkungsverteilung ist weitgehend von der geographischen Lage bezüglich der einzelnen Zirkulationskomponenten und der Höhenverteilung beider Gebirgsräume her möglich.

Die folgenden Höhenangaben sind verschiedenen topographischen Karten entnommen und verstehen sich als Grössenordnung (u.a. SCHIFFERS, 1973, Bd. III:200, SCHOLZ, 1967: Abb. 1). Im Höhenbereich über 1000 m erstreckt sich der Hoggar über 180'000 km², das Tibesti über 65'000 km². Im Hoggar (v.a. Atakor) ragen aber nur noch ca. 4'800 km² über 2000 m hinaus, im Tibesti dagegen noch über 12'500 km². Die resultierenden Unterschiede in der Reliefenergie begünstigen somit im Tibesti etwas ausgeprägter die Bildung konvektiver Bewölkung (v.a. Juli-September) als im Hoggar, obwohl jener im Mittel häufiger von tropischer Feuchtluft erreicht werden kann. Die Begünstigung der SW-Seite des Tibestis äussert sich auch im artenreichen, tropisch-orientierten Vegetationsbild.

19.3.2. Hoggar und Tassili n'Ajjer (Fig.51)

Das Jahresmittel ist räumlich sehr ausgeglichen. Erst mit dem Wechsel der Jahreszeiten verlagern sich die Bewölkungsmaxima in Richtung der Hauptvorstossachsen der verschiedenen Zirkulationseinflüsse. Einzig die höchsten Erhebungen (Assekrem im S, Massif de l'Adrar im NE, Garet el Djenoun im NW) sind auch im Jahresmittel etwas stärker bewölkt.

Im Januar - März ist das Bewölkungsbild wenig differenziert. Entsprechend den fast durchwegs aus W bis N heranziehenden Wolken ist eine leichte Bewölkungsabnahme über dem Hoggar und Erg d'Admer zu verzeichnen. Da primär advektive Vorgänge wirken, spielen die Massenerhebungen noch eine untergeordnete Rolle.

Der Zeitraum April-Juni ist gekennzeichnet durch eine allgemeine Bewölkungszunahme, die Gebirgsräume treten als Konvektionszentren in Funktion (erhöhte Temperaturen, Zufuhr feuchterer Luft). Vor allem die hohen Werte des Monats Mai tragen zur charakteristischen Verteilung bei. Sowohl Störungen aus dem NW mit flächenhaft starker Bedeckung, aber auch die Wolkenbrücken zwischen Niger und Sirte üben einen dominanten Einfluss aus, wobei letztere zum höheren Bewölkungsgrad im Gebiet des Atakors beitragen.

In den Monaten Juli-September überwiegen als Fremdeinflüsse die monsunalen Vorstösse aus SW. Die Bewölkung ist insgesamt gering, besonders in den Lee-Bereichen, kann aber lokal über einzelnen Gipfelpunkten höhere Werte annehmen als das Rasterflächenmittel (50 x 50 km²) vermuten lässt. Der grösste Bedeckungsgrad ist erwartungsgemäss im Atakor zu finden, wo Feuchtlufttropfen auch am ehesten aktiviert werden können. Diese Prozesse sind deshalb von Bedeutung, da zwischen der ITC und der Achse mit der intensivsten Bewölkung gerade über Afrika überdurchschnittlich grosse Entfernungen liegen, wie ISHIWATA und AOYAMA (1972:37) kartographisch festhalten und wofür FLOHN (1966: 319) eine zirkulationstheoretische Erklärung gibt.

Oktober-Dezember sind die Monate mit der stärksten Bewölkung. Praktisch ohne wesentlichen orographischen Einfluss kann eine Verteilungsstruktur erkannt werden, die die räumliche Orientierung der aus dem Sektor W bis N in den zentralen Sahararaum vorstossenden Störungen aus der Westwinddrift klar wiedergibt.

19.3.3. Tibesti (Fig.52)

Im Vergleich zu Hoggar / T. n'Ajjer zeigen die Karten des Tibesti zwei Charakteristika: die Bewölkungsmengen sind mit Ausnahme der Monate Juli-September wesentlich geringer, die Orographie dagegen spielt eine grössere Rolle. Die erste Feststellung bestätigt die grossräumige Tendenz und findet ihre Erklärung darin, dass aus der Westwinddrift vorstossende Störungen gegen die östliche Sahara hin immer mehr an Wirkung verlieren. Die zweite Tatsache ist auf das ausgeprägtere Relief zurückzuführen (Höhenverteilung siehe 19.3.1.).

Das Jahresmittel zeigt in diesem Sinne eine ausgeprägtere räumliche Differenzierung. Die Gipfel um den Toussidé (3265 m, im NW) erreichen als Bewölkungsschwerpunkte rund zweimal grössere Werte als der höchste Saharagipfel Emi Koussi (3415 m) im S des Gebirges. Letzterer wird von Störungen der Westwinddrift nurmehr selten überstrichen und kann erstaunlicherweise trotz seiner Lage auch nur schwer von den monsonalen Vorstössen erreicht werden. Der Einfluss des Passates auf der SE-Seite des Tibestis ist derart übermächtig, dass der anschliessende Teil der libyschen Wüste praktisch das ganze Jahr wolkenlos ist.

Januar - März bringen vor allem der NW- und N-Seite ein schwaches Bewölkungsmaximum, erreicht aber auch dort, wie in den übrigen Gebirgstteilen nur sehr geringe Werte. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass - wie im Hoggar - die Bedeckungsanteile höher ausfallen könnten, da der in dieser Jahreszeit bedeutende Anteil an Cirrus-Bewölkung (insb. im Geleit des Subtropischen Jetstreams) häufig nicht erkennbar ist.

Die Mai-Bewölkungsvorstösse machen in der April - Juni - Zusammenstellung auch im Tibesti den grössten Anteil aus. Allerdings fallen hier die für den Hoggar typischen Wolkenbrücken grösstenteils weg. Der SW bleibt ausgesprochen wolkenarm, die wirkungsvollsten Vorstösse erreichen das Gebirge vorwiegend aus NW.

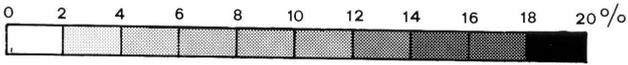
Die Grenzsituation des Tibesti mit seiner Reaktivierungstendenz ist am ausgeprägtesten in der Periode Juli - September erkennbar. Alle umliegenden Beckenlandschaften sind fast völlig wolkenfrei. Hohe Bewölkungsanteile finden sich auf der SW-Flanke des Gebirges. Die Situation wird durch die charakteristische Anordnung der Hauptgebirgskämme begünstigt, die dazu beiträgt, dass die trockenen NE-Winde in einem Bogen um das Südende (Emi Koussi) gelenkt werden, während andererseits das Vordringen einzelner Monsunlufttropfen von SW her begünstigt wird, wie bereits von MESSERLI (1972:67) zur Darstellung gebracht wurde.

FIG. 51

HOGGAR / TASSILI N'AJJER (SAHARA)
 BEWÖLKUNGSVERTEILUNG AUS WETTER-
 SATELLITENBILDERN

JAHRESMITTELWERT UND 3-MONATIGE MITTEL (IN PROZENT)
 1966-67, 1969-72/73

- 1000 M - ISOHYPSE
- 1500 M - ISOHYPSE
- 2000 M - ISOHYPSE



M.W. 73

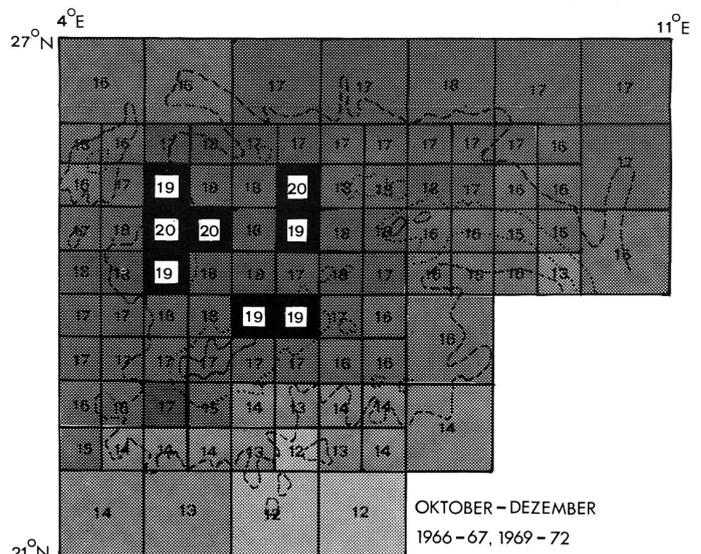
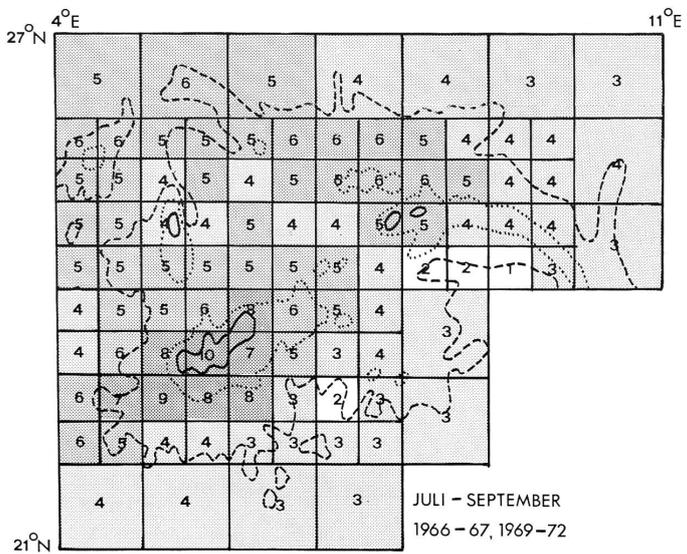
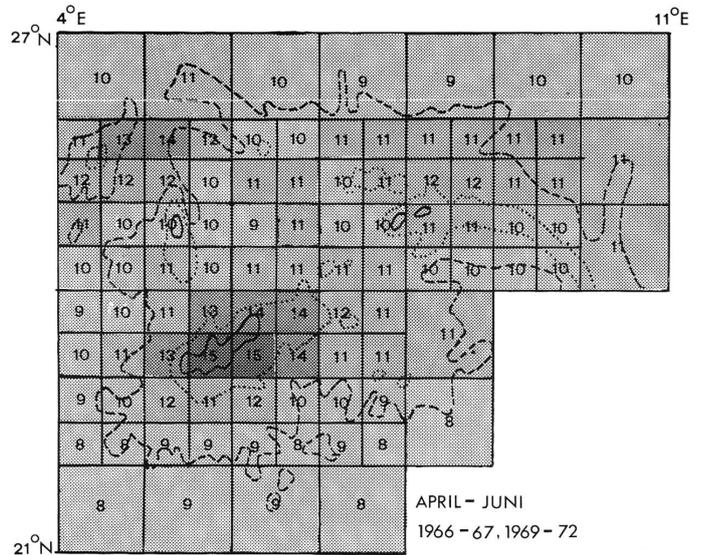
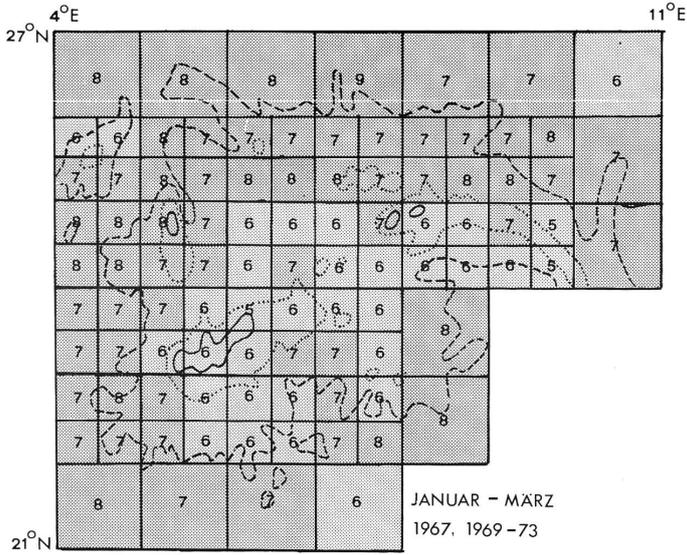
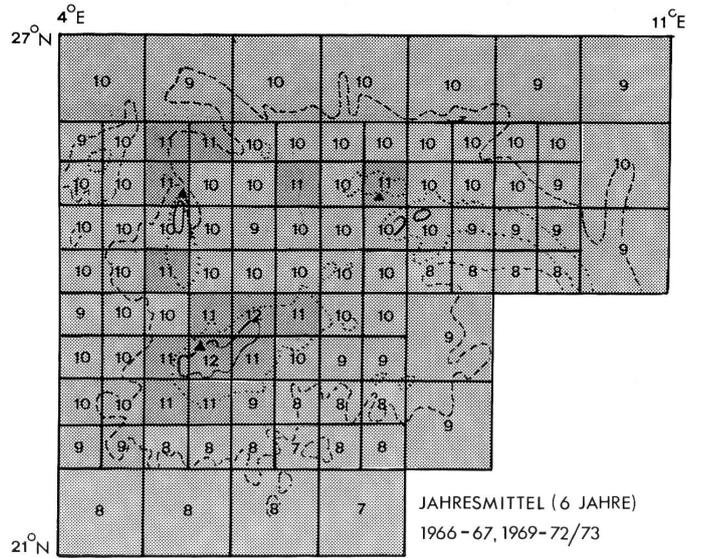
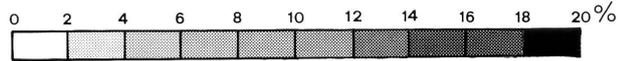


FIG. 52

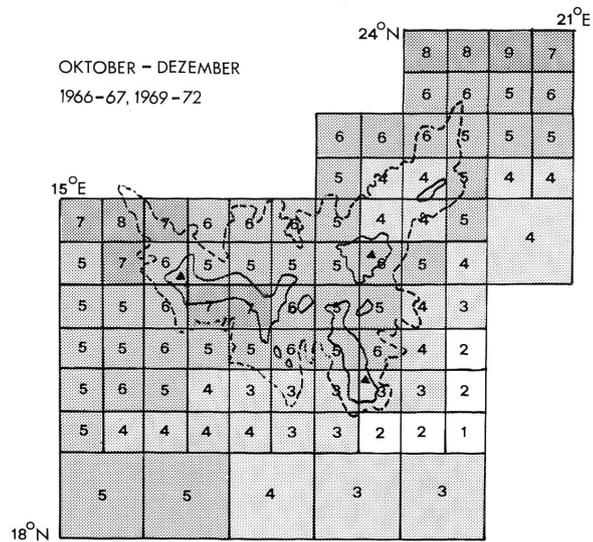
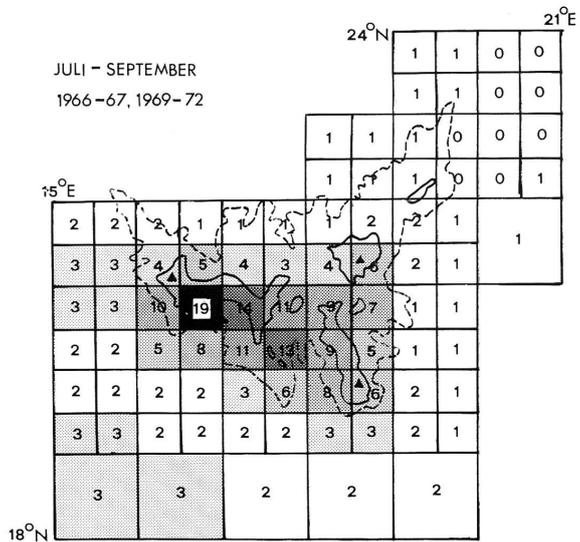
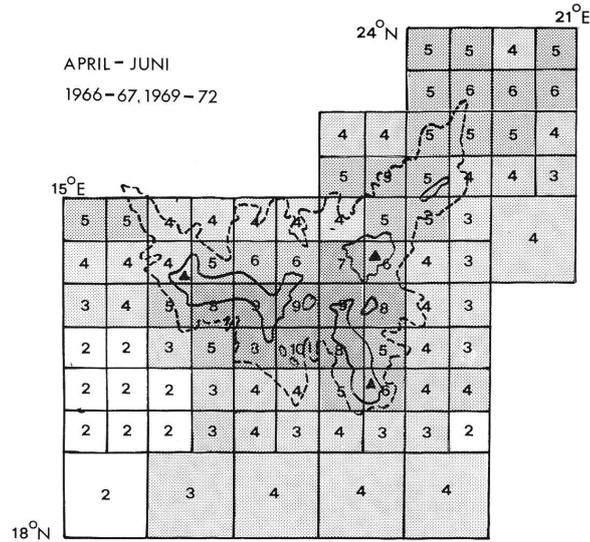
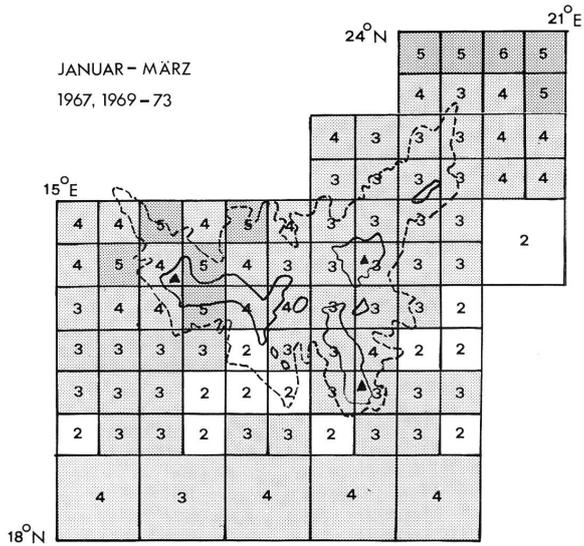
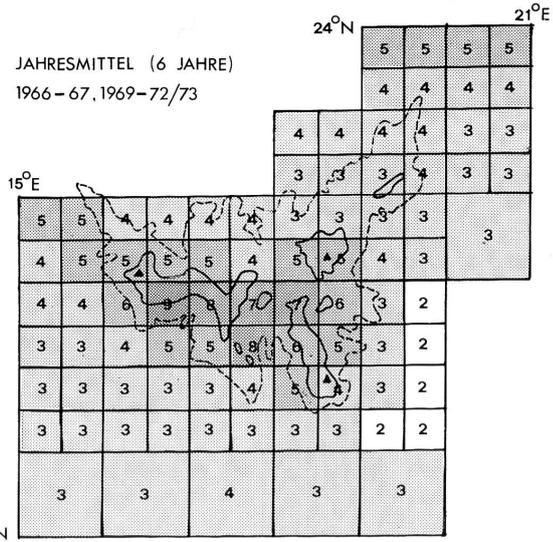
TIBESTI (SAHARA)
BEWÖLKUNGSVERTEILUNG AUS WETTER-
SATELLITENBILDERN

JAHRESMITTELWERT UND 3-MONATIGE MITTEL (IN PROZENT)
1966-67, 1969-72/73

----- 1000 M - ISOHYPSE
——— 2000 M - ISOHYPSE



M.W. 73



Das letzte dreimonatige Intervall Oktober - Dezember weist eine fast gleiche Wolkenverteilung wie das Jahresmittel auf: sehr ausgeglichen und auf die erfolgte Zirkulationsumstellung hinweisend.

20. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE VON TEIL 4

Die mit Hilfe von Wettersatellitenbildern vorgenommene Bewölkungsauswertung lässt folgende Schlüsse zu:

1. Die Bewölkungsmengen nehmen in der Sahara von Westen nach Osten ab.
2. Die Schwankung der Gesamtbewölkungsmenge von einem Jahr zum andern bewegt sich während der ganzen Untersuchungsperiode innerhalb enger Grenzen. Eine Ausnahme bildet das Jahr 1970.
3. Die Gebirge stehen mit Ausnahme der höchsten Partien ganzjährig unter dem dominanten Einfluss der trockenen Passatluftmassen, werden aber regelmässig (Hoggar häufiger als Tibesti) von Störungen des Westwindsystems, Monsunvorstössen und sudano-saharischen Depressionen erreicht.
4. Entsprechend diesen drei überwiegenden Fremdeinflüssen zeichnet sich eine nach Herkunft und Charakter unterschiedliche Niederschlagstätigkeit ab. ROGNON (1971:78) differenziert: November - Januar: Regen in Verbindung mit "dépressions méditerranéennes", im April - Juli: Niederschlag verursacht durch die "perturbations soudano-sahariennes" und die sommerlichen (Juli - September) "pluies de moussons".
5. Hoggar und Tassili n'Ajjer sind in Bestätigung der Auswertung 1968 im Mittel zweimal stärker bewölkt als das Tibesti.
6. Tropische Feuchtluftvorstösse (sudano-saharische Störungen), im Satellitenbild als Wolkenbrücken erkennbar, beeinflussen den Hoggar stärker als das Tibesti.
7. Zeitlich fallen Feuchtluftausbrüche aus dem äquatorialen Bereich bevorzugt mit dem Durchzug von Zyklonen der Westwinddrift über dem Mittelmeerraum zusammen. Damit ist die Frage nach einem allfälligen Kopplungsmechanismus aufgeworfen.
8. Die Gebirgswirke als orographische Aktivierungszentren in bezug auf atmosphärische Störungen vorab aus dem SW, die diese Grenzräume allenfalls erreichen können. Infolge der grösseren Reliefenergie ist die Wirkung des Tibestis besonders in den Sommermonaten ausgeprägter, was auch niederschlagsmässig in einer ausgeprägten Bevorzugung der SW-exponierten Gebirgsseite zum Ausdruck kommt.

LITERATURVERZEICHNIS

- ANDERSON, R.K. et al, 1973: The use of satellite pictures in weather analysis and forecasting. WMO Technical Note No. 124. (Revised version of TN-No.75). Geneva.
- ANDERSON, R.K.; FERGUSON, E.W.; OLIVER, V.J., 1966: The use of satellite pictures in weather analysis and forecasting. WMO Technical Note No. 75, Geneva.
- BARRETT, E.C., 1974: Climatology from Satellites. Methuen. London.
- BENER, P., 1963: Der Einfluss der Bewölkung auf die Himmelsstrahlung. Arch.Met.Geoph.Biokl.,Ser.B,12:442-457.
- BLUETHGEN, J., 1966: Allgemeine Klimageographie. Lehrbuch der allgemeinen Geographie, Bd.2, Walter de Gruyter. Berlin.
- BOHAN, W.A., 1968: Tropical Atlantic Cloud Patterns. ESSA Time-Lapse Movie No. WAB 209. Park Ridge, Illinois.
- BOOTH, A.L.; TAYLOR, V.R., 1969: Mesoscale archive and computer products of digitized video data from ESSA satellites. Bull. Am.Met.Soc.50:431-437.
- BRISTOR, C.L., 1968: Computer Processing of Satellite Cloud Pictures. Technical Memorandum NESCTM-3. Washington, D.C.
- DALBY, D.; HARRISON CHURCH, R.J., 1973: Drought in Africa. Report of the 1973 Symp., Centre for African Studies, School of Oriental and African Studies, Univ. of London.
- DOMBKOVSKAYA, E.P., 1970: Relationship between cloud masses observed from a Satellite and their precipitation zones. in: VETLOV, MORSKOI, 1970.
- DORIZE, L., 1974: L'oscillation pluviométrique récente sur le bassin du lac Tchad et la circulation atmosphérique générale. Rev. de Géogr. Physique et de Géologie dynamique, 16:393-420.
- DUBIEF, J., 1974: Das Klima des Sudan-Sahel. in: SCHIFFERS, H., 1974: 14-31.
- DUBIEF, J., 1973: Das westliche Zentralmassiv der Sahara: der Hoggar. in SCHIFFERS, H., 1973: Bd.3.
- DUBIEF, J., 1971: Die Sahara: Eine Klima-Wüste. in: SCHIFFERS, H., 1971, Bd.1:227-348.
- DUBIEF, J., 1959/1963: Le climat du Sahara. Mémoires I.R.S., t.1, 1959, t.2, 1963. Alger.
- DUBIEF., J., 1947: Les pluies au Sahara central. Trav. de l'I.R.S., t. IV:7-21., Alger.
- ERGENZINGER, P.J., 1967: Die natürlichen Landschaften des Tschadbeckens. Inf. Kultur und Wissenschaft der deutsch-tscha-dischen Gesellschaft, Bonn, 1.10.67.

- FLOHN, H., 1975: Tropische Zirkulationsformen im Licht der Satellitenaufnahmen. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 2448. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- FLOHN, H., 1971: Arbeiten zur allgemeinen Klimatologie. Wiss. Buchgesellschaft, 4817, Darmstadt.
- FLOHN, H., 1968: Vom Regenmacher zum Wettersatelliten. Klima und Wetter. Kindlers Universitätsbibliothek. München.
- FLOHN, H., 1966: Warum ist die Sahara trocken? Ztschr. f. Meteorologie, 17:317-321.
- GARBELL, M.A., 1947: Tropical and Equatorial Meteorology. Pitman & Sons. London.
- GAVRILOVIC, D., 1970: Die Ueberschwemmung im Wadi Bardagué im Jahr 1968 (Tibesti, Rép. du Tchad). Ztschr. f. Geom., NF 14: 202-218.
- GAVRILOVIC, D., 1969: Klimatabellen für das Tibesti-Gebirge. Niederschlagsmenge und Temperatur. Berliner Geogr. Abh. 8:47-48.
- GEB, M.; SCHERHAG, R., 1968/69: Tägliche Boden- und 850-mb-Karten der Nordhemisphäre im Jahre 1968. Met.Abh., Bd.XCIII, H. 1-4. Berlin.
- HABERAECKER, P.; NOWAK, P., 1975: DIBIAS, Ein interaktives System zur digitalen Bildauswertung. Interner Bericht. Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen.
- HAMMER, R.M., 1973: Precipitation and Nomadic Life in Sudan. Geoforum, 14:11-18.
- HAUPT, I., 1970: Die Interpretation von Satellitenaufnahmen. Das Bild der Erdoberfläche. Met.Abh., Bd.73, H.1. Berlin.
- HECKENDORFF, W.D., 1969: Witterung und Klima im Tibesti-Gebirge. Staatsex.arbeit (Manuskript), FU Berlin.
- HISDAL, V., 1974: A mathematical Method for Representing Frequency Distributions of Cloud Amount and Related Elements. Arch. Met.Geoph.Biokl., Ser.B, 22:257-280.
- HOEVERMANN, J., (Hsg.), 1967: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. H.I: Feldarbeiten 1964/65. II. Geogr. Inst. FU Berlin.
- INDERMUEHLE, D., 1972: Mikroklimatologische Untersuchungen im Tibesti-Gebirge. Hochgebirgsforschung, 2:121-142.
- ISHIWATA, C.; AOYAMA, T., 1972: Seasonal change of Cloud Distribution in the Tropics. Geogr. Rep. of Tokyo Metropolitan Univ., 6/7:31-37.
- ITTEN, K., 1973: Die Verwendung thermaler Infrarot-Aufnahmen bei geographischen Untersuchungen. Diss. Univ. Zürich.

- KESSLER, A., 1974: Infrarotstrahlungsmessungen auf einer Reise durch Westafrika und die Sahara. 1. Mitt.: Effektive Strahlungsmessungen verschiedener Oberflächen. Arch. Met.Geoph.Biokl., Ser.B, 22:135-147.
- KAMINSKI, H., 1973: Geoforschung - Erkundung aus der Umlaufbahn. Bild der Wissenschaft, 10:362-372.
- KAMINSKI, H., 1968: Luftbilder von Satelliten. Bild der Wissenschaft, 5:754-763.
- KLITZSCH, E., 1966: Berichte über starke Niederschläge in der Zentralsahara (Herbst 1963). Ztschr. f. Geom., NF 10: 161-168.
- KNOCH, K.; SCHULZE, A., 1956: Niederschlag, Temperatur und Schwüle in Afrika. Kartenauswahl aus Band II des Weltseuchenatlas. Hamburg.
- LEESE, J.A.; EPSTEIN, E.S., 1963: Application of Two-Dimensional Spectral Analysis to the Quantification of Satellite Cloud Photographs. Journal of Applied Meteorology, 2:629-644.
- LEIGHTY, R.D.; LUKES, G.E., 1974 (?): Cloud Screening from Aerial Photography. Separatum ohne weitere Quellenangabe.
- LEITZ, o.J.: LEITZ-CLASSIMAT. Optisch-elektronische Einrichtung zur automatischen quantitativen Bildanalyse in Mikroskopie und Makroskopie. Geräte-Beschreibung. 521-27b. Wetzlar.
- LEROUX, M., 1972: La dynamique des précipitations en Afrique occidentale. ASECNA, Publ. de la Direct. de l'expl. météo., No.23, Dakar.
- LINDENBEIN, B., 1970: Beiträge zur quantitativen Auswertung von Satellitenphotographien der ESSA-Serie (APT) mit Anwendungen. Met. Abh., Bd.99, H.2. Berlin.
- LIU, K.N., 1973: Transfer of Solar Irradiance through Cirrus Cloud Layers. Journal of Geophys. Research, 78:1409-1418.
- MASON, B.J., 1975: The GARP Atlantic tropical experiment. Nature, 255:17-20.
- MAYENCON, R., 1961: Conditions synoptiques donnant lieu à des précipitations torrentielles au Sahara. La Météorologie, 62:171-181.
- MESSERLI, B., 1972: Formen und Formungsprozesse in der Hochgebirgsregion des Tibesti. Hochgebirgsforschung, 2:23-86.
- MESSERLI, B., 1970: Tibesti - Zentrale Sahara. Möglichkeiten und Grenzen einer Satellitenbildinterpretation. Jahrb. Geogr. Ges. Bern, 49:139-159.
- MESSERLI, B.; INDERMUEHLE, D., 1969: Erste Ergebnisse einer Tibesti-Expedition 1968. Geogr. helv., 24:89-90.
- MESSERLI, B.; KAMINSKI, H.; WINIGER, M., 1974: Etude sur la nébulosité faite sur plusieurs années d'après les images prises par satellites météo pour le Tibesti et le Hoggar/Tassili n' Ajjer. La Météorologie, 29:15-51.

- MILLER, D.B.; FEDDES, R.G., 1971: Global Atlas of Relative Cloud Cover 1967-1970 based on data from meteorological satellites. U.S. Dept. of Commerce and U.S. Air Force. Washington, D.C.
- MOHR, T., 1973: METEOSAT. Projekt eines europäischen geostationären Satelliten. Met.Rdsch., 26:23-29.
- MOHR, T., 1972: Ursache der unterschiedlichen Bewölkungsverhältnisse (Bedeckungsgrad grösser 4/8) aus Satelliten- und Bodenbeobachtungen im Gebiet Europa/Ostatlantik 1.1.1970 - 31.12.1970. Met. Rdsch., 25:161-162.
- OTTERMAN, J., 1974: Baring High-Albedo Soils by Overgrazing: A hypothesized Desertification Mechanism. Science, 186:531-533.
- PEDELABORDE, P., 1970: Les moussons. Collection U2, Bd. 75, A. Collin. Paris.
- PLANHOL, X. de; ROGNON, P., 1970: Les zones tropicales arides et subtropical. Collection U, A. Collin. Paris.
- PONCET, J., 1970: La "catastrophe" climatique de l'automne 1969 en Tunisie. Ann. de Géogr. 435:581-595.
- QUEZEL, P., 1964: Carte international du tapis végétal. 1:1Mio. Feuille Largeau. Inst. Géogr. Nat., Paris.
- ROGNON, P., 1971: Un massif montagneux en région tropicale aride: l'Atakor. Relations entre le milieu naturel et le peuplement. Dehan, Montpellier.
- ROSENFELD, A., 1969: Picture Processing by Computer. Academic Press, New York.
- ROSENFELD, A.; FRIED, C.; ORTON, J.N., 1965: Automatic Cloud Interpretation. Photogr. Eng., 31.
- SHARON, D., 1974: The Spatial Pattern of Convective Rainfall in Sukumaland, Tanzania - A statistical Analysis. Arch.Met.Geoph. Biokl., Ser.B, 22:201-218.
- SCHANDA, E., 1975: Remote Sensing Methods for Environmental Sciences. Introductory Remarks on Remote Sensing. Manus. Ersch. 1975 im Springer Verlag, Berlin.
- SCHENK, G., 1973: Auswertung von Infrarot-Strahlungsmessungen der hochauflösenden NIMBUS- und ITOS-Radiometer (HRIR, THIR, SR). Met. Abh., Bd. 99, H.3. Berlin.
- SCHERHAG, R., 1968/69: Ergebnisse des synoptischen Dienstes im Jahre 1968. Tägliche Wetterkarten (Boden, 500 mb, 300 mb), Berliner Messwerte und kleinere wissenschaftliche Aufsätze. Met. Abh., Bd. XCII, H. 1-12. Berlin.
- SCHIFFERS, H. (Hsg.), 1974: Dürren in Afrika. Faktoren-Analyse aus dem Sudan-Sahel. Ifo Forschungsberichte Nr. 47. München.
- SCHIFFERS, H. (Hsg.), 1971/73: Die Sahara und ihre Randgebiete. Darstellung eines Naturgrossraumes. 3 Bde., Ifo-Institut. München.

- SCHIFFERS, H., 1965: Aridität im nördlichen Afrika. Geogr. Rdsch., 17:57-62.
- SCHOLZ, H., 1967: Baumbestand, Vegetationsgliederung und Klima des Tibesti-Gebirges. Berliner Geogr. Abh., H.5 (Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai, I).
- SCHUEPP, W., 1949: Die Bestimmung der Komponenten der Atmosphärischen Trübung aus Aktinometermessungen. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 1:257ff.
- SCHULZE, R., 1962: Ueber die Vorzüge der Verwendung der "Relativen Bestrahlung" für strahlungsklimatologische Betrachtungen. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 11:281-291.
- STOLDT, N.W.; HAVANAC, P.J., 1973: Compendium of Meteorological Satellites and Instrumentation. NSSDC 73-02. Prep. for the National Space Science Data Center NASA, Greenbelt, Md.
- TANAKA, M.; WEARE, B.C.; NAVATO, A.R.; NEWELL, R.E., 1975: Recent African rainfall patterns. Nature, 255:201-203.
- TETZLAFF, G., 1973: Strahlungsmessungen in der zentralen Sahara (Tibesti). Meteorol. Rdsch. 26:80-81.
- TOMLINSON, R.F. (Ed.), 1972: Geographical Data Handling. IGU Commission on Geographical Data Sensing and Processing for the UNESCO/IGU Second Symp. on Geogr. Information Systems. Ottawa.
- U.S. Dept. of Commerce, 1969: ESSA Direct Transmission System Users Guide. Washington, D.C.
- VALKO, P., 1962a: Vereinfachtes Auswerteverfahren für die Schüeppsche Methode zur Bestimmung der atmosphärischen Trübung. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 11:75-107.
- VALKO, P., 1962b: Untersuchung über die vertikale Trübungsschichtung der Atmosphäre. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 11:143-210.
- VANNEY, J.-R., 1967: Die Starkregen in Wüstengebieten. Ein Beispiel aus der Sahara. Pet. Mitt., 111:89-96.
- VANNEY, J.-R., 1960: Pluie et crue dans le Sahara nord-occidental. Inst. de rech. sahar. de l'Univ. d'Alger. Monogr. Régionales, No. 4, Alger.
- VETLOV, I.P.; MORSKOI, G.I. (Eds.), 1970: Problems of Satellite Meteorology. Transl. from Russian. Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem.
- VUKOVICH, F.M., 1971: Estimation of the effect of partial cloud cover on the Radiation Received by the Nimbus HRIR. Monthly Weather Rev., 99:807-811.
- WALCH, D.G., 1968: Die sommerlichen Bewölkungs- und Sonnenscheinunterschiede im Nordseeraum aufgrund von Satellitenbildern. Met. Abh., Bd. LXXXVII, H.1. Berlin.

- WILKES, Q.L., 1974: Meteorology Applications of Satellite Imagery. Automated processing procedures are applied to incorporate the data into the automated cloud analysis. *Photogr. Eng.*, 40:1165-1172.
- WINIGER, M., 1974: Klima der Sahara. Sahara, Exkursion 1973:6-16. Geogr. Inst. Univ. Bern.
- WINIGER, M., 1972: Die Bewölkungsverhältnisse der zentralsaharischen Gebirge aus Wettersatellitenbildern. *Hochgebirgsforschung*, 2:87-120.
- WINIGER, M., 1971: Studien über atmosphärische Zirkulation, Bewölkung und Niederschlag in den Gebirgen der zentralen Sahara. Unpubl. Diplomarbeit, Geogr. Inst., Univ. Bern.
- YACONO, D., 1968: L'Ahaggar, essai sur le climat de montagne au Sahara. *Trav.Inst. Rech. Sah.*, t. XXVII, 2 tomes, Alger.
- YOUNG, J.M., 1967: Variability in Estimating Total Cloud Cover from Satellite Pictures. *Journ. of Appl. Meteor.*, 6:573-579.
- ZINDEREN BAKKER, E.M. van, 1969: Intimations on Quaternary palaeoecology of Africa. *Acta Bot., Neerl.*, 18:230-239.
- ZUIDAM, R.A. van, 1971: Orbital photography as applied to natural resources survey. ITC Publ. B 61, Delft.

Wetterkarten:

- METEOROLOGIE NATIONALE, div. Jahre: Bulletin quotidien d'études. Ministère des transports. Secr. général à l'aviation civile. Paris.
- GEB, M.; SCHERHAG, R., 1968/69: Tägliche Boden- und 850 mb-Karte der Nordhemisphäre im Jahre 1968. *Met. Abh. Bd. XCIII, H. 1-4*, Berlin.

Wettersatellitenbilder:

- Mikrofilme: National Climatic Center
National Oceanic and Atmospheric Administration
Federal Building
Asheville, North Carolina 28801.
- Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt
Krähbühlstr. 58
8044 Zürich
- Positiv-Vergrößerungen: Sternwarte Bochum
Blankensteinerstr. 200a
4630 Bochum

