

sachen herangezogen werden, die auch im Alpenvorland gelten.

Hingegen zeigen Befunde aus dem Kössener Becken, daß vermutlich bei besonders günstigen Bedingungen, so einer optimalen Versorgungslage und schwellenfreien, breiten Nachschub-Talungen, die Räumung auch durch ein schnelleres, noch unbekanntes Schwinden der aktiven, aber schließlich wenig versorgten Gletscherzunge geschehen konnte.

#### Literatur

- AUTENBOER, T. VAN & DECLEIR, H.: Glacier Discharge in the Sør-Rondane, a contribution to the mass balance of Dronning Maud Land, Antarctica. Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 14, 1978, 1–16.
- BASALYKAS, A. & GUDELIS, V.: Charakter und Verlauf des Eisabbaues während der Weichselvereisung in Litauen. Z. Geomorph. NF, Suppl. Bd. 27, 1977, 59–67.
- BRUNNACKER, K., FREUNDLICH, J., MENKE, M. & SCHMEIDL, H.: Das Jungholozän im Reichenhaller Becken. Eiszeitalt. u. Gegenw. 27, 1976, 159–173.
- BÜDEL, J.: Die Gliederung der Würmkaltzeit. Würzburger Geogr. Arb. 8, 1960, 1–45.
- DERBYSHIRE, E. & PETERSON, J.: A photo-geomorphic map of the Mt. Menzies nunatak, Prince Charles Mountains, Australian Antarctic Territory. Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 14, 1978, 17–26.
- FLIRI, F.: Neue entscheidende Radiokarbonaten zur alpinen Würmvereisung aus den Sedimenten der Inntal Terrasse (Nordtirol). Z. Geomorph. NF, 14, 1970, 520–521.
- : Beiträge zur Geschichte der alpinen Würmvereisung: Forschungen am Bänderton von Baumkirchen (Inntal, Nordtirol). Z. Geomorph. NF, Suppl. Bd. 16, 1973a, 1–14.
- : Der zentralalpine Bänderton von Schabs (Südtirol). Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 9, 1973b, 231–235.
- : Die Stellung des Bändertonvorkommens von Schabs (Südtirol) in der alpinen Würmchronologie. Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 14, 1978, 115–118.
- FLIRI, F., BORTENSCHLAGER, S., FELBER, H., HEISSEL, W., HILSCHER, H. & RESCH, W.: Der Bänderton von Baumkirchen (Inntal, Tirol). Eine Schlüsselstelle zur Kenntnis der Würmvereisung der Alpen. Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 6, 1970, 5–35.
- GAREIS, J.: Die Toteisfluren des Bayerischen Alpenvorlandes als Zeugnis für die Art des spätwürmzeitlichen Eisschwundes. Würzburger Geogr. Arb. 46, 1978, 1–101.
- JERZ, H. & GRUBE, F.: Bericht über die Sitzung der Stratigraphischen Kommission der DUGW, Subkommission für Quartärstratigraphie am 21./22. Oktober 1977 in Rosenheim bei München. Eiszeitalt. u. Gegenw. 28, 1978, 243–245.
- HEUBERGER, H.: Die Alpengletscher im Spät- und Postglazial. Eine chronologische Übersicht. Eiszeitalt. u. Gegenw. 19, 1968, 270–275.
- : Die Salzburger „Friedhofterrasse“ – eine Schliernterrasse? Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 8, 1972, 237–251.
- LESER, H. & STÄBLEIN, G.: Geomorphologische Kartierung. Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25 000. Institut für Physische Geographie der Freien Universität Berlin, 1975, 1–39.
- LIEDTKE, H.: Neue Ergebnisse zum Aufbau und zur Struktur des Nordischen Inlandeises. Z. Geomorph. NF, 22, 1978, 230–235.
- PATZELT, G.: Bericht über das Forschungsprogramm Alpine Gletscher- und Eiszeitforschung am Geographischen Institut der Universität Innsbruck. Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 9, 1973, 295–297.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E.: Die Alpen im Eiszeitalter. 1, 1909, 1–393. Leipzig.
- SPREITZER, H.: Albrecht Penck's letztes Lebensjahr. Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 1, 1950, 187–192.
- TROLL, C.: Der Eiszerfall beim Rückzug der alpinen Vorlandgletscher in die Stammbecken. (Am Beispiel des Loisach-Vorlandes in Oberbayern.) Verh. III. Int. Quartär-Konf. Wien 1936/38.

## TERRESTRISCH BEEINFLUSSTE WOLKENFORMEN AUF SATELLITENBILDERN MITTELEUROPA

Mit 7 Photos und 3 Abbildungen

KLAUS WIESNER und FRITZ FEZER

*Summary*\*) : Terrestrially influenced cloud shapes on satellite photos of Central Europe.

The interpretation of multispectral photos from the ERT satellite LANDSAT-1, launched on its polar orbit from Vandenberg in California on 23. 7. 72, also produced new findings in the field of weather research, backed up by shots from the weather satellites TIROS IV and ESSA 8.

Vertical LANDSAT photos show, through moderate

cloud formation, both land relief and the shape of clouds, thus providing a new opening for topoclimatology. Relief has a crucial influence on the formation of many cloud shapes, varying in accordance with the range of relief forms. Such orographic clouds are, so to speak, linked to the earth's relief, which is why their position is generally stationary. The best known examples are cloud banks, cap clouds, wavy and cylindrical-shaped clouds. Wavy clouds behind mountains may, according to recent findings, be caused both by stable air-waves and travelling unstable KELVIN-HELMHOLTZ waves. All these waves usually have their maximum amplitude in the lower or middle tropo-

\*) Ins Englische übersetzt von ELAINE GRIFFITHS. An dieser Stelle danken wir auch ERNA WIESNER für ihre Hilfe.

sphere, frequently directly over the mountains which produce them.

Wave patterns may be observed in the lower stratus layers on the LANDSAT photos: they arose through a lee effect over hilly terrain. It was surprising to discern wave clouds in the lee of a medium-high mountain range at a distance of 200–300 km and with an altitude of 6000–8000 metres.

The commonest cloud type on the LANDSAT pictures are cumulus rows, however. These form both over mountain ranges and highlands and over plains, coasts and the sea. They probably originate in vibrations in the lower troposphere due to varying temperatures of the earth's surface. Although such cumulus clouds occur over all kinds of relief, in many cases the relief controls the arrangement. Thick swelling clouds arise over mountains and highlands due to increased convection. Vegetation level and surface composition also have an effect e.g. cumulus clouds are likely in moor and grassland regions, and over extended woodlands.

Besides these rough relationships between cumulus rows and large relief units – mountain ranges, plains, coasts – the photos show a clear correlation between the formation of cumuli and rows and the presence of individual massifs, crests and knolls. Chains of congested clouds arise far into the lowlands of mountain ranges. Often single cumuli or cloud-chains adorn the banks of highland rivers, too.

Mountain ranges and steeply rising islands have a reverse effect on stratus clouds: while they further the formation of cumulus clouds, sheet clouds are dispersed.

The dependence on relief is also evident from the pictures in the case of fog. In hilly country it covers valleys, gullies, pools and troughs in the morning, leaving knolls free. Fog often indicates lines of current, suggesting direction of flow. Single protruding rocks or other elevations produce fog waves.

In flat terrain moors, damp depressions and marshy areas around rivers create fog. Over industrial areas, towns and motorways fogs are dispersed by warmth emission, but enhanced by smoke.

These findings allow not only the correlation of cloud-forms and terrestrial relief but they even help to identify mountains and valleys on satellite photos. For pictures from weather satellites the characteristic cloud shapes over single mountains and islands provide additional adjustment points.

If a photo is veiled by low stratus clouds and fog, elevations and islands can be localized as dark points or patches since they disperse the strati in places or break through them. Lakes, towns and industrial sites have a similar effect. If the blind-flight-system breaks down or a small plane suddenly rises above the clouds, emergency navigation might be possible through recognizing these cloud features.

LANDSAT-C, the third satellite of this series, has an extraordinarily good resolution of 40 to 50 m. This allows agriculture and regional planning (lay-out of housing areas, building motorways etc) to discover unsuitable, fog-threatened areas.

### 1. Das LANDSAT-Projekt in seiner Bedeutung für die Topoklimatologie

Wolken können auf Bildern von Wettersatelliten nur mit größeren Landflächen oder hohen Gebirgen in Ver-

bindung gebracht werden, Flugzeuge erfassen dagegen meist ein zu kleines Gebiet. Vom Boden aus ist die genaue Lage von Wolken wiederum nur schwer zu schätzen. Hier füllen die Bilder der Erderkundungssatelliten LANDSAT-1, -2 und -3, die noch Objekte von 80 m Länge und Breite auflösen, eine Maßstabs-lücke und eröffnen der Topoklimatologie neue Möglichkeiten.

Zu einem besseren Verständnis der komplizierten Vorgänge bei der Bildung reliefbedingter Wolken sollen die Diagramme in Abb. 1 dienen. In ihnen ist die gegenseitige Abhängigkeit von Druck, Temperatur, absoluter und relativer Feuchtigkeit in der freien At-

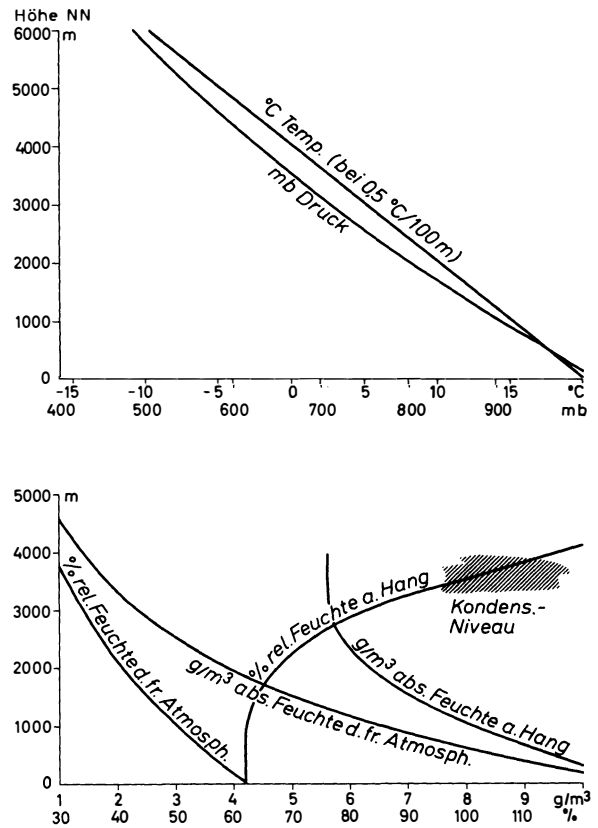


Abb. 1: Temperatur, Feuchte, Druck an einem mittleren Sommertag

Alle Werte sind auf eine Temperatur von 20° C im Meeresniveau abgestimmt – also auf sommerliche Verhältnisse in Mitteleuropa; um die Kurven untereinander in Beziehung setzen zu können, wurde für sämtliche Berechnungen ein feuchtadiabatischer Temperaturgradient von 0,5° C/100 m angenommen.

Temperature, humidity, pressure on an average summer's day

All values are related to a temperature of 20° C at sea-level – that is, to summery conditions in Central Europe. In order to be able to relate the curves to one another, a wet adiabatic temperature gradient of 0.5° C/100 m was assumed for all calculations.

mosphäre und am Hang dargestellt. Sie lassen den großen Einfluß des Reliefs auf die Wolkenbildung erkennen.

## 2. Der Einfluß des Reliefs auf die Entstehung von Wolken

Die meisten reliefbedingten (orographischen) Wolken haben entweder thermische Ursachen (Konvektionswolken) oder entstehen als Stauwolken im Luv vor – bzw. als Leewolken hinter Gebirgen. Küstenbewölkung und geländeabhängige Nebel werden im weiteren Sinne ebenfalls zu den orographischen Wolken gezählt.

Die reliefbedingten Schönwetter-Cumuli, welche bei konvektiver Witterung häufig schon gegen Mittag die Bergkuppen umgeben, sind auf einen Aufwind an den erwärmten Hängen zurückzuführen (Tal-Berg-Zirkulation). Am Hang verstärkt sich tagsüber die Bewölkung – wie anhand der Diagramme in Abb. 1 gezeigt – durch einen Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit. In größerer Höhe wird dann allerdings ein Punkt erreicht, wo die Verringerung des absoluten Feuchtigkeitsgehalts der Luft keine Kondensation mehr zuläßt.

Staubbewölkung entsteht bei advektiver Witterung, wenn feuchtigkeitsbeladene Winde an einem Gebirgshang zum Aufsteigen gezwungen werden. Sie ist meist mit starken Niederschlägen verbunden.

Bei der Überwindung einer Bergkette durch eine Warmfront wird diese gezwungen, auf der Leeseite abzusinken, so daß restliche, noch nicht abgeregnete Wolkentröpfchen verdunsten. Als Auflösungserscheinungen der Wolken im Lee bleiben dann bei föhnartiger Luftströmung lediglich linsen- oder wogenförmige Wölkchen übrig. In manchen Gegenden haben die Föhnwolken besondere Namen, wie „Föhnfische“ in Mitteldeutschland oder „Moazagotl-Wolken“ im Riesengebirge.

Das Relief hat also einen entscheidenden Einfluß auf die Wolkenbildung, der entsprechend der Vielfalt der Reliefformen variiert.

## 3. Orographische Wolkentypen und Luftwellen

Orographische Wolken sind sozusagen mit dem Erdrelief verbunden, weshalb ihre Lage im allgemeinen stationär ist. Sie kommen in jeder Höhe vom Boden bis zum Niveau der Perlmutterwolken (20–30 km) vor.

Am häufigsten treten Wolkenkappen auf. Sie sind ein Zeichen stabiler Schichtung und nichtturbulenter Luftströmung. Wolkenhauben über ausgedehnten Bergketten zählen dagegen zur Staubbewölkung. Über Lee liegt dann meist eine sogenannte Föhnmauer, die heftige Turbulenzen und für den Flugverkehr gefährliche Gebiete kennzeichnet.

Von Flugzeugen unbedingt zu meiden sind auch Wolkenwalzen (rotor clouds). Sie erscheinen in den

Kämmen stark ausgebildeter Luftwellen im Lee der Berge und haben das Aussehen einer Cumulus- oder Stratocumulusfront parallel zum Bergkamm. Die Bezeichnung „Walze“ rührt von der scheinbaren Rotation dieser Wolken um eine horizontale Achse her, die durch starke vertikale Windbewegungen innerhalb der Wolke verursacht wird (QUENEY et al., 1960).

Anders als die Walzen sind Linsenwolken (Lenticulariswolken, wave clouds) Kennzeichen eines Luftraums, in dem die Strömung hinter Hügeln und Bergen sanft und laminar ist. Aus diesem Grund haben solche Wolken eine charakteristische glatte Form. Sie entfalten sich meist voll im Altocumulus-Niveau, wenn Luft über den Taupunkt hinaus bis zu den Kämmen stehender Luftwellen gehoben wird. Die Wolke bildet sich dabei an der Aufwindseite der Welle immerzu neu, während sie sich an der Abwindseite auflöst.

Entgegen früheren Annahmen, die Wellenwolken hinter Bergen immer auf das Vorhandensein stehender Wellen zurückführten, können solche Wolken nach NICHOLLS (1973) auch durch nichtstationäre sogen. KELVIN-HELMHOLTZ-Wellen erzeugt werden, wobei ausreichende Luftfeuchtigkeit und starke vertikale Windscherung innerhalb feuchtstabiler Strömung vorausgesetzt wird.

SCORER (1949, 1953, 1954) fand, daß Wellenbildung außerdem nur möglich ist, wenn der sogen.  $l^2$ -Parameter mit der Höhe durch eine ausreichend dicke Schicht hindurch auf etwa  $1/9$  seines Wertes (am Boden der Schicht) abnimmt, d. h. Wellen bilden sich nur, wenn der Wind sich über der Wolkenhöhe rasch beschleunigt. Innerhalb der Troposphäre nimmt dabei die Wellenlänge mit der mittleren Windgeschwindigkeit zu (CORBY, 1957). Alle Wellen haben gewöhnlich ihre maximalen Amplituden in der niederen oder mittleren Troposphäre, häufig unmittelbar über den Bergen (NICHOLLS, 1973), vgl. Abb. 2.

## 4. Wolken auf Satellitenbildern

Auf Fernbildern will man sowohl Wolken von Schnee und Eis unterscheiden – die genauso hell erscheinen – als auch verschiedene Wolkentypen untereinander. Dazu sind bestimmte Charakteristika der Wolken hilfreich. Die Wolkenhelligkeit (Albedo) ergibt sich aus Wellenlänge, Frequenz und Intensität des reflektierten Lichtes. Wellenlänge und Frequenz sind durch die Formel  $c = \lambda \cdot \nu$  gekoppelt ( $\lambda$  = Wellenlänge,  $\nu$  = Frequenz), da die Lichtgeschwindigkeit  $c$  in Luft für alle Wellenlängen nahezu konstant ist.

Licht im  $0,5\text{--}0,8\mu$ -Bereich (also überwiegend sichtbares Licht) wird von dicken Cumulonimbuswolken zu 92% reflektiert, von Wasserflächen dagegen nur zu 7% (LEESE, BOOTH, GODSHALL, 1970). Von den Verfassern durchgeführte Mikrodensitometermessungen am Chemischen Institut der Universität Heidelberg ergaben absolute Wolkenhelligkeiten zwischen 70% und

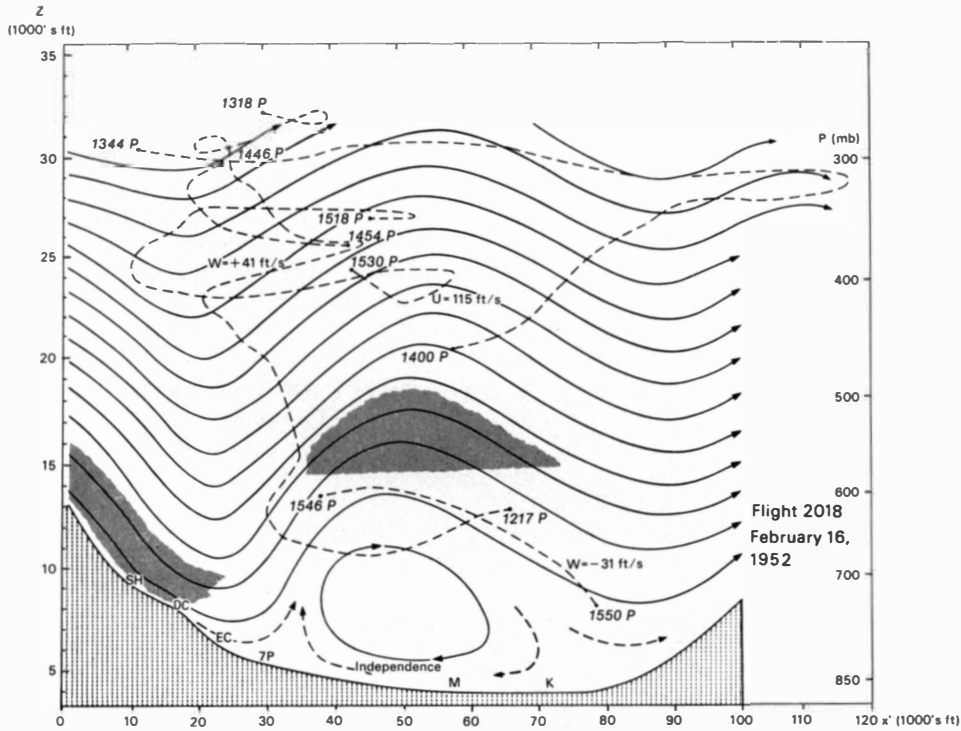


Abb. 2: Luftströmung im Lee der Sierra Nevada, aufgezeichnet bei Flug 2018 am 16. Februar 1952. Die Doppelamplitude der Welle beträgt über 2100 m. Nach HOLMBOE u. KLIEFORTH, 1957 (aus QUENEY, 1960).

Air-flow in the lee of the Sierra Nevada, recorded during flight number 2018 on February 16th, 1952. The double wave amplitude amounts to more than 2100 m. After HOLMBOE & KLIEFORTH, 1957 (in QUENEY, 1960).

| CLASSIFICATION      |                           | LEVEL          | SCHEMATIC |           |
|---------------------|---------------------------|----------------|-----------|-----------|
|                     |                           |                | PLAN VIEW | SIDE VIEW |
| WAVE-LIKE PATTERN   | LEE WAVES                 | LOW            |           |           |
|                     | CREST (PART THERMAL)      | LOW            |           |           |
| ISOLATED LENTICULAR |                           | MIDDLE OR HIGH |           |           |
| FIBROUS PLUMES      |                           | MIDDLE OR HIGH |           |           |
| LARGE SINGLE LINE   | ARCS                      | LOW            |           |           |
|                     | STRAIGHT (MOSTLY THERMAL) | LOW            |           |           |

Abb. 3: Klassifikation orographischer Wolken auf TIROS-Bildern. Neben den Bezeichnungen der Muster sind die Höhenbereiche angegeben, in welchen die zugehörigen Wolken angetroffen werden, sowie Senkrechtsichten der Muster, wie sie auf Satellitenbildern zu sehen sind. Eine Seitenansicht gibt die Wolken in Verbindung mit der gestörten Luftströmung über dem Relief wieder (aus CONOVER, 1964).

Classification of orographic clouds from TIROS pictures. Apart from the descriptions of the patterns the altitudinal zones are indicated in which the associated clouds are found, as well as vertical views of the patterns as seen on satellite pictures. A side view reproduces the clouds in connection with disturbed air-flows above the relief (from CONOVER, 1964).

30% (Wasserflächen: 5%). Die Helligkeiten schwanken also beträchtlich. Cumulonimbuswolken sind im Vergleich zu dünnen Stratusschichten sehr hell, ebenso erscheinen Wasserwolken heller als Eiswolken. Auch der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen spielt eine bedeutende Rolle. Bei einem Winkel von  $90^\circ$  ist die Beleuchtung ungefähr viermal so stark wie bei einem von  $20^\circ$  (BARRETT, 1974).

Unter dem Kontrast zwischen zwei Wolken auf dem Bild versteht man die vom Auge wahrgenommene Helligkeitsdifferenz. Das Auge vergleicht nur die logarithmischen Werte der Helligkeiten; gleicher Kontrast zwischen je zwei Wolken bedeutet also gleiche Differenz der logarithmischen Helligkeitswerte.

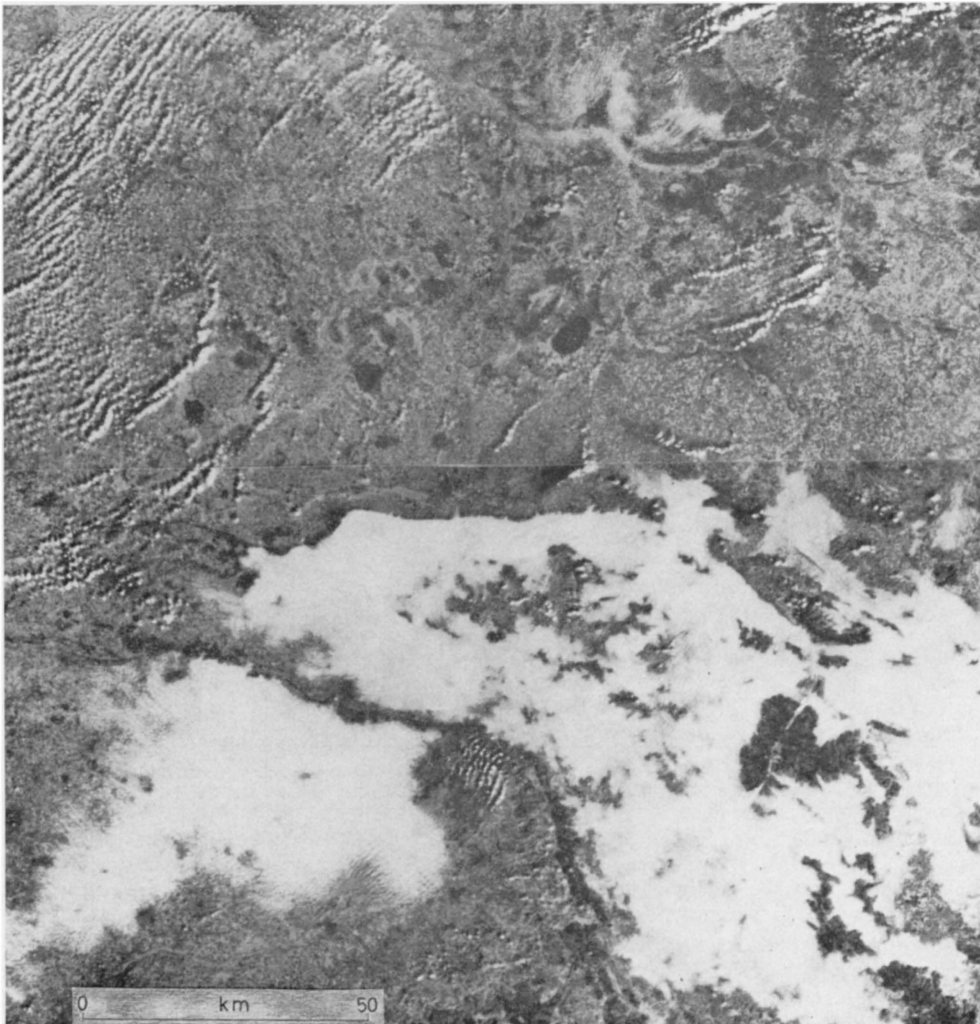
Unterschiede in der Glätte der Wolkenoberfläche und in ihrer horizontalen Struktur führen zu Kontrasten, die man als „Textur“ bezeichnet. Das „Pattern“ der Wolke entsteht dagegen durch die Form und Anordnung der kleinsten unterscheidbaren Teile, der Wolkenelemente.

Obwohl Wolken auf Satellitenbildern heute schon durch „Pattern-Recognition“ mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen klassifiziert werden können (ROSEN, 1967), bleibt subjektive Auswertung zunächst noch die Hauptaufgabe. CONOVER (1964) entwickelte ein Schema zur Identifikation von orographischen Wolken auf TIROS-Satellitenbildern. Nach diesem Schema werden die Wolken auf ihre meteorologische Bedeutung hin interpretiert (Wolkentyp, -höhe, -dicke, Temperaturgradient, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und -richtung), vgl. Abb. 3.

## 5. Ergebnisse der Auswertung der LANDSAT-1-Bilder

### a) *Nebel*

Die Verbreitung des Nebels hängt ganz offenkundig vom Relief ab. Im Bergland liegt Bodennebel



morgens in Tälern, Gräben, Senken, Becken und Mulden, wo sich nachts die Kaltluft angesammelt hat (vgl. Photo 1 Weserbergland). In einzelnen Fällen folgt er jeder Biegung eines Tales (vgl. Photo 6 Wesertal). Die höheren Teile der Bergländer bleiben frei. Die Nebelobergrenze läßt sich anhand orographischer Besonderheiten oft bis auf  $\pm 50$  m genau angeben.

Der Nebel liegt nicht immer an einem Ort fest; bei entsprechendem Relief zeigt er häufig Strömungslinien, die auf eine Fließrichtung schließen lassen.

Hinter parallelen Rücken im Bergland bilden sich durch eine Art Leewirkung Nebelwellen senkrecht zur Windrichtung. Auch einzelne herausragende Felsen oder andere Erhebungen lassen Wellen, ähnlich denen eines Schiffes, entstehen (vgl. Photo 2 Saarbergland). Im Luv der Hänge ist der Nebel manchmal leicht gestaut.

Für die Nebelbildung sind Tages- und Jahreszeit sowie die Gesamtwetterlage ausschlaggebend. Durch Heranziehen von Wetterkarten des Deutschen Wetter-

dienstes, die am gleichen Tage und zur gleichen Stunde wie die Bilder aufgenommen wurden, konnte gezeigt werden, daß morgendlicher Bodennebel meist bei Hochdruckwetter, starker nächtlicher Ausstrahlung und einer Bodeninversion entsteht. Die Nebelobergrenze ist im Flachland durch die Inversionsgrenze festgelegt (siehe auch WINIGER, 1975). Hier erzeugen Moore, feuchte Niederungen und Flußmarschen den Nebel; sie sorgen für hohe Luftfeuchtigkeit (vgl. Photo 1 Ostenholzer Moor und Photo 5 Elbeflußmarschen).

Wald hat ein unterschiedliches Verhalten. Im Flachland ist er nebelfrei, während die umliegenden Niederungen bedeckt sind (vgl. Photo 1, Leine-Aller-Zusammenfluß). Wahrscheinlich sind Wälder morgens wärmer als das Freiland. Dagegen überrascht, daß bewaldete Rücken im Bergland manchmal Nebelbedeckung aufweisen (vgl. Photo 2 Idarwald).

Über Seen ist die Nebeldecke im Spätsommer und Herbst morgens – bedingt durch das relativ warme Wasser – aufgerissen (vgl. Photo 3 Zürichsee).

*Photo 1:* Nebel über Münsterbucht und Weserbergland. Im Bergland läßt er eine Abhängigkeit vom Relief erkennen. Dort liegt er in den Tälern (z. B. von Weser, Werra, Fulda im rechten unteren Bildeck), den Gräben (z. B. dem Leinegraben, untere Bildhälfte, rechts), den Senken (z. B. Hessische Senke, rechts unten) und Becken (z. B. Kasseler Becken, ganz unten rechts). Die höheren Teile des Berglandes ragen aus der Nebeldecke heraus (z. B. der Solling unten rechts, das Lipper Bergland und der Kamm von Wiehen-Wesergebirge, Bildmitte). Städte sind als Löcher oder dunkle Stellen markiert (z. B. Kassel ganz unten am Bildrand rechts, Gütersloh und Warendorf in der Decke über dem Münsterland). Oben ein drachenförmiges Waldstück nördlich des Leine-Aller-Zusammenflusses, um das engständige Nebelwellen angeordnet sind. Der Nebel liegt hier im Allertal und über dem Ostenholzer Moor. Rechts von der Bildmitte reliefabhängige Wolkenketten über den Gebirgsstöcken nördl. und nordöstl. des Weserberglands (z. B. über den Bückebergen und dem Deister) und ebensolche Wolkenkappen (z. B. über dem Lipper Bergland unterhalb der Bildmitte).

Zwischen der Weser und den Bückebergen eine Wolkenkette über dem Schaumburger Wald, die hier den nach NNE abknickenden Mittellandkanal begleitet. Die Windgeschwindigkeit beträgt um 9 GMT bei Hannover 3 Knoten.

Die Wolkenreihen zwischen Ems und Weser (links oben) sind ebenfalls oberflächenabhängig; sie entstehen über großen Mooregebieten (z. B. Vehnemoor, hier bei SW-Wind  $> 3$  Knoten).

Zusammengesetzter Ausschnitt aus LANDSAT-Bild ERTS E-1060-09534-6 und E-1060-09540-6 vom 21. Sept. 72, 9.53 u. 9.54 GMT.

*Anmerkung:* Alle photographischen Abbildungen sind Vergrößerungen, Verkleinerungen oder Ausschnitte (maßstabsgetreu) aus LANDSAT-1-Bildern. Originalmaßstab: 1:1 000 000, Hersteller: NASA.

Fog over the Munster Bay and Weser Hills. In the hills a dependence on the relief may be recognised, lying in the valleys (those of Werra, Weser, Fulda in the bottom right hand corner of the picture), in the fault troughs (e.g. Leine Graben, lower half of the picture, right hand), in the depressions (e.g. Hessian Depression, bottom right) and basins (e.g. Kassel Basin, very bottom right). The higher parts of the hills project from the blanket of fog (e.g. the Solling, bottom right, the Lippe Hills and the crest of the Wiehen-Weser Hills, centre of picture). Towns appear as gaps or dark places (e.g. Kassel at the very bottom right hand corner, Gütersloh and Warendorf in the cover over the Münsterland).

On top a kite-shaped piece of woodland north of the Leine-Aller confluence with closely-following fog waves arranged around it. Here the fog lies in the Aller Valley and above the Ostenholzer Moor.

On the right hand centre of the picture there are relief-dependent cloud-chains above the massifs north and north east of the Weser Hills (e.g. over the Bücke Hills and the Deister) and the same sort of cloud caps for example over the Lippe Hills (lower half of picture).

Between the river Weser and the Bücke Hills a cloud-chain over the Schaumburger Forest, which follows the here NNE-bending Mittelland Canal. The wind speed near Hanover is 3 knots at 0900 GMT.

The cloud-rows between Ems and Weser (above left) also depend on the surface; they form above large moorland areas (e.g. Vehne Moor, here with a SW wind  $> 3$  knots).

Conflated section from LANDSAT picture from the ERTS E-1060-09534-6 and E-1060-09540-6 from September 21st, 1972, 0953 and 0954 GMT.

*Note:* All photographic illustrations are enlargements, reductions or sections (true to scale) from LANDSAT-1 pictures. Original scale 1:1,000,000. Source – NASA.



*Photo 2:* Nebeldecke über dem Saarbergland. Der Nebel läßt sowohl Leewellen (oben, hinter den Rücken des Schwarzwälder Hochwalds) als auch keilförmige Hinderniswellen (darunter) erkennen, die sich bei östlichen Winden bildeten. Nördlich des Saarlands liegen jeweils 2 Nebelstreifen über den bewaldeten Rücken des Schwarzwälder Hochwalds und des Idarwalds. Über den Industriegebieten des Saartals (in der Nebeldecke links unten) und von Neunkirchen (rechts von der Mitte der Decke) ist der Nebel aufgelöst. Die schwarze Linie durch das Neunkirchener Industriegebiet ist die Autobahn Kaiserslautern-Saarlouis.

Vergrößerter Ausschnitt aus ERTS E-1151-10010-5 vom 21. Dez. 72, 10.01 GMT.

Fog cover over the Saar Hills. Lee waves (above, behind the ridges of the Black Forest) as well as wedge-shaped obstacle waves of fog (below) are recognisable, which form under the influence of easterly winds. North of the Saarland there are two bands of fog, each above the forest-clad ridge of the Black Forest and the Idar Forest. Above the industrial areas of the Saar Valley (in the fog cover, bottom left) and of Neunkirchen (right hand of the picture, centre) the fog has dispersed. The black line running through the northern industrial area is the motorway from Kaiserslautern to Saarlouis.

Enlarged section from ERTS E-1151-10010-5 from 21 December, 1972, 1001 GMT.

In Nebeldecken sind oft flockenartige Auflockerungen, Reihen oder Streifen parallel zur Windrichtung zu sehen, wobei die Luft nur schwach strömt (vgl. Photo 3 nördl. des Bodensees und im Sundgau). Die einzelnen Flocken und Reihen wachsen allmählich immer dichter zu der Decke zusammen. Die eingehende Untersuchung der Bilder führt zu der Vermutung, daß aus Nebelreihen manchmal Wolkenreihen hervorgehen, die dann ihrerseits zu einer Decke zusammenwachsen (vgl. Abschn. 5b).

Über Industriegebieten, Städten und Autobahnen sind Nebeldecken durch die Wärme-Emission aufgelöst (vgl. Photo 2 Saarland und Photo 1 Kassel und Münsterbucht). Rauch macht eine Ausnahme. Auf den Bildern ist festzustellen, daß er den Nebel verstärkt,

wobei die Rauchpartikeln wahrscheinlich als Kondensationskerne wirken.

#### *b) Wolkenreihen, -kappen und Staubbewölkung*

Häufigster Wolkentyp auf den LANDSAT-Bildern sind Cumulus-Reihen. Sie bilden sich sowohl über dem Gebirge und Mittelgebirge als auch über Ebenen, Küsten und der See (vgl. Photo 3 Südschwarzwald). Neben ausreichender Luftfeuchtigkeit ist der Wind eine wesentliche Voraussetzung für ihre Entstehung, wobei sich die Reihen über der Ebene schon bei niedriger Windgeschwindigkeit um 3 Knoten parallel zur Richtung des Windes anordnen. Bei Geschwindigkeiten von mehr als 5 Knoten verschmelzen die Reihen über den

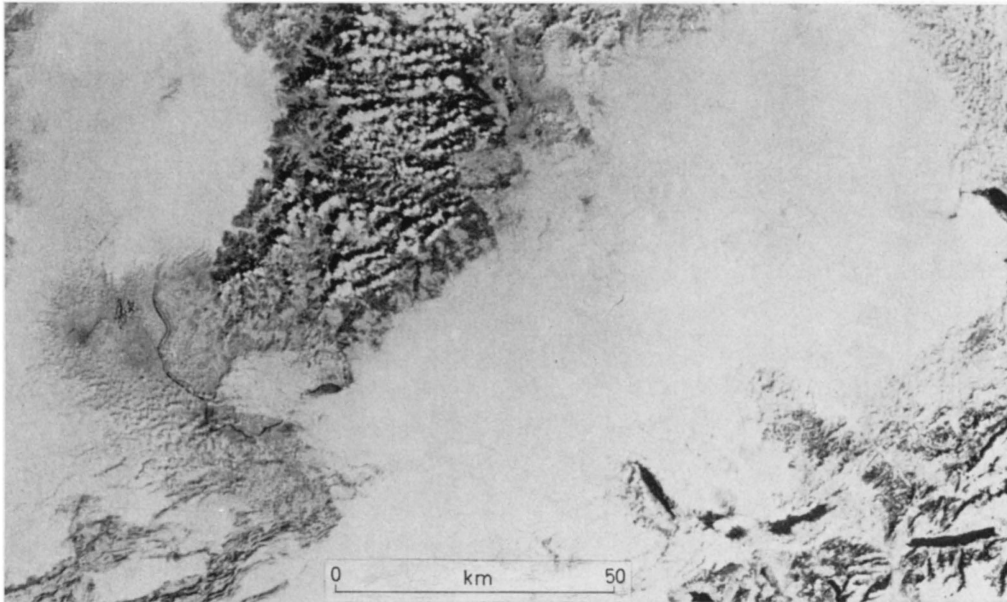


Photo 3: Nebeldecken im südl. Oberrheingraben und Sundgau (links) sowie über Baar, Hegau und Nordwestschweiz (Mitte). Über dem Zürichsee (rechtes unteres Bildviertel) ist die Nebeldecke aufgerissen. Nördlich des Bodensees (von dem rechts oben nur ein kleiner Teil zu sehen ist) und im Sundgau (links, südwestl. von Mülhausen und Basel) wächst die Decke aus einzelnen Flocken und Reihen zusammen. Über dem südlichen Schwarzwald liegen Cumulus-Reihen, die sich bei östlichen Luftströmungen der Geschwindigkeit 5 Knoten gebildet haben.

Ausschnitt aus ERTS E-1059-09493-6 vom 20. Sept. 72, 9.49 GMT.

Fog cover in the southern Upper Rhine Valley and Sundgau (left) as well as over Baar, Hegau and North West Switzerland (centre). Above Lake Zürich (lower righthand quarter of the picture) the fog cover has broken up. North of Lake Constance (only a small part of which is visible in the top right hand corner) and in the Sundgau (left, south west of Mülhausen and Basel) the cover coalesces out of separate flakes and rows. Above the southern Black Forest there are a series of cumulus rows which have formed under the influence of easterly air-flows with a speed of 5 knots.

Section from ERTS E-1059-09493-6, 20 September, 1972, 0949 GMT.

Alpen und Mittelgebirgen zu sogen. „Wolkenstraßen“ (PIAGET, 1973).

Die Wetterkarten ließen erkennen, daß sich die Reihen sowohl bei hohem als auch tiefem Druck formieren, sie wachsen allerdings im zweiten Fall allmählich zu Stratocumulusdecken zusammen (vgl. Photo 4 Deutsche Bucht). MALKUS und RONNE (1963) führen ihre Entstehung auf die unterschiedliche Erhitzung der Erdoberfläche zurück, wodurch wahrscheinlich Schwingungsvorgänge in der unteren Troposphäre auftreten, die reihenförmig nebeneinander Gebiete mit aufsteigender Luft und Wolkenbildung in den Kämmen und solche mit absinkender Luft und Auflösung der Wolken in den Tälern stehender Wellen erzeugen.

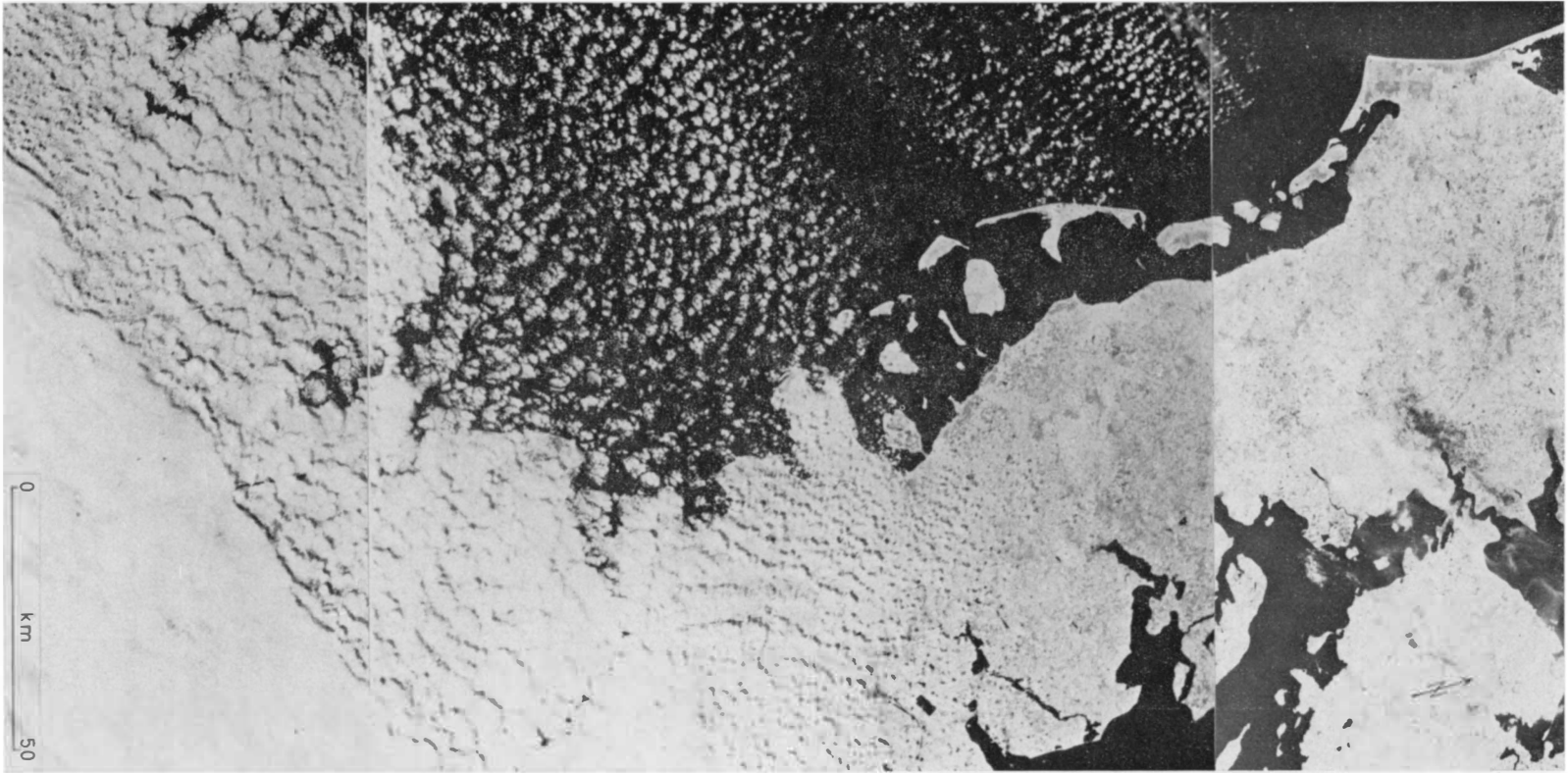
Obwohl man Wolkenreihen über allen möglichen Relieftypen beobachtet, sind gewisse Einflüsse des Reliefs vorhanden. Als „Wolkenstraßen“ quellen sie über den Gebirgen und Mittelgebirgen durch die stärkere Konvektion mächtig auf. Hierbei spielt auch der größere Reibungswiderstand eine Rolle, wodurch die Strömung über dem Gebirge abgebremst und die Luft in die Höhe gedrängt wird (vergrößerter Strömungsquerschnitt bei langsamerer Strömung).

Ebenso wie das Relief haben Vegetationsdecke und stoffliche Beschaffenheit der Oberfläche einen Einfluß auf die Quellwolkenbildung. Die feuchten Moor- und Graslandschaften des Norddeutschen Tieflands zwischen Ems und Unterweser fördern sie ganz erheblich durch ihre starke Verdunstung (vgl. Photo 1 Vehnemoor, Photo 5 Stormarn). Die Wolkenreihen folgen auch ausgedehnten Waldstreifen oder bewaldeten Rücken.

Küstenbewölkung bildet sich im Anfangsstadium ebenfalls in Reihen. Wie mehrere Bilder deutlich zeigen, entstehen diese zuerst über dem angrenzenden Festland und den Inseln und erst später über der See (vgl. Photo 4 Deutsche Bucht). Bei landeinwärts wehenden Winden sind die Ursachen dafür – ähnlich wie bei den Wolkenstraßen über dem Gebirge – größere Bodenreibung und stärkere sommerliche Erwärmung des Festlandes gegenüber dem Meer.

Außer diesen größeren Zusammenhängen zwischen Wolkenreihen und großen Reliefeinheiten – Gebirgen, Ebenen, Küsten – ist auf den Bildern eine eindeutige Abhängigkeit der Quellwolken- und Reihenbildung von einzelnen Gebirgsstöcken, Kämmen, Hügelkup-





*Photo 4:* Cumulus-Reihen über der Deutschen Bucht, Schleswig-Holstein und Niedersachsen bei NNW-Wind. Über der Küste und nach dem Landesinnern zu quellen die Wolken mächtig auf, da die Strömung durch Bodenreibung abgebremst und die Luft in die Höhe gedrängt wird. Über Schleswig-Holstein ändert sich die Richtung der Reihen (NNE–SSW), über dem Norddeutschen Tiefland wachsen sie bei tiefem Druck zu einer dichten Stratocumulus-Schicht zusammen.

Leicht verkleinerter, zusammengesetzter Bildausschnitt aus ERTS E-1043-09583-7, 9.58 GMT, E-1043-09590-7, 9.59 GMT, E-1043-09592-7, 9.59 GMT, alle Bilder vom 4. September 72.

Cumulus rows over the German Bay, Schleswig-Holstein and Lower Saxony with NNW wind. Above the coast and towards the interior the clouds expand enormously, since the flow is slowed down by ground friction and the air pressed upwards. Over Schleswig-Holstein there is a change in the direction of the rows (NNE–SSW), over the North German Plain deep pressure makes them coalesce into a dense cumulo-status layer.

Slightly reduced composite section from ERTS E-1043-09583-7, 0958 GMT, E-1043-09590-7, 0959 GMT, E-1043-09592-7, 0959 GMT; all pictures taken on 4 September 1972.

pen, ja sogar von Mittelgebirgstälern zu erkennen. Über den bewaldeten Höhen des Südlichen und Nördlichen Landrückens und den Bergen des Weserberglands liegen bei Hochdruckwetter Wolkenkappen 1000–1600 m über Talniveau (vgl. Photo 5 Lüneburger Heide, Photo 6 Solling, Hils). Für die Wolkenbildung sind hier bestimmt Hangaufwinde ausschlaggebend, doch scheint auch die Bewaldung eine gewisse Rolle zu spielen, in einigen Fällen stehen nämlich Quellwölkchen über Waldgebieten im Flachland. Vermutlich sorgt der Wald für die nötige Luftfeuchtigkeit (vgl. Photo 5 Gebiet südöstl. d. Wilseder Bergs und Photo 1 Schaumburger Wald).

Bei langgestreckten Gebirgsrücken wird die Wolkenkappe meist durch eine Wolkenkette ersetzt, die einer einzelnen Cumulusreihe ähnelt, jedoch unabhängig von der Windrichtung dem Rückenverlauf folgt. Voraussetzung sind allerdings geringe Windbewegungen, die 3 Knoten nicht wesentlich überschreiten (vgl. Photo 6 Hils und Photo 1 Bückeberge, Deister).

Ganz deutlich wird der orographische Einfluß auf die Wolkenbildung bei größeren Gebirgszügen wie dem Harz. Ketten von Stauwolken entstehen hier schon weit im Vorland als Folge der an der Luvseite emporströmenden feuchten Luft (vgl. Photo 7 südl. Harz).

Eine weitere Beziehung kann bei konkaven Reliefformen wie Tälern beobachtet werden. Oft zieren einzelne kleine Cumuli oder Ketten die Hänge entlang der Oberläufe und Quellgebiete von Mittelgebirgsflüssen, wobei nicht genau zu sagen ist, ob nun der Fluß oder der angrenzende Hang Ursache der Wolkenbildung ist. Wahrscheinlich setzt die Konvektion der feuchten Luft aus dem Tal über dem Hang ein. Mittelgebirgsseen haben einen ähnlichen Effekt.

### c) Stratus- und Cirrusdecken, Wellen

Erstaunlicherweise machen sich selbst in der mittleren Troposphäre noch orographische Einflüsse bemerkbar. Im Lee der Alpen blasen anscheinend föhnartige (Ober-) Strömungen Lücken in Schichtwolken, doch auch höhere Gebirge, wie z. B. der Harz, erzeugen Löcher.

Während Gebirge die Quellwolkenbildung anregen, lösen sie demnach Schichtwolken auf (einen ähnlichen Effekt haben Inseln und Inselgruppen, wie ESSA-8-Aufnahmen beweisen).

Große Städte zeigen dagegen einen anderen Einfluß. Ihre Wärme- und Dunstglocke hat bei hohen Wolken-schichten eine Verdichtung zur Folge.

In niederen Stratusdecken treten Wellenmuster auf. Es ist anzunehmen, daß sie durch Leewirkung über hügeligem Gelände verursacht werden.

Überraschend war, daß Wellenwolken im Lee eines Mittelgebirges noch 200–300 km hinter den Rücken in 6000–8000 m Höhe, d. h. also im Cirrusniveau, entstehen (vgl. Photo 7 Niedersachsen, Magdeburger



Photo 5: Wolkenkappen über den bewaldeten Höhen des Südlichen Landrückens (im Bild unterhalb Hamburgs, das als schwarzer Fleck an der Elbemündung gekennzeichnet ist, in der Lüneburger Heide und im Wendland). Vor allem Wilseder Berg (links unterhalb der Bildmitte), Hoher Mechtin und Gohrde (rechts am Bildrand südl. der Elbe) tragen solche Kappen in 1200–1400 m Höhe. Zu beachten sind auch die Quellwölkchen über den Waldungen südöstl. des Wilseder Bergs.

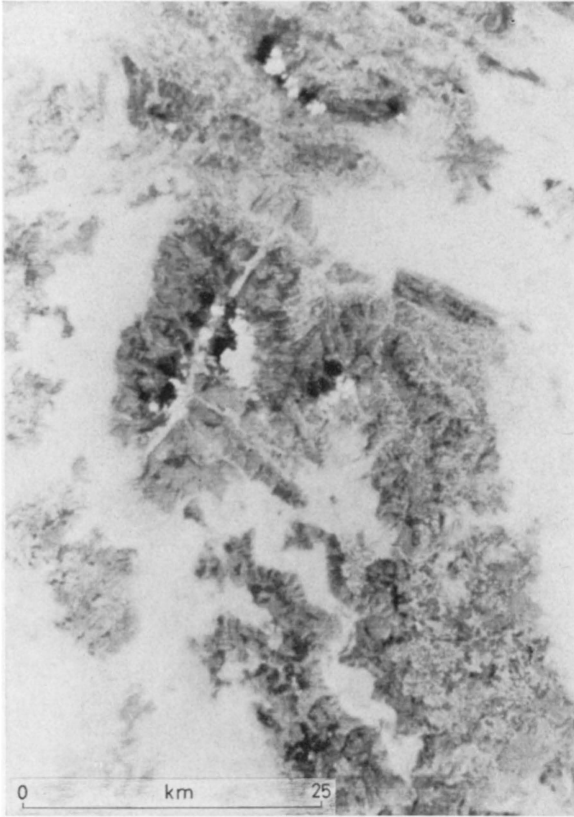
Über den Mooren Stormarns nördl. und nordwestl. von Hamburg liegen Cumulus-Reihen, über den Elbeflußmarschen Nebel (oberhalb der Bildmitte).

Ausschnitt aus ERTS E-1059-09475-6 vom 20. Sept. 72, 9.47 GMT.

Cloud caps on the forest-clad heights of the southern land ridge (in the picture below Hamburg, which is marked as a black spot at the mouth of the Elbe, in the Lüneburg Heath and in the Wendland). Wilseder Berg in particular (left below centre of picture) as well as Hoher Mechtin and Gohrde (right at the edge of the picture south of the Elbe) carry such caps at an altitude of 1200–1400 m. Notice also the little source clouds over the forest south east of the Wilseder Berg.

Above the Stormarns Moors north and north west of Hamburg there are cumulus series, over the marshes of the Elbe river fog (above the centre of the picture).

Section from ERTS E-1059-09475-6 from 20 September, 1972, 0947 GMT.



*Photo 6:* Über dem Solling liegen zwei Quellwolken-Kappen (Bildmitte). Besonders interessant ist die Wolkenkette, die der NE-SW-Talung des Solling folgt. In einem Vergleich mit Abb. 4 ist zu erkennen, daß die drei nördlichsten dieser Wölkchen über größeren Plätzen stehen, die sich vermutlich außerordentlich stark erwärmen. Über dem Hils (Bild oben) liegt eine Kette von mehreren Quellwolken. Die Windungen des Wesertals (unten), die Mulden und Senken des Weserberglands (links) und der Leinegraben (ganz rechts) sind mit Nebel gefüllt. Vergrößerter Ausschnitt aus ERTS E-1059-09482-6 vom 20. Sept. 72, 9.48 GMT.

There are two source-cloud caps above the Solling (centre of picture). The cloud chain, which follows the NE-SW direction of the Solling valleys, is especially interesting. In comparison with Fig. 4 one can recognise that the three most northerly of these little clouds are situated above larger places, which are presumably warming them up to an extraordinary degree. Above the Hils (top of picture) there is a chain of several source clouds. The meanderings of the Weser Valley (below), the synclines and depressions of the Weser Hills (left) and the Leine Rift Valley (far right) are filled with fog.

Enlarged section from ERTS E-1059-09482-6 from 20 September, 1972, 0948 GMT.

Börde). In diesem Fall liegen die Wellenlängen zwischen 30 und 60 km, was gut mit Beobachtungen in den Vereinigten Staaten übereinstimmt, wonach die Längen in der Troposphäre mit größerer Höhe und Windgeschwindigkeit zunehmen (vgl. Abschn. 3).

## 6. Anwendungsmöglichkeiten

Reliefabhängige Wolkenformen sind im Zusammenhang mit Luftströmungen über Gebirgen schon in den Dreißigerjahren untersucht worden. Nähere Untersuchungen führten jedoch erst die US-Air-Force von 1951-55 und danach die Franzosen durch, da solche Wolken u. a. eine Möglichkeit für den Flugwarndienst darstellen, Turbulenzen zu erkennen und vorherzusagen. Wie nämlich thermokonvektive Turbulenz mit typischer – jedoch nicht unbedingt reliefabhängiger – Quellwolkenbildung verbunden ist, können auch zur Erkennung der reliefbedingten Rotorenturbulenz typische Wolkenformen dienen. Dagegen versuchte man bisher vergeblich, eine eindeutige Korrelation der für den Flugverkehr besonders gefährlichen „Clear Air Turbulence“ mit bestimmten Leewolken zu finden, obwohl diese häufig bei Leewellenbildung auftritt (LINDEMANN, 1970/71).

Es war die Aufgabe, Grundlagen für die Interpretation feinauflösender Satellitenbilder zu schaffen. Da Erhebungen auf dem Festland und kleine Inseln oder Inselgruppen durch charakteristische Bewölkungsformen gekennzeichnet sind, können diese helfen, solche Relieftypen auf dem Bild zu erkennen und damit die geographische Lage eines zunächst noch unbekanntes Bildausschnittes festzustellen. Für Wettersatellitenbilder liefern sie zusätzliche Paßpunkte.

Im Falle der Verschleierung eines Bildes durch niedrigere Schichtwolken und Nebel zeigte sich, daß Erhebungen und Inseln die Schichten stellenweise auflösen oder aus ihnen herausragen. Sie sind dann als dunkle Löcher oder Punkte zu lokalisieren. Binnenseen, Städte und Industriestandorte haben eine ähnliche Wirkung.

Manchmal treten in Schichtwolken markante Wellenmuster auf, die auf darunterliegende Erhebungen hindeuten. Es wäre zu überlegen, ob solche Erscheinungsformen dem Flugverkehr in größerer Höhe in Notfällen eine Orientierungshilfe bieten können.

Für den Klimatologen und Meteorologen ist es möglich, anhand von Nebel und typischen Bewölkungsformen – auch solchen orographischen Ursprungs – auf bestimmte (z. B. konvektive, advective) Wetterlagen zu schließen.

In der Landwirtschaft sind Nebel- und Kaltluftgebiete besonders gefürchtet. Satellitenbilder, die bei LANDSAT-C, dem dritten Satelliten dieser Serie, sogar eine Auflösung von 40-50 m haben, können eine wichtige Hilfe darstellen. Bei dieser guten Auflösung sind auch für die Regionalplanung, für vorgesehene Industriestandorte, die Anlage von Siedlungen, den Bau von Autobahntrassen usw. Möglichkeiten zur Erkennung ungünstiger, nebelgefährdeter Lagen gegeben.

Der Komplex Dunst, Smog, Rauch, Aerosol und Wärme-Emission über Industriegebieten, Großstädten und Autobahnen sowie deren Einflüsse auf Nebel- und Schichtwolkenbildung ist bereits gebietsweise untersucht worden. Die Ergebnisse auf die Fläche zu extra-



*Photo 7:* Vier hohe Wellenwolken in NE-SW-Erstreckung über Niedersachsen und Teilen der Altmark (oberhalb der Bilddiagonale) sowie – schwächer ausgebildet – über Harz, Harzvorland und Magdeburger Börde (unterhalb der Bilddiagonale). Die Wolkenhöhe beträgt etwa 7000 m, die Wellenlänge 35–60 km. Die Rauchfahne bei Salzgitter (nördl. des Oberharzes) zeigt SE-Wind an.

Am südlichen Harzrand und am Brockenmassiv Staubewölkung, die sich schon im südöstlichen Vorland über der Goldenen Aue bildet. Kleinere Stauwolken stehen auch über den Südhängen von Hainleite und Dün (im Bild unten, rechts von der Mitte). Über dem Kyffhäuser liegen zwei Wolkenkappen.

Zusammengesetzter Bildausschnitt aus ERTS E-1059-09475-5 und E-1059-09482-5 vom 20. Sept. 72, 9.47 und 9.48 GMT.

Four high wave clouds extending in a NE-SW direction over Lower Saxony and parts of the Altmark (above the diagonal line of the picture) and – less distinctly formed – over the Harz, the Harz Foreland and the Magdeburger Börde (below the diagonal line of the picture). The clouds are at an altitude of about 7000 m., the wave length 35–60 km. The smoke trail near Salzgitter (north of the upper Harz) indicates winds from the SE.

At the southern edge of the Harz and at the Brocken Massif impounded clouds, which are in the process of forming in the south east foreland above the Goldenen Aue. Over the southern slopes of the Hainleite and Dün there are some smaller impounded clouds (bottom right hand centre). There are two cloud caps over the Kyffhäuser.

Composite section from ERTS E-1059-09475-5 and E-1059-09482-5, from 20 September 1972, 0948 GMT.

polieren, wäre ein wichtiges Ziel weiterer Interpretationsstudien.

### Literatur

- ALISSOW, DROSDOW, RUBINSTEIN: Lehrbuch der Klimatologie. VEB Deutscher Verlag d. Wiss., Berlin, 1956
- BARRETT, E. C.: Climatology from Satellites. Methuen & Co. LTD, London, 1974
- BLÜTHGEN, J.: Allgemeine Klimageographie. Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1966
- CONOVER, J. H.: The identification and significance of orographically induced clouds observed by TIROS satellites. Boston, Journal of Applied Meteorology, 3, 1964, pp. 226–234
- CORBY, G. A.: A preliminary study of atmospheric waves using radiosonde data. Quart. J. R. meteor. Soc., 83, 1957, 49–60
- GRIGORYEV, A. A.: Space Remote Sensing of Earth Landscapes. Ed. by mem.-corr. of the Academy of Sciences of the USSR K. Ya. Kondratjev, Leningrad, 1975
- HAEFNER, H. u. MESSERLI, B.: Erderkundung aus dem Welt- raum – Das schweizerische ERTS- u. EREP-Satelliten- projekt. In: Geographica Helvetica 1975 – Nr. 3 S. 97–100
- HAUPT, INGRID u. Mitarbeiter: Die Interpretation von Sa- tellitenaufnahmen. Das Bild der Erdoberfläche. Meteor. Abh. Bd. 73/1, Teil 1 (Sonderdruck). Institut für Meteorologie und Geophysik der FU Berlin, 1970
- HAVLIK, D.: Zur Begründung der vertikalen Niederschlags- zunahme in den Westalpen. In: Deutscher Geographentag Kiel, 21. bis 26. Juli 1969, Tagungsberichte u. wiss. Abh. Franz Steiner Verlag Wiesbaden, 1970
- HEUSLER, H.: Deutschland aus dem All. Satellitenbilder von der Bundesrepublik, der DDR, der Schweiz und Österreich. DVA, Stuttgart, 1973
- HOLMBOE, J. u. KLIEFORTH, H.: Investigations of mountain lee waves and the air flow over the Sierra Nevada. Final Report, Contract No AF 19(604)-728. 1957, 290 p.
- KÖPPEN, W.: Grundriß der Klimakunde. Walter de Gruyter & Co., Berlin u. Leipzig, 1931
- KUETTNER, J.: Moazagotl und Föhnwelle. Beitr. Phys. freie Atmos., 25, 1939a, pp. 79–114  
– : Zur Entstehung der Föhnwelle. Beitr. Phys. freie Atmos., 25, 1939b, pp. 251–299
- LEESE, JOHN A., BOOTH, A. L., GODSHALL, F. A.: Archiving and climatological application of meteorol. satellite data. ESSA Techn. Rep. NESC. 53. NOAA/NESS, Washington D.C., July 70
- LINDEMANN, C.: Leewellen in der Flugmeteorologie. Meteor. Abh. Bd. 89, Heft 4, Insitut für Meteorologie, Zentral- einrichtung 2 der FU Berlin, 1970/71
- LUDLAM, F. H.: Characteristics of billow clouds and their relation to clear air turbulence. Quart. J. R. Met. Soc., 93, 1967, pp. 419–435
- MALKUS, J. S.: Tropical rain induced by a small, natural heat source. J. Appl. Meteor., 2, 1963, 547–556
- NICHOLLS, J. M.: The Airflow over Mountains. World Me- teorological Organization Techn. Note No 127, WMO- No 355. Geneva 1973, S. 1–72
- PIAGET, A.: Meteorological Interpretation of Clouds or Cloud Systems Appearing on Pictures of the Alpine Region Received from the Earth Resources (Swiss Inst. of Meteorology). Arbeitsberichte der Schweizerischen Me- teorol. Zentralanstalt Nr. 37, Zürich, 1973. In: NASA CR – 135892. A Reproduced Copy of N 74 – 11172. Re- produced for NASA by the NASA Scientific and Tech- nical Information Facility, FFNo 672 Aug. 65
- QUENEY, P. et al.: The Airflow over Mountains. World Meteorological Organization. Techn. Note No 34. WMO- No 98. TP. 43. Geneva 1960, S. 1–135
- ROSEN, C. A.: Pattern classification by adaptive machines, Science 156, 1967, pp. 38–44
- SCHNEIDER, S.: Luftbild und Luftbildinterpretation. Lehr- buch der Allgem. Geographie, Bd. XI. Walter de Gruyter, Berlin–New York, 1974
- SCORER, R. S.: Theory of waves in the lee of mountains. Quart. J. R. meteor. Soc., 75, 1949, 41–56  
– : Theory of airflow over mountains: II – The flow over a ridge. Quart. J. R. meteor. Soc., 79, 1953, 70–83  
– : Theory of airflow over mountains: III – Airstream characteristics. Quart. J. R. meteor. Soc., 80, 1954, 417–428
- SCULTETUS, H. R.: Klimatologie. Das Geographische Semi- nar. Westermann, Braunschweig, 1969
- SIEGEL, R.: Sprache der Wolken. Kosmos, Franckh'sche Ver- lagshandlg., Stuttgart, 1949
- Täglicher Wetterbericht: Amtsblatt des Deutschen Wetter- dienstes, Offenbach, 1972 (Teil A Karten, Teil B Boden- beobachtungen, Teil C Aerolog. Beobachtungen)
- WINIGER, M.: Untersuchung der Nebeldecke mit Hilfe von ERTS-1-Bildern, 1957. In: Geographica Helvetica 1975 – Nr. 3, S. 101–104

### MITARBEITER DIESES HEFTES

Prof. Dr. HERMANN ACHENBACH, Geographisches Institut der Universität, Olshausenstr. 40/60, 2300 Kiel / ROBERT A. CAUKWELL, University of Nairobi / Prof. Dr. FRITZ FEZER, Geographisches Institut der Universität, Im Neuenheimer Feld 348, 6900 Heidelberg / Dr. PETER FRANKENBERG, Geographisches Institut der Universität, Franziskanerstr. 2, 5300 Bonn / Dr. JOSEF GAREIS, Hangstr. 9, 8752 Winzenhohl / Prof. Dr. STEFAN HASTENRATH, Dept. of Meteorology, Univer- sity of Wisconsin, 1225 West Dayton Street, Madison, Wisc. 53706, USA / Dr. EKKEHARD JORDAN, Geographisches Institut der Technischen Universität, Schneiderberg 50, 3000 Hannover / Stud. Prof. Doz. Dr. DIETER KLAUS, Geographisches Inst. der Universität, Franziskanerstr. 2, 5300 Bonn / Prof. Dr. WILHELM LAUER, Geographisches Institut der Universität, Franzis- kanerstr. 2, 5300 Bonn / AOR WOLFGANG SCHMIEDECKEN, Geographisches Institut der Universität, Franziskanerstr. 2, 5300 Bonn / Prof. Dr. E. SCHUNKE, Geographisches Institut der Universität Göttingen, Goldschmidtstr. 5, 3400 Göttingen / KLAUS WIESNER, Geographisches Institut der Universität, Im Neuenheimer Feld 348, 6900 Heidelberg / Editorial adviser for English texts: Dr. ANTHONY HELLEN, Dept. of Geography, University of Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, England.