

GEOLOGISCHE INTERPRETATION DES ERTS-2-SATELLITENBILDES DES OSTBAYERISCHEN GRUNDGEBIRGES UND ANGRENZENDER GEBIETE

von

R. BURKHARDT und G. ENDLICHER*

ZUSAMMENFASSUNG

Die lithologische Auswertung der ERTS-2-Satellitenaufnahme des ostbayerischen Grundgebirges und angrenzender Gebiete erlaubt die Kartierung von Groseinheiten. Im Hinblick auf die geologische Karte bringt sie jedoch keine Verbesserung.

Demgegenüber enthüllt die tektonische Auswertung von Photolineationen ein dichteres Bruchnetz als es bisher bekannt war. Das Grundmuster aus den signifikanten Richtungen NW-SE, NNW-SSE und ENE-WSW, das schon variszisch benutzt wurde, findet sich in den jüngeren geotektonischen Einheiten (mesozoisches Schichtstufenland und Molassebecken) wieder. Diese Tatsache und das richtungskonstante Fortsetzen einzelner Brüche durch verschiedene Stockwerke bzw. sedimentäre Deckschichten einschließlich pleistozäner und holozäner Ablagerungen wird als Anzeichen für ein Sichdurchpausen ererbter Strukturen und deren Fortbau bis in allerjüngste Zeit gewertet.

Die statistische Auswertung der Photolineationen weist auf einen mehrphasigen Beanspruchungsplan hin. Strukturentscheidend sind eine frühvariszische NW-SE-gerichtete und eine spätvariszische SE- bis SSE-gerichtete Hauptstressrichtung. Die saxonsche und känozoische Bruchtektonik ist hauptsächlich durch Vertikalbewegungen in Verbindung mit Einingungstendenzen in NE-SW-Richtung gekennzeichnet.

Das hier beschriebene Bruchsystem besitzt grundlegende Gemeinsamkeiten mit vielen bekannten auf der Erde und kann daher gut einem postulierten globalen tektonischen Standardnetz zugerechnet werden.

ABSTRACT

From ERTS-2-image of the Variscian basement of Eastern Bavaria and adjacent areas lithological units may be only roughly mapped. Improvements with respect to geological maps are not obtainable.

In structural analysis mapping of linear elements reveals in contrast a more complete pattern as can be provided by conventional methods. The photolineations generally representing fracture traces follow the preferred azimuths NW-SE, NNW-SSE and ENE-WSW. As this tectonic pattern is developed in Variscian, Mesozoic and even younger units and individual fractures do continue through these different regional units a Variscian deformation is thought to have exerted a strong control on fracturing during the Mesozoic until the Holocene.

The statistical distribution of the photolineations points out a polyphase tectonic stress. The hereby generated structures are mainly due to an early-Variscian compression of NW-SE-direction and a late-Variscian compression orientated NE-SW. The block-fault tectonics of the Mesozoic and Tertiary is in contrast characterized by vertical movements, but specific features suggest a weak compression which is directed from the NE to SW.

It has to be stated that the described fracture pattern is similar to many others on the Earth. It thus fits into the model of a global tectonic standard net.

*) Dr. Rolf Burkhardt und Dr. Gernot Endlicher, Staatliches Forschungsinstitut für angewandte Mineralogie, 8400 Regensburg, Kumpfmühler Str. 2

1. EINFÜHRUNG

1.1 Möglichkeiten und Grenzen der Auswertung

Mit den von ERTS-2 gelieferten Satelliten-Aufnahmen eröffnen sich dem Geologen neue Dimensionen bei der geologischen Kartierung. Der synoptische Blick über Areale von etwa 34 000 km² ermöglicht die Korrelierung regionaler Karten, das Erkennen von geologisch-tektonischen Zusammenhängen und liefert nicht zuletzt neue Informationen. Somit stellt die Satellitenbild-Auswertung zum einen eine wertvolle Ergänzung der konventionellen Methoden (Feldkartierung, Luftbild und Seismik) und eine gewisse Kontrolle der auf diese Weise erhaltenen Daten dar, zum zweiten sind die ERTS-Aufnahmen Informationsträger erster Ordnung in der Form von Erst- und Vorerkundung für gezielte detaillierte Untersuchungen auf der Erdoberfläche. So können beispielsweise ohne jegliche Kartenunterlage rasch und kostensparend kleinmaßstäbliche geologische Karten unbekannter Gebiete hergestellt werden.

Die bisherigen Erfahrungen lassen aber auch die beim gegenwärtigen technischen Entwicklungsstand bestehenden Grenzen der Auswertung deutlich werden. Der Informationsgehalt der Bilder darf nicht als konstante Größe betrachtet werden, sondern hängt von zahlreichen Faktoren ab (s. 1.2 und z.B. HELMCKE, LIST und ROLAND 1976). Ergebnisse können deshalb nur auf vergleichbare Gebiete (gleiche oder sehr ähnliche Lithologie, tektonische Struktur, Vegetation und Klima) übertragen werden. Eine optimale Datenausbeute und großmaßstäbliche geologische Karten (ab 1 : 250 000) erhält man nur in Verbindung mit dem Luftbild und der Geländekartierung.

In vielen geowissenschaftlichen Teilgebieten werden die multispektralen Satellitenaufnahmen bereits für praktische Aufgabenstellungen eingesetzt. In der Meeresforschung z.B. zur Beobachtung rezenter geodynamischer Prozesse wie Sedimenttransport im Küstenbereich und Wattverlagerungen sowie bei der Kartierung von Schifffahrtsstraßen (HOPPE 1976), in der Ingenieurgeologie beispielsweise zur Ortung von Bruchstrukturen und deren Ausdehnung oder zur Registration von Veränderungen junger Sedimentunterlagen, in der Hydrogeologie zur Kartierung von Gewässernetzen und Herstellung von Grundwasserkarten, in der Bodenkunde zur Kartierung von Bodeneinheiten und zur Erfassung ihrer Beziehungen zu lithologischen Einheiten und strukturellen Elementen und in den Forschungszweigen Regionale Geologie, Tektonik, Lagerstättenforschung und Vulkanologie zu geologisch-tektonischen und geologisch-vulkanologischen Kartierungen.

1.2 Geologische Informationen von ERTS-Aufnahmen und Auswertung

Von den in den verschiedenen Spektralbereichen grün/gelb, orange/rot, purpur/infrarot und infrarot (Band 4, 5, 6, 7) aufgenommenen Schwarz-Weiß-Bildern haben sich die Infrarotaufnahmen als am geeignetsten für die geologische Interpretation herausgestellt. Lithologische Einheiten und tektonische Strukturen zeichnen sich auf ihnen am differenziertesten ab, da unter Eliminierung von Dunst die Atmosphäre besser durchdrungen und Vegetationseinflüsse teilweise zurückgedrängt werden. Zudem nähert sich das Infrarotbild dem Thermalbereich, so daß schon Temperaturunterschiede des Bodens, die z.B. auf einem unterschiedlichen Durchfeuchtungsgrad beruhen können, sich als Grautonunterschiede bemerkbar machen.

Je nach Aufgabenstellung werden auch Falschfarben-Bilder verwendet. Diese sogenannten „Color-Compositen“ erhält man dadurch, daß drei der vier Schwarz-Weiß-Bänder mit ver-

schiedenen Farbfiltern auf Farbfilme aufgenommen werden (s. ZAHN, 1977). Hierbei verlieren die Bilder zwar an Schärfe, sie können aber aufgrund der größeren Farbtionskala mehr Informationen liefern. Auf Bildern in der Kombination grün, rot, infrarot erscheinen in bestimmter Filterkombination z.B. Gesteinsarten grün bis braungrün, eine üppige Vegetation in hellem Rot, klares Wasser schwarz, sedimentreiche Flüsse kräftig blau und Städte blau bis blaugrau. Dieser Informationen bedient sich die angewandte Geographie und viele Forschungszweige der Geologie. Hier ist beispielsweise eine weitergehende Differenzierung von kartierbaren Homogenitätsbereichen möglich.

Die Erfassbarkeit von lithologischen Einheiten und tektogenen Strukturen ist zunächst von den photomechanischen Aufnahmedaten und dem Aufnahmemaßstab abhängig.

Die Erkennbarkeit d.h. Kartierbarkeit von Gesteinseinheiten ist jedoch in entscheidendem Maß eine Funktion der Aufschlußverhältnisse und einer Reihe sich störend auswirkender Faktoren. Hierher gehören die atmosphärischen Einflüsse wie Bewölkung, Dunst und Schneebedeckung, die klimabedingte Dichte der Vegetation, der Grad der Verwitterung und die menschlichen Eingriffe wie intensive Besiedelung und land- und forstwirtschaftliche Nutzung. In ariden Klimazonen werden daher immer kleinere lithologische Einheiten kartierbar sein als in humiden, und unter ungünstigen Bedingungen wird eine lithologische Auswertung sogar ganz unmöglich sein.

Die Ansprache bzw. Unterscheidbarkeit von verschiedenen Gesteinstypen erfolgt anhand charakteristischer Grau- bzw. Farbtöne oder von typischen Kombinationen von Grau- bzw. Farbtönen, von Reliefunterschieden sowie anhand der Gewässernetzdichte und -form.

Im Unterschied zur Lithologie werden tektonische Bruchsysteme im allgemeinen durch oben genannte Faktoren weniger maskiert. Ihre Auswertung führt daher auch in gemäßigten Klimazonen zu guten Ergebnissen. Denn eine tiefgründige Verwitterung verschleiert zwar einerseits weitgehend den Zusammenhang zwischen geologischem Untergrund und der Landschaftsform, präpariert aber andererseits Störungszonen heraus.

Bei der tektonischen Analyse werden nur tektogene Elemente erfaßt, und zwar steilstehende Lineamente, Störungen und Klüfte und an diese Brüche gebundene Gänge, die sich als lineare Elemente oder Lineationen durch Grautonunterschiede (unterschiedliche Durchfeuchtung aufgrund morphologisch-lithologischer Merkmale), Wechsel in der natürlichen Vegetation und sehr häufig durch morphologische Kennzeichen wie Ausrichtung von Tälern und des Gewässernetzes sowie durch Reliefbegrenzungen (z.B. von Bergrücken, Steilrändern usw.) abbilden.

Unter günstigen Bedingungen können nicht nur der regionale Störungsplan, sondern auch charakteristische Struktureinheiten kleiner Dimensionen auskartiert werden. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, daß sich nicht alle Bruchformen im Gelände optisch abzeichnen und somit die Bruchsysteme nicht vollständig erfaßt werden. Besonders hervorgehoben wird von allen Auswertern, daß das Erkennen des relativen Bewegungssinns entlang von Störungen vom Satellitenbild aus meist unmöglich ist.

Die Kartierung der ERTS-Aufnahme des ostbayerischen Grundgebirges und angrenzender Gebiete erfolgte auf einem auf etwa 1 : 500 000 vergrößerten Bild. Die tektonischen Elemente wurden als Lineationen eingezeichnet (Anl. 3) und in Form eines Sammelgrammes (Abb. 2) dargestellt. Lithologisch ausgewertet wurde die Infrarot-Aufnahme (Band 7) und ein Farbfoto (s. Anl. 1).

2. LITHOLOGISCHE AUSWERTUNG DER SATELLITEN-AUFNAHME

2.1 Auswertung der Infrarot-Aufnahme

Bei dem Versuch, lithologische Einheiten gegeneinander abzugrenzen, hat sich gezeigt, daß es in kleinen Bereichen unmöglich ist, Gesteinsarten aufgrund ihrer Grauwerte zu unterscheiden. In der Kombination der Grauwertabstufungen (unterschiedliche Durchfeuchtung, natürlicher und künstlicher Bewuchs) mit der Oberflächentextur (lithologisch-tektonisch-morphologische Elemente) läßt sich bei einer groben Schematisierung der Grenzziehung eine Untergliederung in folgende geologisch-lithologische Großeinheiten (Anl. 3) durchführen.

- Einheit 1: Sie umfaßt das Kristallin der Böhmisches Masse im Nordosten, das sich aufgrund einer gerichteten Textur im Ostteil und etwas hellere Grauwerte im Westteil in zwei durch eine Bruchzone getrennte Einheiten unterteilen läßt. Der Vergleich mit der geologischen Karte (s. Anl. 4) zeigt eine annähernde Übereinstimmung des Westteils mit dem schwach metamorphen böhmischen Algonkium und der östlichen Einheit mit dem Moldanubikum Böhmens. Aufgrund einer geringeren Durchfeuchtung des Kristallins (folgende Feststellung gilt auch für die Einheiten 2 und 3) erscheinen waldlose Gebiete heller als vergleichbare Areale des mesozoischen Schichtstufenlandes im Westen, wo wiederum das Gewässernetz besser entwickelt ist. Ein ähnliches Bild liefert allerdings auch die sandige Molasse.
- Einheit 2: Nach Süden und Südosten schließt sich eine schmale, durch dunkle Grautöne charakterisierte, schwach bogenförmige Zone mit NW-SE-Streichen an, die im Süden von der Pfahlzone und im Südwesten von der Fränkischen Linie begrenzt wird. Diese Einheit ist weitgehend identisch mit dem Moldanubikum Nordostbayerns nördlich des Bayerischen Pfahls. Das Naabgebirge zwischen Luhelinie und Pfahlstörung (vgl. Anl. 4) wäre jedoch im Unterschied zur Geländeauswertung eher der Großeinheit 3 zuzuordnen.
- Einheit 3: Die Randzone des ostbayerischen kristallinen Grundgebirges grenzt fast ausschließlich mit mechanischen Kontakten an die übrigen kartierten lithologischen Großeinheiten. Sie entspricht der geotektonischen Baustufe der Blastomylonite und Migmatite (STETTNER, 1975). Eine Unterscheidung zwischen variszischen Graniten und Gneiszügen ist, wie in Einheit 2, nicht möglich. Die Erklärung hierfür dürfte in primär geringen Bewachsungsunterschieden, aber vor allem in künstlichen Eingriffen zu suchen sein. Eine intensivere tektonische Überprägung als in Einheit 2 ist jedoch klar zu erkennen.
- Einheit 4: Von den genannten lithologischen Homogenitätsbereichen ist das mesozoische Schichtstufenland am Ostrand der ERTS-Aufnahme durch flachere Grautöne und eine gewisse Texturlosigkeit sehr gut abgrenzbar. Das beste Beispiel hierfür ist der vom Westen her in das Kristallin vorstoßende Graben von Schmidgaden und Bodenwöhr.
- Einheit 5: Sie ist mit dem Molassebecken identisch, welches jedoch noch differenzierter kartiert werden kann. Die tertiären Molasserücken (5a) lassen sich nämlich recht gut von den pleistozänen und holozänen Talfüllungen (5b) unterscheiden.

2.2 Auswertung des Farbfotos

Benutzt man die Farbkomposition (Anl. 1) zur lithologischen Interpretation, so können Einheiten unterschieden werden (Abb. 1), die sich weitgehend mit den oben beschriebenen (Anl. 3) decken. Eine detailliertere Untergliederung ist jedoch im Bereich des Molassebeckens möglich. Die Kriterien zur Differenzierung sind die Farbtöne und ihre Verteilung, die über die Eigenschaft der vom geologischen Untergrund und der topographischen Höhenlage abhängigen Böden und das hieraus entstandene Wald-Wiesen-Acker-Verhältnis Aufschluß geben.

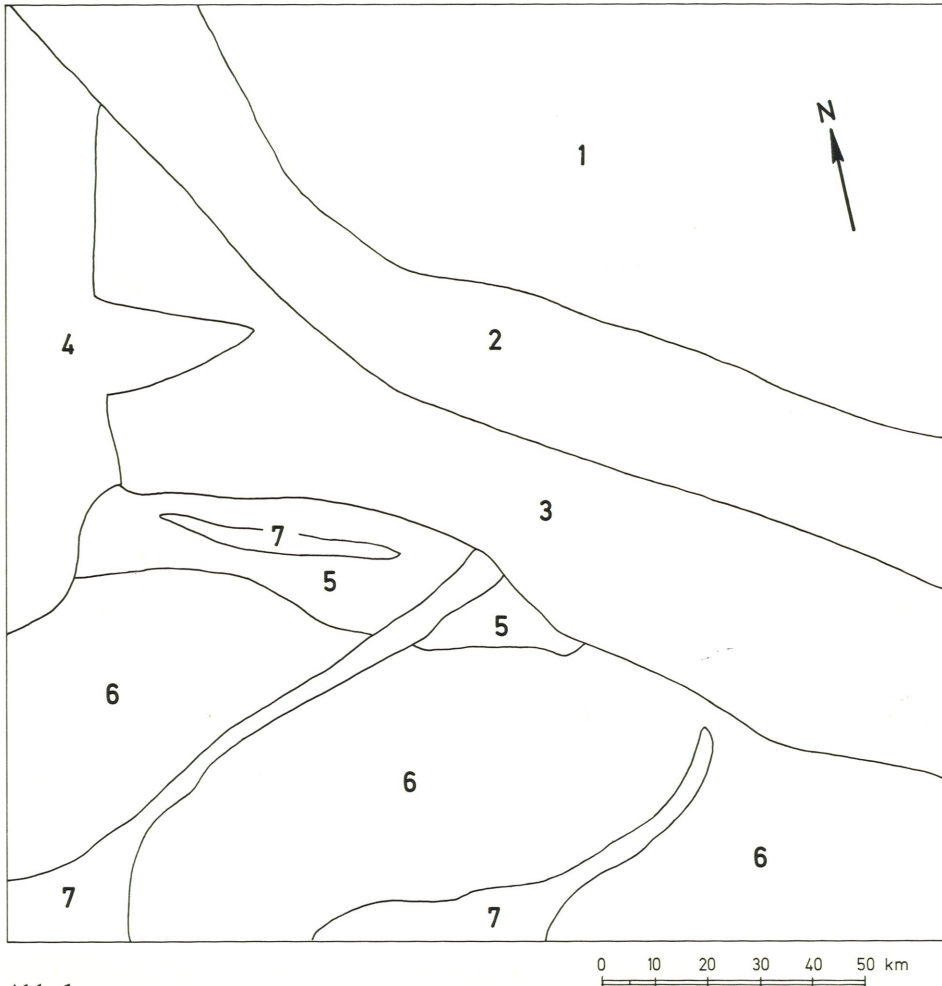


Abb. 1:
Geologisch-lithologische Einheiten des Ostbayerischen Grundgebirges und angrenzender Gebiete, kartiert nach dem Farbfoto in der Anlage (Anl. 1).

- | | |
|---|--|
| 1 $\hat{=}$ Oberproterozoikum und böhmisches Moldanubikum | 5 $\hat{=}$ Donauebene und tiefere Molasse |
| 2 $\hat{=}$ Bayerisches Moldanubikum | 6 $\hat{=}$ höhere Molasse |
| 3 $\hat{=}$ variszisch überprägtes Moldanubikum | 7 $\hat{=}$ Talauen |
| 4 $\hat{=}$ mesozoisches Schichtstufenland | |

Die unterschiedenen Einheiten zeichnen sich durch folgende Charakteristika aus.

- Einheit 1 $\hat{=}$ Oberproterozoikum und Moldanubikum (böhmischer Anteil):
Mittlere Höhenlage;
Untergrund: Phyllite, Tonschiefer, Glimmerschiefer, Gneise, wenig Granite;
Böden: i.w. Ton- und Lehmböden, daher gutes Ackerland; viel Acker, weniger Wiesen, wenig Wald; Äcker mittlere Durchfeuchtung (Ton) mittelbraune Farbe, Wiesen hellgrün, Wald dunkles Braungrün (Nadelwald).
- Einheit 2 $\hat{=}$ Moldanubikum von Nordostbayern:
Große Höhenlage;
Sandig-lehmige Böden; viel Wald (gerne auf Granit), weniger Wiesen, Ackerland fast fehlend; Acker blaßbraun (trockener Boden), Wiesen und Weiden hellgrün, Wald dunkles Braungrün (Nadelwald).
- Einheit 3 $\hat{=}$ Variszisch überprägtes Moldanubikum:
Mittlere Höhenlage;
Untergrund: tektonisch zerrüttete Granite und Gneise; lehmiger Sandboden; viel Wiesen, weniger Wald, weniger Äcker; Äcker: trockener sandiger Boden blaßbraun, Wiesen hellgrün, Wald dunkles Braungrün (Nadelwald).
- Einheit 4 $\hat{=}$ Mesozoisches Schichtstufenland:
Mittlere Höhenlage;
Untergrund: überwiegend Karbonatgesteine; Böden: trockene, tonig-lehmige, teils sandige Braunerde, daher viele Äcker, Wald zurücktretend (auf sandigen Böden und Malmkalken), wenig Wiesen; Waldfarbe dunkles Grün mit wenig Braun (Laubwald), Wiesen blaßgrün, Äcker sehr hell braun.
- Einheit 5 $\hat{=}$ Höhere Molasse:
Mittlere Höhenlage;
Untergrund: Schotter, Sande, Tone und Mergel; lehmige Sandböden; aufgrund der höheren Lage weniger durchfeuchtet als 6); überwiegend Äcker und Wiesen etwa im Verhältnis 1:1, weniger Wald; Ackerfarbe blaßbraun, Wiesen hellgrün, Wald dunkles Braungrün (Nadelwald).
- Einheit 6 $\hat{=}$ Donauebene und tiefere Molasse:
Niedrige Höhenlage;
Untergrund: Schotter, Sande und Lößlehme; Böden: sandige Lehmböden, mäßige Durchfeuchtung, sehr fruchtbar; überwiegend Äcker, wenig Wiesen, nahezu waldlos; Acker blaßbraun, Wiesen hellgrün, Wald dunkles Braungrün (überwiegend Nadelwald).
- Einheit 7 $\hat{=}$ Talauen (Donau, Isar, Inn):
Niedrige Höhenlage;
lehmig-sandige bis lehmige Auenböden; viel Wiesen, weniger Äcker, etwas Wald; Ackerfarbe bedingt durch die Durchfeuchtung dunkles Braun, Wiesen dunkleres Hellgrün, Wald dunkelgrün mit wenig Braun (Mischwald).

Aus diesem tabellarischen Überblick läßt sich hinsichtlich der Erfassung lithologischer Einheiten feststellen, daß der Gesteinsaufbau nicht so sehr am natürlichen Bewuchs erkenntlich ist, sondern vielmehr indirekt über die durch Lithologie und Höhenlage bedingte künstliche Nutzung.

Abschließend muß festgehalten werden, daß die lithologische Auswertung der ERTS-Aufnahme zwar die Kartierung von Großeinheiten erlaubt, aber letztlich die geologische Karte nur in schematisierender Weise bestätigt.

3. TEKTONISCHE AUSWERTUNG DER SATELLITEN-AUFNAHME

3.1 *Verteilungsmuster der Photolineationen und ihre geomechanische Bedeutung*

Im folgenden soll versucht werden, Aussagen darüber zu erhalten, in wieweit sich anhand von ERTS-Aufnahmen der bekannte regionale Bauplan vervollständigen läßt, also neue tektonische Elemente bzw. strukturelle Zusammenhänge erkannt werden können, in welcher Weise sich verschiedene tektonische Stockwerke durch ihr Bruchmuster unterscheiden bzw. gegenseitig beeinflussen und ob daraus eine Mehrphasigkeit bruchhafter Verformung ableitbar ist.

Der Vergleich der in der ERTS-Aufnahme kartierten Photolineationen (Anl. 3) mit den Bruchstrukturen der geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000, den geologischen Kartenblättern 1 : 25 000 und der tektonischen Karte 1 : 100 000 des Bayerischen Waldes (TROLL, 1973) zeigt aufgrund analoger Streichrichtung zu bekannten Störungsrichtungen klar an, daß die meisten Lineationen als Bruchformen zu verstehen sind. Die Länge der kartierten Brüche schwankt zwischen 2,4 und 147 km, woraus hervorgeht, daß in erster Linie die regional bedeutsamen Strukturen erfaßt wurden. Auffällig ist in diesem Zusammenhang einmal die größere Störungsdichte, d.h., daß Störungen kartiert wurden, die an der Erdoberfläche dem Geologen verborgen blieben, und zum zweiten die Existenz von Zonen unterschiedlicher Störungsdichte. Das Verteilungsbild läßt eine Häufung und enge Scharung von Bruchstrukturen zwischen Pfahlstörungszone und Donaurandbruch erkennen, während das nordöstlich angrenzende Moldanubikum und die ungefaltete tertiäre Molasse Gebiete minimaler Belegung sind. Dieser Tatbestand liegt nicht nur in den Aufschlußverhältnissen und den erwähnten Störfaktoren begründet, sondern hat auch genetische Ursachen. Er beweist nämlich, daß die groß angelegte NW-SE verlaufende Bruchzone eine Lineamentstruktur darstellt und läßt auch darauf schließen, daß die verschiedenen Stockwerke einen unterschiedlichen Überformungsgrad aufweisen.

Die Ausrichtung der Lineationssysteme folgt wenigen bestimmten Richtungen, die in allen geotektonischen Einheiten, aber mit voneinander abweichender Verteilungshäufigkeit wiederzufinden sind.

In der Zone 1 (nach der Untergliederung STETTNER's 1975, vgl. Anl. 4) und in dem böhmischen Anteil am Moldanubikum dominieren NNW-SSE (Böhmerwald-Streichen, Böhmischer Pfahl) – und NE-SW-Strukturen vor NW-SE- und ENE-WSW-gerichteten.

Die Zone 2 ist charakterisiert durch NNW-SSE-, ESE-WNW-, und untergeordnet ENE-WSW-Brüche. Nach Süden nimmt der Anteil hercynisch streichender Brüche zu.

In der Zone 3 sind vor allem die NW-SE-, NNW-SSE- und die NE-SW-Richtung auffällig ausgeprägt. Die E-W-Elemente lassen sich in ein ENE-WSW- und ein komplementäres ESE-WNW-System auftrennen. Die N-S-Richtung tritt so gut wie nicht in Erscheinung.

Ein besonderes Merkmal der Zone 4 sind die E-W orientierten Photolineationen. Mit Annäherung an die Keilbergstörung, die als Grenze zwischen den beiden Einheiten fungiert, häufen sich NW- bis NNW-streichende Brüche.

Die Zone 5 zeigt im wesentlichen eine Vergitterung NW-SE bis NNW-SSE- und NE-SW-streichender Systeme, bringt also in abgeschwächter Form das Muster der Zone 3.

Das Grundmuster dieser bruchhaften Verformung ist nachweislich schon variszisch benutzt worden (FISCHER 1939, 1959, 1967; STETTNER 1971, 1972, 1975). Regional können die Strukturen daher als Formelemente der variszischen Verfaltung behandelt werden. So die NE-SW-Systeme im Regensburger Wald, generell in der Oberpfalz und im Proterozoikum als Faltenachsen nachzeichnende Elemente, im südlichen Bayerischen Wald als ac-Elemente, die NW-SE-Strukturen in erstgenannten Gebieten als ac-, und im südlichen Bayerischen Wald als B-parallele Lineationen. Den um E-W und N-S streichenden Bruchsystemen kommt in Bezug auf die Verfaltung die Funktion von Schersystemen zu, wobei sich die E-W gerichteten Bruchlinien über das Variszikum hinaus im Abstand von 20 bis 30 Kilometern zu subparallelen Zonen zu formieren scheinen.

Man darf auch annehmen, daß ein Teil der kartierten Photolineationen nicht tektonischen Brüchen gleichzusetzen ist, sondern anderen linearen Elementen wie Gesteinsgrenzen und dem Trend von Faltenachsen. Dies dürfte für manche NE-SW-Lineationen (B-Achsen und Gneis-Granit-Kontakte) und die N-S-Richtung (Pinitporphyrgänge) im Regensburger Wald zutreffen und gilt in markanter Weise für die durch Blastomylonite als Scherzone gekennzeichnete Rundinger Zone. Bemerkenswert ist auch, daß sich die Hauptschieferung regionaler Verfaltung südlich des Hohen Bogen als Photolineation abbildet.

Die Tatsache, daß dieses varistische Verteilungsmuster weitgehend mit demjenigen im Mesozoikum, in der ungefalteten Molasse und sogar in pleistozänen Ablagerungen (s. unten) übereinstimmt und die Beobachtung, daß Bruchsysteme bestimmter Richtungen, vor allem der NW-SE- und der NE-SW-Richtung, die verschiedenen und unterschiedlich alten geotektonischen Einheiten unverändert durchsetzen, deutet auf ein Fortleben und Durchpausen ererbter Brüche in die jüngeren auflagernden Deckschichten im Zuge der saxonischen und känozoischen Bruchtektonik. Lineationen in den jüngeren geologischen Einheiten sind ebenfalls nicht nur als Bruchlinien, sondern wohl oft nur als deren Spuren, z.B. als Flexuren und Verbiegungen aufzufassen. Typische Beispiele hierfür sind das heutige Isartal, das parallel zum pleistozänen verläuft und sich im Kristallin als Störung fortsetzt, der Landshut-Neuöttinger-Abbruch und die NW-SE- und NE-SW gerichteten Lineationen südlich Regensburg, die geradlinig Mesozoikum und Tertiär durchschneiden.

Wie bereits angedeutet, konnten durch die Satelliten-Aufnahme eine Reihe von neuen Bruchlinien nachgewiesen werden. Im Kristallin sind es neben gering dimensionierten Parallelstörungen zu bereits bekannten Störungszonen wie Donaurandbruch und Pfahlzone Systeme, die bisher kaum erkannt oder nur vermutet wurden.

Im Regensburger Wald sind dies NE-SW-Strukturen, im Passauer Wald NE-SW- bis ENE-WSW- und hercynisch streichende Systeme sowie die Fortsetzung des Aicha-Halser-Nebenpfahls nach Südosten. Auch die bisher vermutete Störungszone von St. Engelmar und die morphologische Stallwanger Furche bilden sich als 160°-streichende Bruchzonen ab.

Im südlichen Moldanubikum (Zone 2 der STETTNER'schen geotektonischen Gliederung) zeichnen sich vor allem ENE-Systeme ab.

Als bisher nicht kartierte Bruchlinien finden sich im Mesozoikum westlich Regensburg NW-SE-Lineationen, die mit Annäherung an das Regental in die N-S-Richtung einbiegen. Es wird sichtbar, daß die Keilberg- und die Naabgebirgsrandstörung zu einer groß angeleg-

ten Bruchzone aus mehreren Einzelabscherungen gehören, die teilweise morphologisch wirksam werden (Verlauf des Regen vor der Einmündung in die Donau). Diese Störungszone läßt sich auch durch die mesozoische Bucht von Schmidgaden verfolgen.

Überraschend ist auch das strukturelle Bild des Molassebeckens. Hier ist der ERTS-Aufnahme anhand neuer Photolineationen ein Störungsmuster zu entnehmen, das grundlegende Gemeinsamkeiten mit demjenigen variszischer geotektonischer Einheiten aufweist. Zu den auffälligsten Bruchlinien bzw. Spuren von Brüchen gehören das Isar-Lineament, das sich im Kristallin fortsetzt, die Große-Vils-Lineation, die bereichsweise deren Verlauf bestimmt, das Neumarkt St. Veit–Passau–Lineament, ebenfalls mit Fortsetzung im Moldanubikum und die Aufgabelung der Landshut–Neuöttinger–Bruchzone mit Kontinuität nach Südosten. Von besonderer geomechanischer Bedeutung sind die im Raume südlich Regensburg sichtbaren NE-SW-Spuren (Saal a. d. Donau – Köfering) und Donaurandbruch-parallele Lineationen in pleistozänen Lößlehmen und Niederterrassenschottern (Barbing – Straubing). Denn diese Lineamentsysteme beweisen das früher erwähnte Fortleben alter Strukturen bis in das Holozän, ein Phänomen, das von Satellitenbildern aus des öfteren beobachtet wurde (KRONBERG 1976, ROLAND 1976). Als Mechanismus ist eine direkte Projektion tiefergelegener Brüche in die Decksedimente infolge anhaltender tektonischer Bewegungen bzw. tektonischer Nachbewegungen anzunehmen. Nach MÜHLFELD (1968) können aber auch „differentielle Setzungen“ in dem über einer Störung abgelagerten Sedimentpaket zu derselben Erscheinung führen.

3.2 Statistische Auswertung und Beanspruchungsplan

Bei den strengen geometrischen Beziehungen des tektonischen Grundmusters drängt sich natürlich die Frage nach dem Beanspruchungsplan auf. Hierzu kann die statistische Richtungsverteilung Auskunft geben, bei der die Richtung und die Lineationslänge in Form einer Rose dargestellt werden (Abb. 2).

Das Sammeldiagramm zeigt 3 Hauptmaxima und zwar bei 125° , 75° und 165° . Das heißt, die beiden letzteren bilden ein orthogonales System, zu welchem die 125° -Richtung in einem Winkel um 45° orientiert ist. Sehr schwach ausgeprägt ist das auf der 125° -Richtung senkrecht stehende System 35° streichender Lineationen.

Um aus dem Bruchmuster auf die entsprechenden Druck- und Zugbeanspruchung schließen zu können, muß man die Verfaltung während der variszischen Gebirgsbildung in die Überlegungen miteinbeziehen. Wenn auch gleiche B-Achsenrichtungen zeitlich unterschiedlichen Deformationsplänen angehören können (FISCHER & TROLL 1973), so lassen sich nach dem Geländebefund doch im wesentlichen zwei Faltungsphasen feststellen: eine ältere NW-SE-gerichtete Einengung, die einen NE-streichenden Faltenbau erzeugte und eine jüngere SW-gerichtete mit hercynisch verlaufenden Faltenachsen. Eine jüngste E-W-Einengung kommt im interpretierten Gebiet nicht zur Auswirkung.

Zu beiden Beanspruchungsplänen ist im Diagramm eine Zugehörigkeit erkennbar. In Bezug auf die 1. Verformung entspricht die 125° -Richtung der Orientierung der ac-Flächen (Querklüfte), das orthogonale System den Scherflächen in HKO-Indizierung (Winkel von 45° zur Einengungsrichtung) und die schwache 35° -Richtung den meist untergeordnet entwickelten bc-Flächen. In Bezug auf die 2. Verfaltung, deren 90-gradige Winkeländerung der Druckrichtung nach dem Mechanismus der Umkehr der Hauptnormalspannung des 1. Beanspruchungsplanes zu erklären sein dürfte (s. BOCK, 1975), entsprechen die 75° - und 165° -Richtungen ebenfalls HKO-Flächen, während der 125° -Richtung eine bc- und der 35° -Richtung eine ac-Indizierung zukommt.

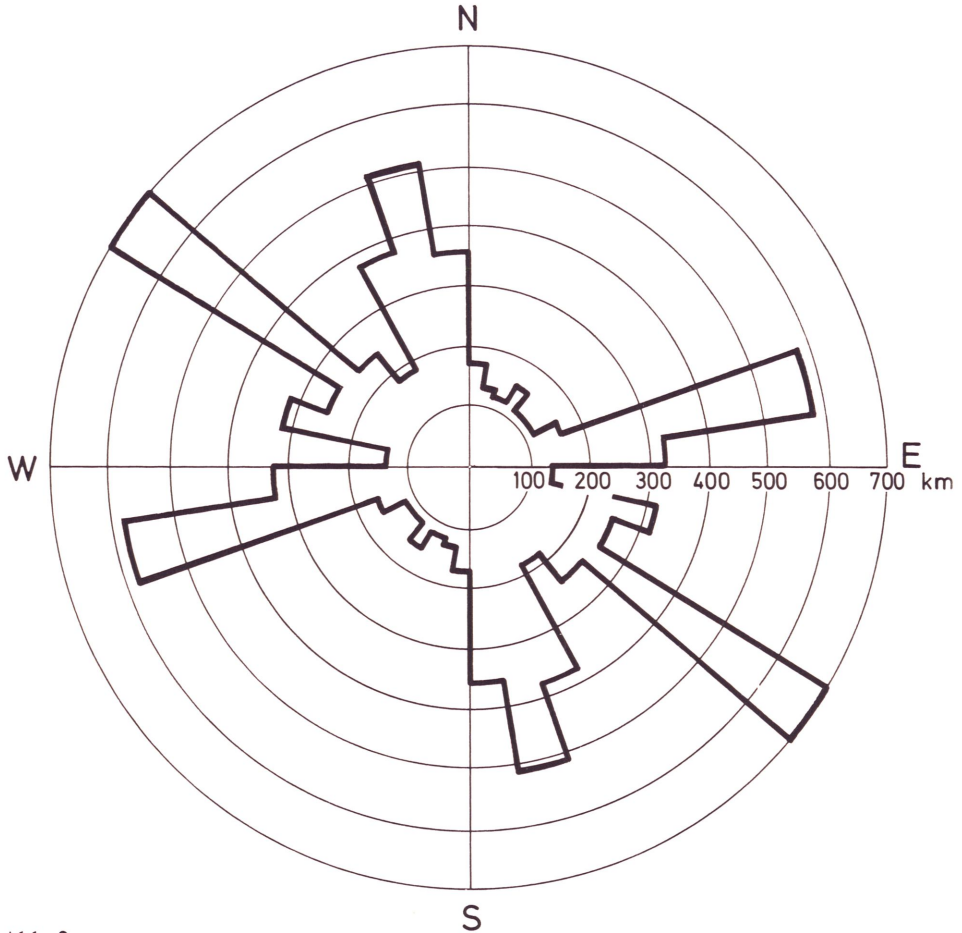


Abb. 2:
Sammeldarstellung der Photolineationen
271 Lineationen, Gesamtlänge 4908 km

Die Südvergenz der hercynisch streichenden Falten weist zugleich auf einen stärker SE-gerichteten Druck hin, der auch in höherem Maße zu Abscherungen längs von Faltenscheiteln und somit zu einer kräftigeren Entwicklung von bc-Flächen geführt haben dürfte.

Auf die orogenetischen Bewegungen im Mesozoikum und im Känozoikum, die mit der Entwicklung der alpin-karpatischen Geosynklinale in engem Zusammenhang stehen, reagierte dann das konsolidierte Grundgebirge in Gestalt von Bruchtektonik. Alte Trennflächen wurden wieder neu belebt und benutzt und zwar vorwiegend mit vertikalen Versätzen wie beispielsweise die Donaurandbrüche, die Keilberg-Störung und die Pfahlverwerfung. Hierbei schlägt sich besonders die 125°-Richtung als Maximum nieder, teils aufgrund der Vorzeichnung, teils aufgrund einer SE-Einengung, die sich aus der tektonisch bedingten Morphologie des Vorderen Bayerischen Waldes (FISCHER, 1959), der generellen Einfallsrichtung hercynisch streichender Störungen und dem Aufschiebungscharakter der Pfahlstörung – z.B. von Kristallin auf Mesozoikum (vgl. ENDLICHER, 1977) – ableiten läßt-

4. SCHLUSSWORT

Die vorliegende erste Interpretation der ERTS-2-Aufnahme hat deutlich die Möglichkeiten und Grenzen der geologischen Auswertung aufgezeigt. Neuerkenntnisse im Hinblick auf lithologische Differenzierungen sind grundsätzlich im untersuchten Gebiet nicht zu gewinnen. Dagegen liefert die Erforschung der Bruchsysteme durch die Entdeckung bislang unbekannter Strukturen und von regionalen strukturellen Zusammenhängen ein vollständigeres Bild. Vor allem können wichtige Beobachtungen zur Geomechanik von bruchhaften Verformungen gemacht werden, wie z. B. das Auftreten von Brüchen in jüngsten Sedimenten gezeigt hat.

Solche regionalen Untersuchungen sind aber letztlich nur weitere Schritte zur Erforschung der gesamten Erdkruste und damit auch zur Klärung geodynamischer Probleme. Sie müssen daher miteinander verglichen, korreliert und zusammenfassend gedeutet werden. In diesem Zusammenhang ist besonders erwähnenswert, daß gleiche oder ähnliche Verteilungsmuster von Bruchstrukturen wie sie hier beschrieben werden weltweit zu beobachten sind (THAMM 1969). Sie können, nicht zuletzt mit der Hilfe von Satellitenaufnahmen, einem globalen Beanspruchungsplan (ROLAND 1976) zugerechnet werden.

KARTEN

Geologische Karte von Bayern 1:500 000 mit Erläuterung, 2. Aufl., Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1964

Geologische Karten von Bayern 1:25 000 mit Erläuterungen

Blatt Nr. 7037 Kelheim	Blatt Nr. 6540 Oberviechtach
Blatt Nr. 7038 Bad Abbach	Blatt Nr. 6440 Moosbach
Blatt Nr. 6938 Regensburg	Blatt Nr. 6441 Eslarn
Blatt Nr. 6838 Regenstauf	Blatt Nr. 6340 Vohenstrauß
Blatt Nr. 6839 Nittenau	Blatt Nr. 6945 Zwiesel
Blatt Nr. 6640 Neunburg v. Wald	Blatt Nr. 6438 Schnaittenbach
Blatt Nr. 6539 Nabburg	

Geological Map of Czechoslovakia 1:500 000, Geological Survey of Czechoslovakia, Prag 1968

Tektonische Karte des Bayerischen Waldes 1:100 000, (Nordwestteil und Südostteil), zusammengestellt von G. TROLL 1973, zur Arbeit FISCHER, G. & TROLL, G. (1973)

LITERATUR

BOCK, H. (1975) Simulation tektonischer Restspannungen in einer Finite-Element-Berechnung. Z. dt. geol. Ges., 126, 101-119, Hannover

ENDLICHER, G. (1977) Die Erzhäuser Arkosen von Pingarten („Pingartener Porphyry“), sedimentpetrographische Merkmale und tektonische Lagerungsverhältnisse. Geol. Bl. NO-Bayern, 27, 1, 36-49, Erlangen

- FISCHER, G. (1939) Über das Grundgebirge der Bayerischen Ostmark. Die Gneise nördlich des Bayerischen Pfahls. Jb. Preuß. Geol. Landesanst. (1938), 59, 289-352, Berlin.
- . (1959) Der Bau des Vorderen Bayerischen Waldes. Jber Mitt. oberrh. geol. Ver., N.F. 41, 1-22, Stuttgart
- . (1967) Über das Moldanubikum der Bayerischen Oberpfalz und des Bayerischen Waldes. 16. Sonderheft der Zeitschrift "Der Aufschluß: „Zur Mineralogie und Geologie der Oberpfalz“, 27-111, Heidelberg
- FISCHER, G. & TROLL, G. (1973) Bauplan und Gefügeentwicklung metamorpher und magmatischer Gesteine des Bayerischen Waldes. *Geologica Bavarica* 68, 7-44, München
- HELMCKE, D., LIST, F. & ROLAND, N.W. (1976) Geologische Interpretation von Luft- und Satellitenbildern des Tibesti-Gebirges (Zentral-Sahara, Tschad). *Geol. Jb.*, A 33, 89-115, Hannover
- HOPPE, P. (1976) Die Verfolgung küstendynamischer Prozesse an der deutschen Nordsee mit Hilfe von Satellitenbildern. *Geol. Jb.*, A 33, 49-87, Hannover
- KRONBERG, P. (1976) Bruchstrukturen des Rheinischen Schiefergebirges, des Münsterlandes und des Niederrheins – kartiert in Aufnahmen des Erderkundungs-Satelliten ERTS-1. *Geol. Jb.*, A 33, 37-48, Hannover
- MÜHLFELD, R. (1968) Photogeologische Beobachtungen zum Sedimentaufbau und zur Tektonik im ostbayerischen Molassebecken zwischen Landshut und Eggenfelden. *Geol. Jb.*, 85, 285-298, Hannover
- ROLAND, N.W. (1976) Tektonische Standardnetze und Beanspruchungspläne für Erde und Mars. *Geol. Rdsch.* 65, H. 1, 17-34, Stuttgart
- STETTNER, G. (1971) Orogene Schollentechnik und granitoide Mobilisation im Westteil der Böhmisches Masse. *Geol. Rdsch.*, 60, 1465-1487, Stuttgart
- . (1972) Zur geotektonischen Entwicklung im Westteil der Böhmisches Masse bei Berücksichtigung des Deformationsstils im orogenen Bewegungssystem. *Z. dt. geol. Ges.*, 123, 291-326, Hannover
- . (1975) Zur geologisch-tektonischen Entwicklung des Oberpfälzer Grundgebirges. *Der Aufschluß, Sonderband 26 (Oberpfalz)*, 11-38, Heidelberg
- THAMM, N. (1969) Great circles – the leading lines for jointing and mineralization in the upper earth's crust. *Geol. Rdsch.*, 58, 3, 677-696, Stuttgart
- ZAHN, U. (1977) Luftbilder von der Oberpfalz. Teil II: LANDSAT-2-Satellitenbild von Ostbayern, Westböhmen und Nordwest-Oberösterreich. Aspekte der geographischen Interpretation. *Acta Albertina Ratisbonensia*, 37-1977, Regensburg