

GEOMORPHOLOGISCHE KARTOGRAPHIE IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: NORMUNG UND WEITERENTWICKLUNG

Mit 1 Abbildung, 2 Photos und 3 Beilagen (V, VI, VII)

JÜRGEN SPÖNEMANN UND FRIEDMUT LEHMEIER

Summary: Geomorphological mapping in the Federal Republic of Germany: standardization and further development

After a short recapitulation of the essentials of geomorphological mapping a critical analysis of the cartographic concept of a modern geomorphological map of the Federal Republic of Germany („Geomorphologische Karte der Bundesrepublik Deutschland - GMK“) is given. In this context the presentation of morphographic details, especially slope curvature, is discussed.

In principal, a dual-sheet system of geomorphological mapping is required. Following the proposal of HAGEDORN & LEHMEIER (1983), and completing their morphogenetic version, a corresponding morphographic mapping method is presented. Its aim is to connect the effect of plastic shading with detailed morphometric description. Contours and selected topographic elements serve as the map base. As general form characteristics the slope categories of inclination and vertical curvature are displayed by raster screens, combining grey tone values and different raster types. In addition, slope discontinuities and special form elements are considered. Emphasizing culmination lines and points, higher ranking land forms will be expressed. By differentiation of the referring symbols the relative height of ridges and hills is to be considered.

Giving a precise picture of the relief, the morphographic map meets the requirements of environmental planning, and due to the restricted use of symbols and colours it can serve as a base map for further thematic information.

Einleitung

Anfang der 70er Jahre konstituierte sich eine Gruppe deutscher Geomorphologen in dem anerkanntesten Bestreben, für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland einheitliche Richtlinien geomorphologischer Kartierung zu erarbeiten (GÖBEL et al. 1973, LESER u. STÄBLEIN 1975). Es wurde ein Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft konzipiert (BARSCH 1976, LESER 1976a), um Normen für ein geomorphologisches

Kartenwerk zu entwickeln und dadurch den Anschluß an internationale Entwicklungen zu finden. Dieses verdienstvolle Unternehmen ist mit jetzt vorliegenden 24 Karten 1:25.000 (GMK 25) und 6 Karten 1:100.000 (GMK 100) weitgehend verwirklicht, so daß diskutiert werden kann, ob die Konzeption sich bewährt hat und als Grundlage für weitere geomorphologische Kartierungen dienen sollte (vgl. dazu auch LESER 1984).

Trotz vieler einschlägiger Veröffentlichungen ist es in diesem Zusammenhang notwendig, sich in einem knappen historischen Rückblick auf die Grundzüge der Entwicklung geomorphologischer Karten zu besinnen. Seit Beginn einer methodischen Erprobung geomorphologischer Karten, die mit der Herausgabe eines Morphologischen Atlases durch PASSARGE (1914) einsetzte, werden zwei Hauptwege kartographischer Umsetzung verfolgt:

1. Eine umfassende Darstellung des geomorphologischen Merkmalskomplexes in einem Mehrblattsystem;
2. eine auswählende Darstellung von Geländeformen mit Betonung der Morphogenese in einem Einblattsystem.

Während der erste Weg von PASSARGE (1912, S. 303-313) begründet wurde, legte gleichzeitig GEHNE (1912) eine Konzeption vor, bei der ausgewählte morphographische und morphogenetische mit weiteren, geomorphologisch relevanten Sachverhalten in einem Blatt kombiniert wurden. Karten dieses Typs dominierten in den folgenden Jahrzehnten, und auch die zweite Lieferung des Morphologischen Atlases (RATHJENS 1920) behielt von der ursprünglichen Mehrblattkonzeption nur noch (neben einer geologischen Teilkarte) eine Teilkarte der Gesteinsresistenz und eine „Morphologische Karte“ mit einer Formenauswahl unter vorherrschend morphogenetischem Aspekt bei. „Geomorphologische Karten“ in diesem Sinne galten bis in die jüngste Vergangenheit als Hauptziel geomorphologischer Kartie-

rung (vgl. BARSCH 1969, S. 26; BRUNOTTE et al. 1980).

Seit rund drei Jahrzehnten wenden sich Geomorphologen praxisbezogenen Fragestellungen zu. Für die geomorphologische Kartographie ergab sich daraus die Konsequenz, morphographische Merkmale i.w.S. (einschließlich der Morphometrie) verstärkt zu berücksichtigen. Die methodischen Grundlagen dafür sind vor allem von RICHTER (1962), GRIMM et al. (1964) und KUGLER (1964, 1965 a u. b, 1968, 1974) systematisch erarbeitet worden. Auch die aktuellen Prozesse der Oberflächenformung (Morphodynamik) und die von ihnen ausgehenden Gefahren wurden in eine praxisbezogene geomorphologische Kartierung einbezogen. Die mit den Ansprüchen der Praxis ebenso wie mit dem wissenschaftlichen Fortschritt gewachsene Vielfalt darzustellender Sachverhalte (Morphographie, Morphodynamik, Morphogenese, Morphochronologie) erschwert die kartographische Darstellung so, daß sich die Forderung nach einer Mehrblattkonzeption zwangsläufig wieder einstellte (z.B. LESER 1972, S. 160; BRUNOTTE et al. 1980; s.a. FINKE 1980, S. 79). In anderen Geowissenschaften wird sie bereits praktiziert (vgl. HINZE 1983, BENZLER u. MÜLLER 1983). Zugleich erhob sich erneut die Frage nach der inhaltlichen Dominante geomorphologischer Karten. Während ANNAHEIM (1956, S. 316) sehr entschieden formulierte: „Die Grundkarte kann nur eine morphogenetische und keine morphographische sein. . .“ stellte LESER (1967, S. 163) fest: „ohne morphographische Basis ist keine morphogenetische Karte möglich - es sei denn, sie soll hypothetisch bleiben“.

Kritische Anmerkungen zum GMK-Schwerpunktprogramm

Die beiden Fragen: „Ein- oder Mehrblattsystem?“ und „Dominanz von Morphographie oder Morphogenese?“ bestimmten die Diskussion um die Entwicklung geomorphologischer Karten, als das DFG-Schwerpunktprogramm zur geomorphologischen Detailkartierung entworfen und verwirklicht wurde. Es berücksichtigte die Grundsätze der IGU (vgl. DEMEK 1976), außerdem aber auch das Kartierungssystem von KUGLER (1974), um nicht nur möglichst präzise morphogenetische Aussagen zu machen, sondern diese auf die Basis von exakten morphographischen und substantiellen Daten zu stellen (LESER 1976 b). Trotz der großen Komplexität des damit vorgesehenen Inhalts mit acht Informationsschichten (vgl. STÄBLEIN 1980) fiel die Entscheidung für das Einblattsystem der kartographischen

Darstellung. Die damit verbundenen Probleme der Übersichtlichkeit, Lesbarkeit und Nutzungsmöglichkeit sind von HAGEDORN u. LEHMEIER (1983) ausführlich diskutiert worden (vgl. auch LESER 1984). Die nach dem Programm unvermeidbare inhaltliche Überfrachtung geht vor allem zu Lasten der morphographischen Sachverhalte. Die Darstellung der Hangneigungen durch Linien- und Kreuzraster ist nur bei Detailbetrachtung mühsam zu erkennen und ergibt keinen Reliefeindruck, der eine synoptische Kartenbetrachtung erlauben würde. Die Darstellung der Wölbungen durch Liniensignaturen, die mit zahlreichen anderen Liniensignaturen konkurrieren, bietet bei konsequenter Ausführung ein verwirrendes Bild. Durch die Verwendung von Flächenfarben für Prozeß- und Strukturbereiche werden morphogenetische Sachverhalte mit mehr oder weniger hypothetischem Charakter optisch wieder so gewichtet, daß sie im Kartenbild klar dominieren (s.a. GRIMMEL u. SCHIPULL 1983, S. 23).

KUGLER (1965 a) hatte schon bei der Grundlegung seiner (durch das GMK-Schwerpunktprogramm in wesentlichen Teilen übernommenen) Konzeption ein Mehrblattsystem vorgesehen, wobei ein „Normalblatt“ Morphographie und rezente Formung und ein Spezialblatt die Morphogenese darstellen. In gleiche Richtung zielen die Schlußfolgerungen von HAGEDORN u. LEHMEIER (1983), die nach kritischer Durchmusterung bisher gedruckter Karten des GMK-Schwerpunktprogramms nur bestätigt werden können. Eine aus Anlaß des GMK-Schwerpunktprogramms entstandene, aber an anderer Stelle veröffentlichte Karte von GRIMMEL u. SCHIPULL (1983) enthält die Trennung in eine morphographische Hauptkarte und zwei Nebenkarten mit Darstellung des Substrats, der Morphodynamik und der Morphogenese und bietet damit einen anderen Weg der inhaltlichen Trennung und Entlastung.

Erfreulicherweise beruht das GMK-Schwerpunktprogramm auf einer „Baukastenlegende“ (vgl. STÄBLEIN 1980) und ist damit so flexibel, daß die Umstellung auf ein Zweiblattsystem oder (in Abhängigkeit vom Forschungsstand) auf ein System mit Haupt- und Nebenkarten ohne Veränderungen des Karteninhaltes möglich wäre. Es sei darauf hingewiesen, daß auch die „Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:25.000“ in unterschiedlicher Form (im Sinne dieser Vorschläge) erscheint. Eine solche Umstellung würde Weiterentwicklungen erlauben, die fachlichen und kartographischen Fortschritten Rechnung tragen könnten. Vor allem wäre damit der Weg für eine breite Nutzung durch die Praxis eröffnet, die allein wohl die Chance bieten kann,

das Werk des Schwerpunktprogrammes systematisch fortzuführen (vgl. FINKE 1980, S. 81).

In einem Punkt wird eine Änderung der bisherigen Legenden-Konzeption des GMK-Schwerpunktprogramms unausweichlich sein: Die quantitative Wiedergabe der Reliefwölbungen, genauer der Vertikalwölbungen des Reliefs, durch Liniensignaturen ist aus mehreren Gründen verfehlt:

1. Die Wiedergabe eines (in der Projektion) flächenhaften Sachverhalts durch Liniensignaturen widerspricht dem kartographischen Grundprinzip, daß Objekt und Signatur sich in ihrem Raumcharakter (unter Berücksichtigung des Maßstabs) entsprechen sollen (vgl. z.B. LOUIS 1957, IMHOF 1962). Nur Wölbungen mit kleinen Radien, also Kanten oder Kehlen, zwingen zur Wiedergabe durch Liniensignaturen. Im übrigen ist durch die Beschränkung auf zwei Wölbungsklassen (abweichend vom Vorschlag KUGLERS 1964) der Informationsgehalt nicht nur bescheiden (LESER 1980, S. 13; FINKE 1980, S. 77 u. Tab. 1), sondern ohne sachliche Bedeutung. Bemerkenswerterweise ist die Zuordnung der Signaturenbreite im Vergleich mit der ursprünglichen Konzeption vertauscht worden: Eine breite Linie für Wölbungen mit kleinem Radius, eine schmale für Wölbungen mit großem Radius. Mit dieser Änderung wird berücksichtigt, daß kleine Wölbungsradien vielfach markantere Formen bilden als große – was aber keineswegs die Regel ist! Es wird damit bereits deutlich, wie unscharf die quantitative Beziehung zwischen Objekt und Symbol ist. Die Wiedergabe von Vertikalwölbungen (mit ausreichend großem Radius) durch Liniensignaturen vermittelt weder einen Reliefeindruck, noch ermöglicht sie eine sinnvolle kartographische Quantifizierung.
2. Der Wölbungsradius erlaubt ohne Berücksichtigung der Segmentgröße keine eindeutige Aussage über das zugehörige Formelement (KUGLER 1974, Abb. 24; LESER u. STÄBLEIN 1975, S. 27). Unterschiedliche Segmente desselben Kreisbogens repräsentieren selbstverständlich ganz unterschiedliche Reliefformen, wie die Kombination einer konvexen und einer konkaven Wölbung in Abb. 1c, d und e (mit Radien von 30–75 m) demonstriert. Auch zur Reliefgliederung durch Kanten und Kehlen (s.u.) kann der Wölbungsradius nur unter Berücksichtigung der Segmentlänge, ausgedrückt durch den Grenzkrümmungswinkel (KUGLER 1974, Abb. 24 und 25), zur Definition herangezogen werden. In der GMK 25 des DFG-Schwerpunktprogramms ist dem von LEH-

MEIER (1981) durch Darstellung der an die Wölbung angrenzenden Hangneigung Rechnung getragen worden. Die Wiedergabe der Vertikalwölbung allein durch ihren Radius ist also im Ansatz verfehlt.

3. Gleich große Segmente eines Kreisbogens, also identische Wölbungen, haben je nach Lage im Kreis (im Raum) unterschiedliche Extremwerte der Neigung, wie Abb. 1a–e ($R = 300$ m) und 1c u. d ($R = 30$ m) veranschaulichen. Auch dieser Umstand ist im GMK-Schwerpunktprogramm vereinzelt zu berücksichtigen versucht worden, und zwar durch die Unterscheidung der Wölbungen von Hängen und Rücken (FEZER u. FRIEDLIN 1985) und durch Beschränkung auf Wölbungen von Rücken und Senken (HABBE 1985). Zwar kann diese zusätzliche Unbestimmtheit der allein über ihren Radius dargestellten Wölbung durch Darstellung der Neigung eingeschränkt, aber nicht grundsätzlich behoben werden, weil die Neigungsklassen zu weit sind. Der an sich evidente, aber in dem hier angesprochenen Zusammenhang besonders deutlich zutage tretende inhärente Zusammenhang zwischen Vertikalwölbung und Neigung schließt eine kombinierte quantitative Darstellung beider Reliefmerkmale grundsätzlich aus.

Die angeführten Argumente lassen nur eine Schlußfolgerung zu: Nicht nur ist eine quantitative Darstellung der Vertikalwölbung durch ihre Radien verfehlt, sie ist überhaupt nicht möglich.

Es kann kein perfektes, alle Wünsche und Erfordernisse berücksichtigendes Konzept geomorphologischer Karten geben. Das GMK-Schwerpunktprogramm hat Normen für ein geomorphologisches Kartenwerk formuliert, die sich im wesentlichen bewährt, aber in den Musterblättern auch Schwächen offenbart haben. Auf ihre Behebung sollte nicht „aus Gründen kleinlichen Prestigedenkens“ (LESER 1972, S. 159) verzichtet werden.

Vorschläge für ein Zweiblattsystem

Zur Darstellung der Morphogenese in einem Zweiblattsystem haben HAGEDORN u. LEHMEIER (1983, Abb. 1) ein Beispiel vorgelegt, das die einschlägigen Legendenteile des GMK-Schwerpunktprogramms berücksichtigt. Die Freiheit, Flächenfarben und Raster nur zur Kennzeichnung der Morphogenese kombinieren zu können, gibt erst die Möglichkeit einer ausreichend detaillierten Differenzierung. Mit der Unterscheidung von 50 Prozeßkombinationen

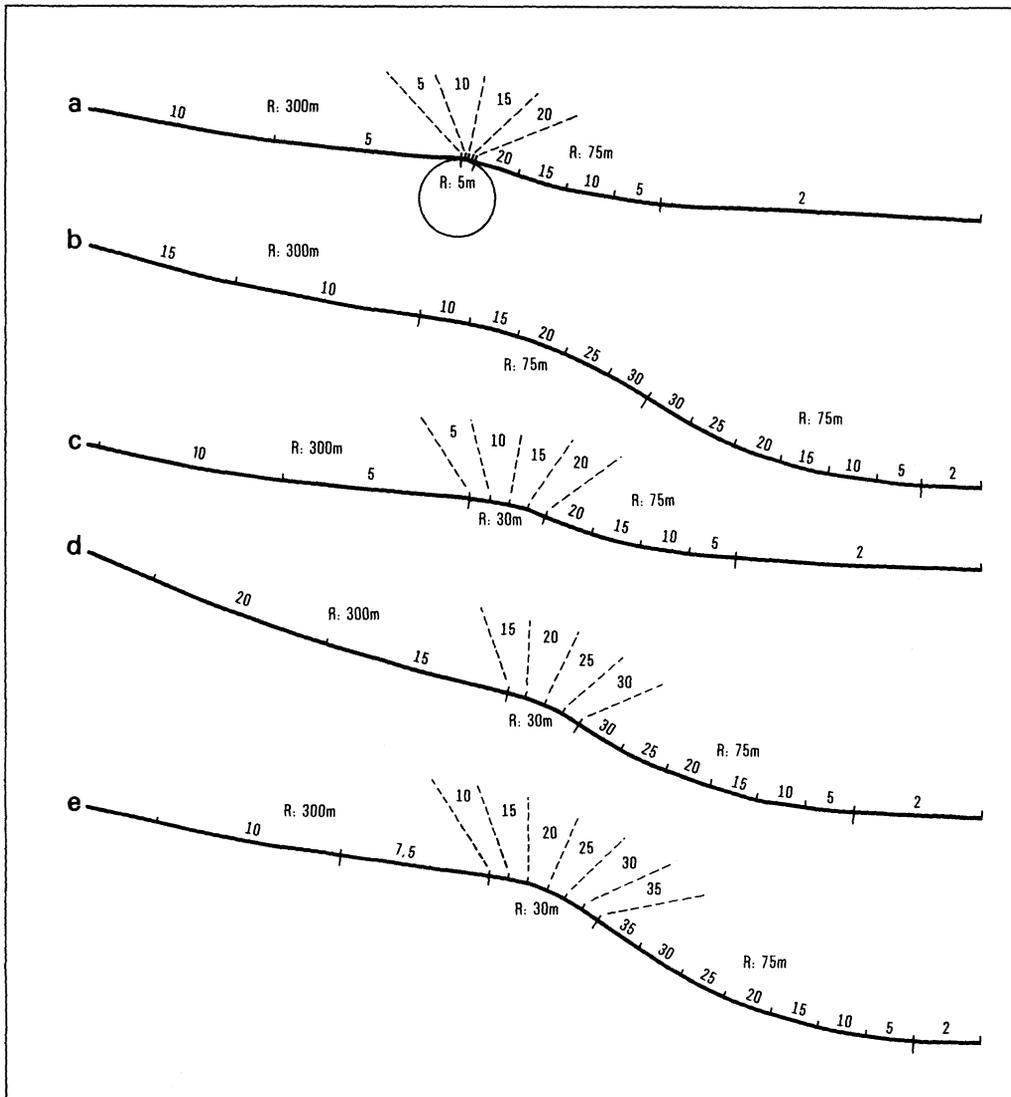


Abb. 1: Beziehungen zwischen Wölbungsradien (R) und Hangneigung (in Grad)
Relation between radius of curvature (R) and slope inclination (in degrees)

und zusätzlicher Berücksichtigung endogener Steuerungsfaktoren kann dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis weitgehend Rechnung getragen werden.

Ein kartographisches Konzept zur Darstellung komplementärer morphographischer Merkmale (morphometrische eingeschlossen) sollte außer einer möglichst plastisch wirkenden Wiedergabe des Reliefs zwei weitere Grundforderungen erfüllen:

1. Die Berücksichtigung von Reliefelementen und -komponenten, die als Ergebnis der Reliefformung in direkter Beziehung zur Morphodynamik, Morphogenese und Morphochronologie ste-

hen und darin dem rein wissenschaftlichen Anspruch der Geomorphologie und ihrer Nachbarwissenschaften Rechnung tragen (vgl. LESER 1984, S. 172);

2. eine Klassifizierung dieser Reliefelemente und -komponenten, die den Bedürfnissen der Praxis (vgl. KUGLER 1963, FINKE 1980) soweit wie möglich direkt, aber als Basis spezieller Kartierungen auch indirekt gerecht wird.

Diese Forderungen werden vom Konzept KUGLERS (1965a und b, 1968) ebenso wie vom morphographisch relevanten Legendenteil des GMK-Schwerpunktprogramms weitgehend erfüllt (vgl.

STÄBLEIN 1980, BARSCH u. MÄUSBACHER 1980). Die folgenden Vorschläge knüpfen daran an.

Die Erdoberfläche kann, wie RICHTER (1962) gezeigt hat, vollständig durch ihre Wölbung und Neigung beschrieben werden. Diskontinuitäten trennen distinkte Reliefbestandteile, deren Anordnung und Kombination zu einer Folge von Einheiten wachsender Komplexität führt. *Formelemente* sind gleichsinnig konkav oder konvex gewölbte oder gestreckte Flächen ohne Diskontinuitäten („Hangfacetten“, „Hangsegmente“). Als *Diskontinuitäten* werden Wölbungswechsel und sprunghafte Änderungen der Neigung bezeichnet (s.u.). Kombinationen von Formelementen werden als *Formkomponenten* bezeichnet (Beispiele: Talhang, Riedel, Terrasse). Eine weiterführende Hierarchie mit Formindividuen (Einzelformen), Formkompositen (Leitformen) und Formassoziationen ist von SPÖNEMANN (1984, Table 1) vorgeschlagen worden, kann aber hier außer acht bleiben. Sie hat im Hinblick auf eine maßstabsbedingte Generalisierung Bedeutung.

Die Darstellung der Formelemente verlangt die Wiedergabe der Neigung und der Wölbung, wobei Horizontal- und Vertikalwölbung zu unterscheiden sind. Die Isohypsendarstellung des Reliefs berücksichtigt alle drei Merkmale, ist aber bekanntlich im Hinblick auf eine unmittelbare Erkennbarkeit der Neigung und der Vertikalwölbung unbefriedigend. Wegen der inhaltlichen Korrespondenz von Neigung und Vertikalwölbung wurde nach einer kartographischen Lösung gesucht, beide Merkmale miteinander zu verknüpfen. Wie oben ausgeführt, kann bei einer quantitativen Klassifizierung des einen Merkmals, der Neigung, das andere nur qualitativ wiedergegeben werden. Eine kartographische Möglichkeit bot sich mit der Verwendung von unterschiedlichen Strukturrastern, die sowohl die Unterscheidung von (vertikal) konkaven, konvexen und gestreckten Hangflächen, als auch durch eine Tonwertabstufung die Wiedergabe von Neigungsklassen erlauben. Die Auswahl der Strukturraster ist zunächst ein graphisches Problem. Viele Raster – das gilt auch für die Linien- und Kreuzschraffuren – sind zwar leicht zu unterscheiden, kontrastieren aber optisch so stark, daß das Kontinuum der Reliefformen aufgehoben erscheint (vgl. STÄBLEIN 1980, Abb. 6). Andererseits müssen trotz eines homogenen Gesamteindrucks die Rasterelemente klar erkennbar sein, damit eine Unterscheidbarkeit gewährleistet ist. Ein weiteres Problem ist kartentechnischer Art, denn die Strukturraster müssen so beschaffen sein, daß sie eine klar definierte und vergleichbare Tonwertskala herzustellen erlauben.*

Nach zahlreichen Versuchen wird ein Strukturraster der Firma POLICROM (Bergamo/Italien), der sog. Brickraster, als Positiv und als Negativ für (vertikal) konvexe bzw. konkave Hangflächen sowie das Negativ eines Kreuzschraffurrasters für gestreckte Hangflächen verwendet. In einem weiteren Schritt werden diese Raster mittels eines feinen Punktrasters selbst noch einmal aufgerastert, so daß eine Tonwertskala zur Unterscheidung der Neigungsklassen entsteht. Um eine gute Lesbarkeit zu erreichen, werden Extremwertstufen der Neigung ohne Wölbungsdifferenzierung wiedergegeben, zumal die sachliche Bedeutung der Vertikalwölbung in diesen Neigungsbereichen ($< 2^\circ$ und $> 35^\circ$) ohnehin stark zurücktritt. Sie werden durch Punktraster angepaßter Tonwerte dargestellt. Auf diese Weise können je nach Bedarf 5 bis 7 Neigungswertstufen berücksichtigt werden. Der angestrebte optische Eindruck der Reliefdarstellung soll, wenn auch notwendigerweise vergrößernd, dem der Böschungsschummierung vergleichbar sein.

Bei der Kartierung der Vertikalwölbung zusammengesetzter Reliefformen, beispielsweise zertalter Rückenhänge, tritt die Frage auf, welche Vertikalwölbung kartiert werden soll: die des Rückenhangs oder die der Talhänge. Grundsätzlich wird in solchen Fällen jene Wölbung kartiert, die die Bewegungsrichtung des potentiellen Oberflächenabflusses angibt. Der konvexe Oberhang eines Tales auf dem vertikal konkav gewölbten Rückenhang wäre also als konvex gewölbt darzustellen.

Eine prinzipiell gleichartige Darstellung der Wölbungen haben GRIMMEL u. SCHIPULL (1983) angestrebt. Ihre kartographische Lösung ist unbefriedigend, weil sie nur die konvexen Wölbungen mit einer Schraffur darstellen – und dies in einer Weise, die den übrigen Karteninhalt weitgehend erdrückt.

Das Kontinuum der Oberfläche erfährt eine Gliederung in distinkte Reliefeinheiten durch Diskontinuitäten. Außer dem Wechsel der Wölbungsart werden darunter sprunghafte Änderungen der Neigung verstanden, die durch Wölbungsradius und Neigungsunterschied definiert sind. Bezogen auf das mitteleuropäische Berglandrelief scheinen uns Werte einer Hangneigungsänderung von $> 10^\circ$ bei einem Wölbungsradius von < 100 m (Photo 1) geeignet zu sein, Diskontinuitäten für die Darstellung im mittleren Maßstab zu definieren (vgl. KUGLER 1974,

* Die kartographisch-technische Realisierung unserer Konzeption wäre ohne die kreative Mitwirkung der Kartographen H. WAHLE und F. SAILER, denen wir verbindlich danken, nicht möglich gewesen.



Photo 1: Kante mit einem Wölbungsradius von $R = 92$ m bei einer Hangneigungsänderung von 11°
Convex slope break with a radius of curvature of $R = 92$ m at a difference of inclination of 11°

Abb. 25; die Schwellenwerte variieren in Abhängigkeit vom Landschaftstyp). Die konvexe Diskontinuität wird als Kante, die konkave als Kehle bezeichnet. Die Darstellung der Kanten und Kehlen erfolgt durch Liniensymbole in Anlehnung an die Legende des GMK-Schwerpunktprogramms (vgl. Beilage VII).

Diskontinuitäten an Formelementen oder -komponenten mit entgegengesetzter (resp. umlaufender) Exposition, nämlich Scheitellinien, Taltiefenlinien und Gipfelpunkte, markieren höherrangige Relief-einheiten und sind zur Kennzeichnung des Reliefgrundrisses geeignet. Durch Band- und Punktsignaturen gestufter Tonwerte werden die Formen nach ihrer relativen Höhe differenziert (vgl. auch BOLLMANN u. UTHE 1983, in einer thematischen Computerkarte). Die Verwendung eines Doppelbandes erlaubt die Darstellung der Asymmetrie bezüglich der relativen Höhe und die Unterscheidung von gerundeten und zugeschärften Scheiteln. Mit der Signatur für Gipfelpunkte wird analog verfahren. In der Definition werden zugeschärfte Scheitel bzw. Gipfel durch einen maximalen Wölbungsradius von 10 m bei einem minimalen Krümmungswinkel (i.S.v. KUGLER 1974, Abb. 24) von 25° gegen gerundete abgegrenzt (vgl. Photo 2).

Die Tiefenlinien als Linien oberirdischer Abflußkonzentration werden durch die Liniensignaturen des Gewässernetzes berücksichtigt, die nach der Art des Abflusses (perennierend, periodisch, episodisch) differenziert werden. Für die größeren Vorfluter kann das Gefälle abschnittsweise durch Zahlenwerte in Promille angegeben werden.

Die vorgestellte Kombination von Flächen-, Linien- und Punktsymbolen erlaubt unter quantitativer und qualitativer Differenzierung der wesentlichen Merkmale eine vollständige Wiedergabe der

Reliefgestalt. Einschränkungen ergeben sich selbstverständlich aus dem Maßstab. Der Lesbarkeit wegen werden durch die Flächensignaturen nur Areale mit einer Mindestbreite von 2 mm dargestellt. Daraus resultieren Grenzwerte für die Basisbreite kleinerer Reliefeinheiten, die als Kleinformen bezeichnet und durch eigene Symbole dargestellt werden – soweit möglich, grundrißähnlich. Mit Ausnahme derjenigen für Kuppen und Rücken gleichen oder ähneln die Symbole denen der Legenden des GMK-Schwerpunktprogramms.

Die hier vorgelegte Konzeption erlaubt ohne weiteres eine Generalisierung in der Spanne von 1:10.000 bis 1:100.000, wie die Kartenbeispiele (Beilagen V, VI, VII) erkennen lassen. Der Ausschnitt im Maßstab 1:100.000 zeigt, daß die morphographischen Hauptmerkmale der GMK 100-Legende (FRÄNZLE et al. 1979) berücksichtigt werden. Konsequenter als im GMK-Schwerpunktprogramm wird eine Gleichartigkeit der kartographischen Gestaltung gewahrt, und die Generalisierung beschränkt sich auf den Inhalt.

Für die ganze Maßstabsfolge wird aus der Topographischen Karte außer der Isohypsendarstellung nur eine Auswahl der Situationsdarstellung übernommen, um das Kartenbild frei von verzichtbarem Ballast zu halten. So wird auf die Wiedergabe der „Bodenbewachung“, der Verwaltungsgrenzen und der sog. Einzelzeichen ganz verzichtet. In welchem Maße diese für geomorphologische Karten bedeutungslosen Inhalte das Kartenbild belasten, zeigen eindrucksvoll die Abbildungen 2–4 bei STÄBLEIN (1980), in denen selbst bei einer Beschränkung auf eine Informationsschicht die topographische Grund-



Photo 2: Grenzbeispiel von zugeschärftem und abgerundetem Scheitel: Querwölbungsradius 10 m (vgl. Schablone)

Threshold example of angular crest to rounded crest; Radius of curvature 10 m (cf. white model)

lage die thematische Kartenaussage fast völlig unterdrückt. An Kartenschrift werden die Namen der wichtigsten Gewässer und die Landschaftsnamen der wichtigsten Oberflächenformen aufgenommen. Der Kartenrahmen enthält Grad- und Gitternetz.

Die sparsame Verwendung kartographischer Darstellungsmittel, insbesondere die Beschränkung auf eine Flächenfarbe sowie die weitere Beschränkung auf Schwarz, Grau und Blau hat folgende Vorteile:

- Die inhaltliche Aufnahmekapazität der Karte ist trotz ihres vielfältigen morphographischen Informationsgehaltes bei weitem nicht erschöpft. Die Karte kann farbig gestaltete nicht-morphographische Inhalte zusätzlich aufnehmen, wie Substrat und aktuelle Prozesse und entspricht dann dem „Normalblatt“ KUGLERS (1965a) (vgl. Beilage V). Flächenfarben können selbstverständlich kartensblattdeckend nicht eingesetzt werden, weil Graustufen und Farben in der Überdeckung sich gegenseitig stören und verfälschen.
- Die Karte kann als morphographische Grundlage der Darstellung solcher Themen dienen, für die qualitative und quantitative Informationen über die Reliefgestalt eine Sachbasis bilden und eine rein topographische Kartengrundlage zu aussageschwach ist.
- Die morphographische Karte kann einfarbig in schwarz gedruckt werden (vgl. Beilage VII). Trotz Abstrichen an der Lesbarkeit im Vergleich mit der vierfarbigen Ausgabe stellt sie, wie wir meinen, einen akzeptablen Kompromiß zwischen fachlichen und wirtschaftlichen Erfordernissen dar.

Die morphographische Karte wird auch der jüngsten Entwicklung elektronischer Informationssysteme gerecht (vgl. VINKEN 1985, LEHMEIER 1987), für deren geowissenschaftlichen Inhalt eine geomorphologische Basiskarte zur angemessenen visuellen Darstellung erforderlich ist.

Schlußbemerkungen

Das vorgelegte Konzept eines Zweiblattsystems mit der von HAGEDORN u. LEHMEIER (1983) vorge-

schlagenen morphogenetischen Blattvariante entspricht inhaltlich voll den Zielen des GMK-Schwerpunktprogramms. Die morphographische Blattvariante weicht zwar optisch stark von der Version des GMK-Schwerpunktprogramms ab, stimmt aber mit deren morphographischer Zielsetzung und in Teilen der Legende mit ihr überein. Die Neigungen werden quantitativ flächenhaft dargestellt, allerdings unter qualitativer Berücksichtigung der Hangwölbungen. Diskontinuitäten der Hangneigung sind durch Liniensymbole gekennzeichnet. Scheitel der Kulminationen als Leitlinien des Reliefs werden quantitativ gleichfalls in zwei Wölbungsklassen differenziert unter zusätzlicher Berücksichtigung der relativen Höhe nach jeder Seite. Linien- und Punktsymbole für qualitativ und teils quantitativ differenzierte Kleinformen entsprechen weitgehend der Legende des GMK-Schwerpunktprogramms.

Die Vorschläge werden nicht, das sei betont, im Widerspruch zum GMK-Schwerpunktprogramm gemacht, dessen Intentionen eine breite Zustimmung finden. Seine Koordinationskommission ist im Interesse einer raschen Erreichung des gesteckten Zieles das Risiko eingegangen, ein nicht erprobtes Konzept zur Grundlage der Musterblätter zu machen. Bei deren Erarbeitung sind nach und nach Erfahrungen berücksichtigt worden, die zur Änderung mancher Details geführt haben. Unter anderem ist die Darstellung der Wölbungen stark in den Hintergrund getreten, womit einer unserer Vorschläge schon vorbereitet worden ist. Das Werk der Koordinationskommission verdient Anerkennung, Dank und – wie wir meinen – die kritische Auseinandersetzung im Sinne der ursprünglichen Intentionen. Unsere Arbeiten zielen in die von LESER (1984, S. 172) formulierte Richtung einer Formensystematik, die ebenso als Basis morphogenetischer Fragestellungen geeignet ist wie als Basis anwendungsbezogener Kartierungen. Da das hier vorgestellte Konzept sich gleichermaßen für große und für mittlere Maßstäbe (von 1:10.000 bis 1:100.000) eignet, könnte es eine Anregung für weiterführende Arbeiten der geomorphologischen Kartographie sein.

Literatur

ANNAHEIM, H.: Zur Frage der geomorphologischen Kartierung. In: Petermanns Geogr. Mitt. 100, 1956, S. 315-319.

BARSCHE, D.: Studien zur Geomorphogenese des Zentralen Berner Juras. In: Basler Beitr. Geogr. 9, Basel 1969.

- : Das GMK-Schwerpunktprogramm der DFG: Geomorphologische Detailkartierung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Z. Geomorphol. N.F. 20, 1976, S. 488-498.
- BARSCHE, D. u. MÄUSBACHER, R.: Auszugs- und Auswertungskarten als mögliche nutzungsorientierte Interpretation der Geomorphologischen Karte 1:25.000 (GMK 25). In: Berliner Geogr. Abh. 31, Berlin 1980, S. 31-48.
- BENZLER, J.-H. u. MÜLLER, W.: Die Bodenkarte 1:25.000 (BK 25) und ihre Auswertungskarten. In: Forsch. dt. Landeskd. 220, 1983, S. 57-61.
- BOLLMANN, J. u. UTHE, A.: Salzhemmendorf TK 3923. Berlin (Freie Universität, Fachrichtung Kartographie) 1983 (unveröff. Karte).
- BRUNOTTE, E., GARLEFF, K. u. WAHLE, H.: Neue morphographische und geomorphologische Karten aus dem südniedersächsischen Bergland. In: N. Arch. Niedersachsen 29, 1980, S. 85-96.
- DEMEK, J. (Hrsg.): Handbuch der geomorphologischen Detailkartierung. Wien 1976.
- FEZER, F. u. FRIEDLIN, V.: Geomorphologische Karte 1:25.000 der Bundesrepublik Deutschland 6480 Weinheim. In: GMK 25, Blatt 22, Berlin 1985.
- FINKE, L.: Anforderungen aus der Planungspraxis an ein geomorphologisches Kartenwerk. In: Berliner Geogr. Abh. 31, Berlin 1980, S. 75-81.
- FRÄNZLE, O., BARSCHE, D., LESER, H., LIEDTKE, H. u. STÄBLEIN, G.: Legendenentwurf für die Geomorphologische Karte 1:100.000 GMK 100. Heidelberger Geogr. Arb. 65, Heidelberg 1979.
- GEHNE, H.: Eine neue Methode geomorphologischer Kartendarstellung. In: Petermanns Geogr. Mitt. 57, 1912, S. 72-73.
- GÖBEL, P., LESER, H. u. STÄBLEIN, G.: Geomorphologische Kartierung. Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25.000. Marburg 1973.
- GRIMM, F., HAASE, G., KUGLER, H., LAUCKNER, M. u. RICHTER, H.: Empfehlungen für den Inhalt und die Bearbeitung einer Geomorphologischen Grundkarte im Maßstab 1:10.000. In: Petermanns Geogr. Mitt. 108, 1964, S. 150-157.
- GRIMMEL, E. u. SCHIPULL, K.: Geomorphologische Karte 1:25.000 Blatt 2730 Bleckede (mit Erläuterungen). Hamburger Geogr. Stud. Sonderheft, Hamburg 1983.
- HABBE, K.A.: Geomorphologische Karte 1:25.000 der Bundesrepublik Deutschland 8127 Grönenbach. In: GMK 25, Blatt 18, Berlin 1985.
- HAGEDORN, J. u. LEHMEIER, F.: Zur Konzeption der Geomorphologischen Karte 1:25.000 (GMK 25) aufgrund von Kartierungserfahrungen im Niedersächsischen Bergland. In: Forsch. dt. Landeskd. 220, 1983, S. 63-81.
- HINZE, C.: Die Geologische Karte von Niedersachsen 1:25.000 (GK 25) - Aktuelle Aufnahme- und Darstellungsverfahren vielschichtiger Überlagerungen. In: Forsch. dt. Landeskd. 220, 1983, S. 11-26.
- IMHOF, E.: Thematische Kartographie. Beiträge zu ihrer Methode. In: Die Erde 93, 1962, S. 73-116.
- KUGLER, H.: Zur Erfassung und Klassifikation geomorphologischer Erscheinungen für die ingenieurgeologische Spezialkartierung. In: Z. angew. Geol. 9, 1963, S. 591-598.
- : Die geomorphologische Reliefanalyse als Grundlage großmaßstäbiger geomorphologischer Kartierung. In: Wiss. Veröff. Dt. Inst. Länderkunde N.F. 21/22, Leipzig 1964, S. 541-655.
- : Aufgaben, Grundsätze und methodische Wege für großmaßstäbiges geomorphologisches Kartieren. In: Petermanns Geogr. Mitt. 109, 1965 (a), S. 241-257.
- : Bemerkungen zur Kartenprobe „Kindelbrück“ der Geomorphologischen Karte 1:25.000, Blattvariante A/d. In: Leipziger Geogr. Beitr., Leipzig 1965 (b), S. 109-119.
- : Einfache Gestaltungsprinzipien und Generalisierungswege bei der Schaffung geomorphologischer Karten verschiedener Maßstäbe. In: Petermanns Geogr. Mitt. Erg.-H. 271, 1968, S. 259-279.
- : Das Georelief und seine kartographische Modellierung. Diss. B, Univ. Halle/Wittenberg 1974.
- LEHMEIER, F.: Geomorphologische Karte 1:25.000 der Bundesrepublik Deutschland 3923 Salzhemmendorf. In: GMK 25, Blatt 7, Berlin 1981.
- : Entwicklung eines EDV-gestützten Dokumentations- und Abfragesystems für Daten zur regionalen Geomorphologie (DARG). In: Z. Geomorphol. N.F. Suppl.-Bd. 66, 1987, S. 155-165.
- LESER, H.: Geomorphologische Spezialkarte des Rheinhessischen Tafel- und Hügellandes (Südteil). Mit einem Abriss der Geschichte der geomorphologischen Spezialkarte. In: Erdkunde 21, 1967, S. 161-168.
- : Inhalt und Form als Problem groß- und kleinmaßstäbiger geomorphologischer Karten. In: Kartogr. Nachr. 22, 1972, S. 156-165.
- : Das GMK-Projekt. Bericht über die Arbeiten an Geomorphologischen Karten der BRD. In: Kartogr. Nachr. 26, 1976 (a), S. 169-177.
- : Vorwort: Das „Handbuch der geomorphologischen Detailkartierung“ und die geomorphologische Forschung. In: DEMEK, J. (Hrsg.): Handbuch der geomorphologischen Detailkartierung. Wien 1976 (b), S. VII-VIII.
- : Die Wölbung in der geomorphologischen Karte. In: Kartogr. Nachr. 30, 1980, S. 11-24.
- : Aktuelle konzeptionelle Fragen der GMK 25. In: Kartogr. Nachr. 34, 1984, S. 161-174.
- LESER, H. u. STÄBLEIN, G. (Hrsg.): Geomorphologische Kartierung. Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25.000. Berlin 1975.
- LOUIS, H.: Über die Grundformen des kartographischen Ausdrucks. In: Petermanns Geogr. Mitt. Erg.-H. 264 (HAACK-Festschr.), 1957, S. 13-24.
- PASSARGE, S.: Physiologische Morphologie. In: Mitt. Geogr. Ges. Hamburg 26, Hamburg 1912, S. 133-337.

- : Morphologischer Atlas Lieferung I: Morphologie des Meßtischblattes Stadtrenda. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg 28, Hamburg 1914.
- RATHJENS, C.: Morphologischer Atlas Lieferung II: Morphologie des Meßtischblattes Saalfeld. Hamburg 1920.
- RICHTER, H.: Eine neue Methode der großmaßstäbigen Kartierung des Reliefs. In: Petermanns Geogr. Mitt. 106, 1962, S. 309-312.
- SPÖNEMANN, J.: Morphographic Mapping in Different Scales: A System of Generalisation. In: Techn. Pap. 12th Conf. Int. Cartogr. Assoc., Perth, Australia 1984, Vol. 2, S. 491-504.
- STÄBLEIN, G.: Die Konzeption der Geomorphologischen Karten GMK 25 und GMK 100 im DFG-Schwerpunktprogramm. In: Berliner Geogr. Abh. 31, Berlin 1980, S. 13-30.
- VINKEN, R.: Digitale Geowissenschaftliche Kartenwerke – ein neues Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft. In: Nachr. Karten- u. Vermessungswesen RI 95, 1985, S. 163-173.

EVALUATION OF ALGORITHMS FOR MAPPING SNOW COVER PARAMETERS IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY USING PASSIVE MICROWAVE DATA*

With 8 figures

AXEL J. SCHWEIGER and ROGER G. BARRY

Zusammenfassung: Bewertung von Methoden zur Schneeflächenkartierung in der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe passiver Mikrowellendaten.

Ziel der vorliegenden Studie ist die Bewertung der Anwendungsmöglichkeiten passiver Mikrowellen-Fernerkundungsmethoden für die Untersuchung mitteleuropäischer Schneeflächenvariabilität. Schneemächtigkeiten und Wassergehaltsmessungen von 60 synoptischen Stationen in der Bundesrepublik Deutschland wurden mit den Ergebnissen eines auf der Differenz der 37 und 18 GHz Kanäle von SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) beruhenden Algorithmus verglichen. Die Ergebnisse zeigen, daß nach Anpassung von Algorithmus-Parametern die Schneebedeckung mit 70 bis 80-prozentiger Genauigkeit bestimmt werden kann. Die Anpassung des Diskriminationsschwellenwertes für bewaldete Gebiete führt zu einer Verbesserung der Meßgenauigkeit. Aufgrund großer Temperaturschwankungen und häufig nassen Schnees ist die Anwendung von passiven Mikrowellenmethoden für die Bestimmung des Schnee-Wassergehaltes in diesem Gebiet ungeeignet.

1. Introduction

Information on snow cover is of wide interest to climatologists and hydrologists on a global scale. Primarily, snow cover is recognized as a potentially important factor in climate fluctuations, through its effect on the surface and planetary albedo. For example, seasonal snow cover might play an important role in amplifying the effects of a global CO₂ induced warming by means of positive feedback effects (BARRY 1985). Though a 20 year global data set of weekly snow charts has been derived from visible band imagery (MATSON et al. 1986), its utility for climate change studies is limited by the inability of visible band based techniques to map snow in the presence of clouds (HALL 1988).

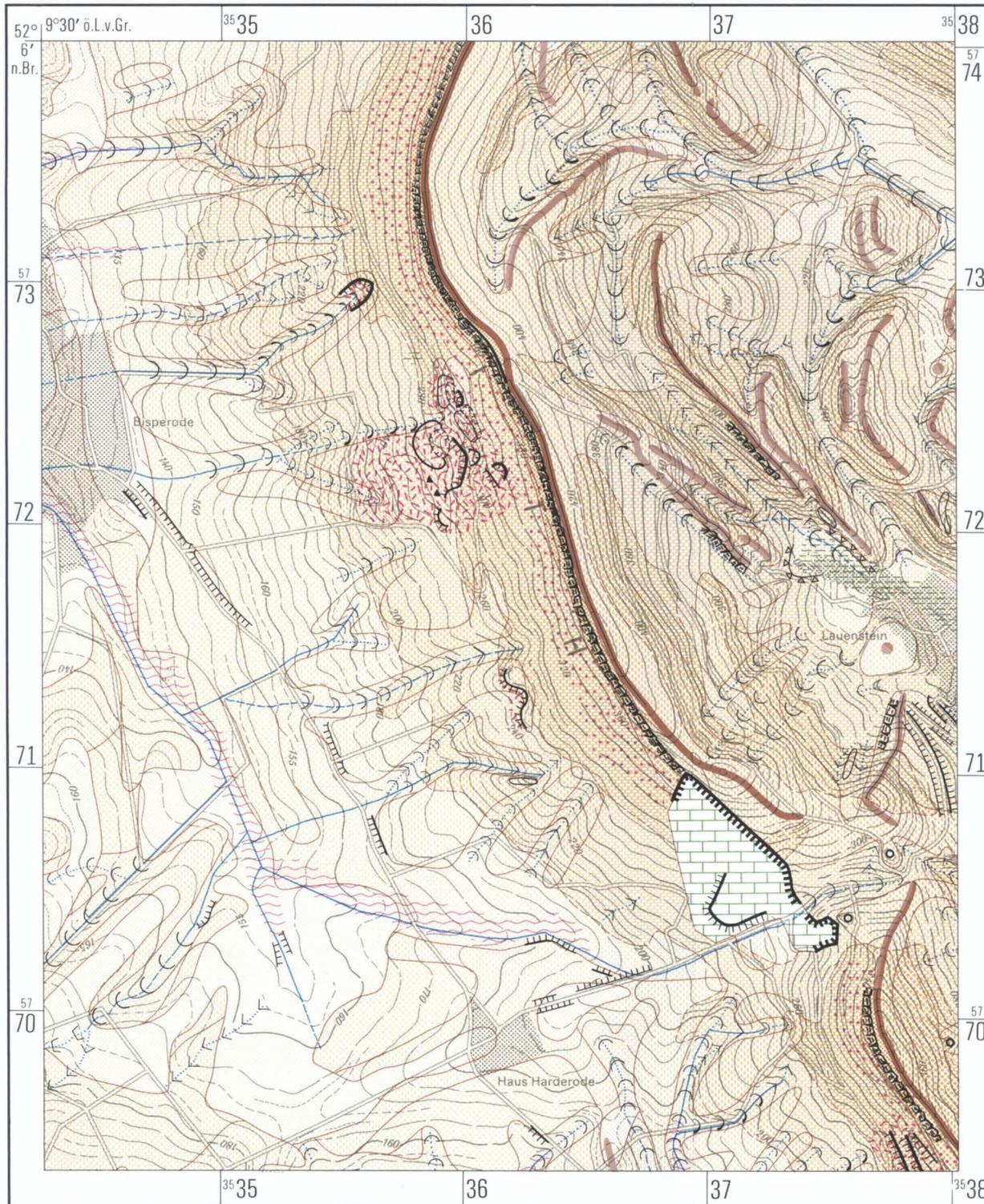
The retrieval of snow cover parameters from passive microwave satellite data has been developed over the past 10 years. These techniques are based on the relationship between snowpack properties and microwave emissions from the snow surface, (KUENZI et al. 1982, FOSTER et al. 1984). The advantage of passive microwave techniques over visible band and ground based measurements lies in their capacity to provide information on snow cover parameters such as snowline position, total snow extent, and approximate snow water equivalent, even in the presence of clouds. While the potential of passive microwave techniques for the study of snowcover-climate inter-

* This work has been supported by NSF grant SES-8518586. Image processing was facilitated through ONR URI grants N00014-87-G-0022 and N00014-85-C-0039. DMSP imagery was provided by GREG SCHARFEN, National Snow and Ice Data Center. SMMR Cell-All tapes were provided by P. GLOERSEN, NASA/Goddard Space Flight Center. Thanks are also due to Dr. L. HOFFMANN, Deutscher Wetterdienst, for providing digital snow data sets.

Geomorphologische Karte 1:25.000

I: Morphographie mit aktueller Morphodynamik

3923 Salzhemmendorf
(Ausschnitt)



Kartengrundlage: TK 25, 3923 (1974). Vervielfältigt mit Erlaubnis des Herausgebers: Niedersächsisches Landesverwaltungsamt-Landesvermessung-B5-238/76.

Kartographie: H. Wahle

AKTUELLE MORPHODYNAMIK

a. Gefahrenbereiche

- Rutschungen
- Steinschlag mit Haldenbildung
- Hochwassergefährdung mit Auelehm-Ablagerung

b. übrige

- Kalksinterbildung
- Torfmoorbildung
- Steinbruch

MORPHOGRAPHIE

1. Vertikalwölbung und Hangneigung

	nicht differenziert	konkav	konvex	gestreckt
0° - 2°				
> 2° - 7°				
> 7° - 15°				
> 15° - 35°				
> 35°				

2. Diskontinuitäten (Wölbungsradius ≤ 100 m, Hangneigungsunterschied $\geq 10^\circ$)

▲▲▲▲ Kante ▼▼▼▼ Kehle

3. Scheitellinien und Gipfelpunkte

Relative Höhe Form	≤ 20 m	> 20 - 100 m	> 100 m
gerundeter Scheitel (Wölbungsradius ≥ 10 m)			
zugeschärfter Scheitel (Wölbungsradius < 10 m)			
gerundeter Gipfel (Wölbungsradius ≥ 10 m)			
spitzer Gipfel (Wölbungsradius < 10 m)			

● — Asymmetrie bezügl. rel. Höhe

4. Tiefenlinien

- Perennierender Abfluß
- Periodischer Abfluß
- Episodischer Abfluß

5. Isohypsen (m)



6. Täler

- Muldental
- Kerbtal
- Sohlental
- Asymmetrisches Profil

7. Kleinformen

a. Stufen (Basisbreite < 75 m)

Hangneigung Höhe	> 7° - 15°	> 15° - 35°	> 35°
1 - 3 m			
> 3 - 10 m			
> 10 m			

b. Hügel, geschlossene Hohlformen (Basisbreite 3-10m >10m rel. Höhe bzw. Tiefe < 150 m)

- Kuppe (Wölbungsradius ≥ 10 m)
- Kegel (Wölbungsradius < 10 m)
- Rücken (Wölbungsradius ≥ 10 m)
- Kamm (Wölbungsradius < 10 m)
- Geschlossene Hohlform

c. Felsen

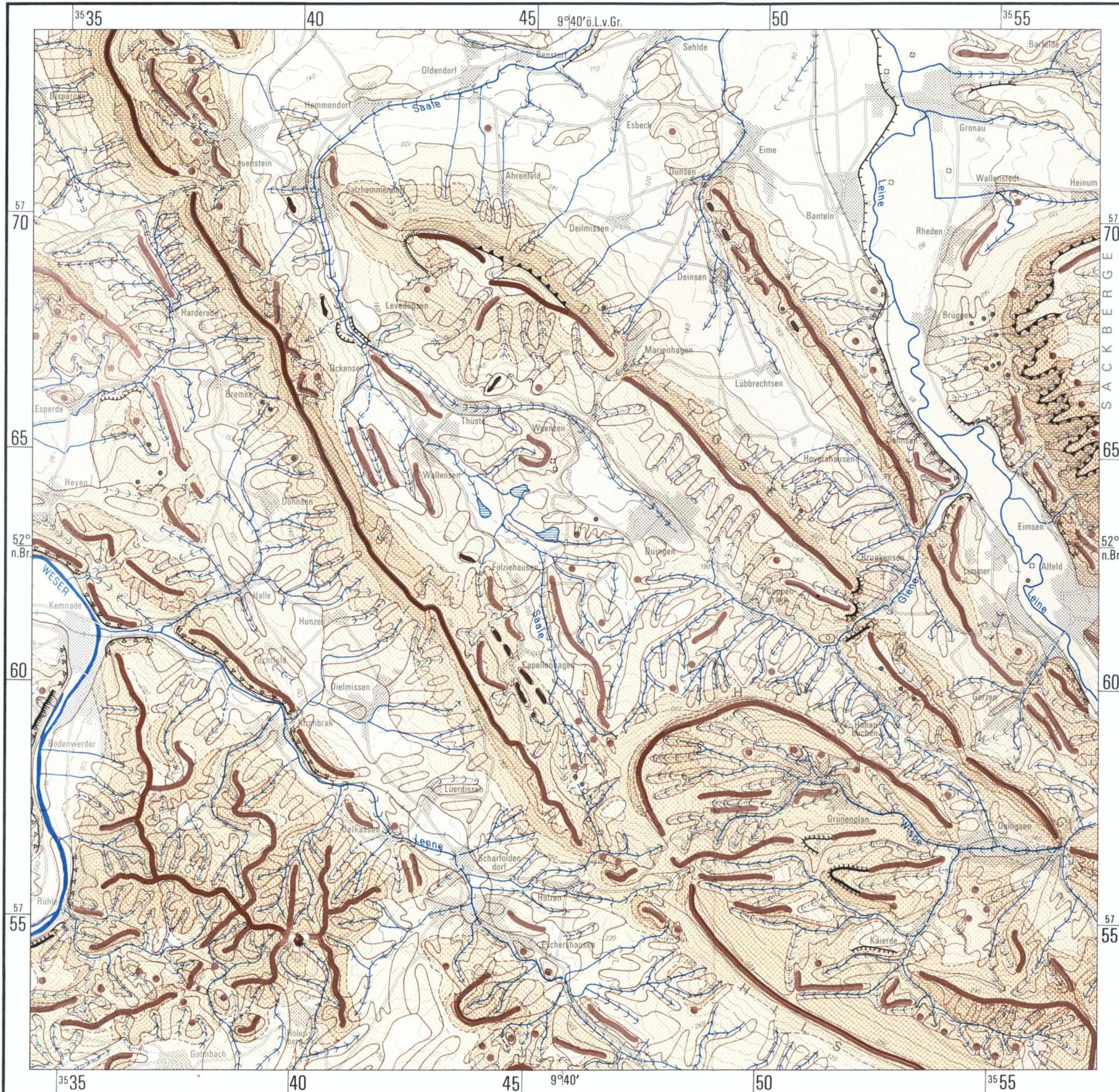
- Felswand (rel. Höhe 3 - 10 m)
- Felswand (rel. Höhe > 10 m)
- Felswand (rel. Höhe nicht diff.)

0 Maßstab 1:25.000 1 km

Geomorphologische Karte 1:100.000

I: Morphographie

C 3922, Hannover
C 4322, Holzminden
(Ausschnitt)



MORPHOGRAPHIE

1. Vertikalwölbung und Hangneigung

	nicht differenziert	konkav	konvex	gestreckt
0° - 2°	[Symbol]			
> 2° - 7°		[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 7° - 15°		[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 15° - 35°		[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 35°		[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]

2. Diskontinuitäten (Wölbungsradius ≤ 100 m, Hangneigungsunterschied $\geq 10^\circ$)

▲▲▲ Kante ▼▼▼ Kehle

3. Scheitellinien und Gipfelpunkte

Relative Höhe	≤ 50 m	> 50 - 200 m	> 200 m
gerundeter Scheitel (Wölbungsradius ≥ 10 m)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
zugeschräfter Scheitel (Wölbungsradius < 10 m)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
gerundeter Gipfel (Wölbungsradius ≥ 10 m)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
spitzer Gipfel (Wölbungsradius < 10 m)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]

● Asymmetrie bezügl. rel. Höhe

4. Tiefenlinien

— Perennierender Abfluß
- - - Periodischer Abfluß
... Episodischer Abfluß

5. Isohypsen (m)

100 m
20 m
10 m
5 m

6. Täler

)))) Muldental
>>> Kerbtal
)>> Sohlental

7. Kleinformen

a. Stufen (Basisbreite < 200 m)

Hangneigung	> 7° - 15°	> 15° - 35°	> 35°
Höhe 2-10 m	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 10-50 m	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 50 m	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]

b. Hügel, geschlossene Hohlformen (Basisbreite rel. Höhe bzw. Tiefe < 400 m)

≤ 40 m
● Kuppe (Wölbungsradius ≥ 10 m)
● Rücken (Wölbungsradius ≥ 10 m)
 ≤ 10 m ○ Geschlossene Hohlform

35 37

3923 Salzhemmendorf (Vergrößerung, Ausschnitt)



35 37

Kartographie: H. Wahle

MORPHOGRAPHIE

1. Vertikalwölbung und Hangneigung

	nicht differenziert	konkav	konvex	gestreckt
0° - 2°	[Symbol]			
> 2° - 7°	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 7° - 15°	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 15° - 35°	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 35°	[Symbol]			

2. Diskontinuitäten (Wölbungsradius ≤ 100 m, Hangneigungsunterschied $\geq 10^\circ$)

▲▲▲▲ Kante ▼▼▼▼ Kehle

3. Scheitellinien und Gipfelpunkte

Relative Höhe	≤ 20 m	> 20 - 100 m	> 100 m
gerundeter Scheitel (Wölbungsradius ≥ 10 m)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
zugeschräfter Scheitel (Wölbungsradius < 10 m)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
gerundeter Gipfel (Wölbungsradius ≥ 10 m)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
spitzer Gipfel (Wölbungsradius < 10 m)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]

● — Asymmetrie bezügl. rel. Höhe

4. Tiefenlinien

— Perennierender Abfluß
 - - - Periodischer Abfluß
 Episodischer Abfluß

5. Isohypsen (m)

— 200 —
 — 180 —

6. Täler

))) Muldental]]] Sohlental
 > > > Kerbtal) >] Asymmetrisches Profil

7. Kleinformen

a. Stufen (Basisbreite < 25 m)

Hangneigung	> 7° - 15°	> 15° - 35°	> 35°
Höhe 1 - 3 m	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 3 - 10 m	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
> 10 m	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]

b. Hügel (Basisbreite < 50 m)

⊙ Kuppe (Wölbungsradius ≥ 10 m) rel. Höhe ≤ 7 m
 ⊙ Kegel (Wölbungsradius < 10 m)

c. Felsen

— Felswand (rel. Höhe > 10 m)
 — Felswand (rel. Höhe nicht diff.)

Maßstab 1 : 10.000

0 100 200 300 400 500 m