
COMPUTERGESTÜTZTE RELIEFMODELLIERUNG ALS KERN EINER
DIGITALEN GEOMORPHOLOGISCHEN BASISKARTE (DGmBK)

R. DIKAU, Univ. Heidelberg

Summary:

The paper contains investigations of computer-aided landform analysis in geomorphology. The systematic approach is based on a subdivision of the land surface into a taxonomical hierarchy of spatial relief units (from facets, form elements, simple relief forms, drainage basins, drainage networks). These units are derived from Digital Elevation Models (DEM) and their derivatives, e.g. slope gradient, aspect, profile and plan curvature, distance to drainage divide and to drainage channel, elevation above the channel, neighbourhood relations. Field tests in a variety of regions in West Germany shows that the automatic simulation yields spatial patterns that conform well to those defined by detailed geomorphological mapping. Statistical analysis and the definition of a set of formalized rules for geomorphographical objects are an important basis for further investigations of the relationship between form and process in geomorphology.

1. EINLEITUNG

Computergestützte Technologien haben der geomorphologischen Forschung ein wirksames Instrument für die quantitative Analyse ihrer zentralen Fragestellung nach den Form-Prozeß-Beziehungen geliefert. Schwerpunkte umfassen dabei die Modellierung geomorphologischer Systeme und Prozesse (ANDERSON 1988) sowie die Generierung geomorphologisch-hydrologischer Objekte, wie z.B. Reliefformen, Einzugsgebiete und Tiefenliniennetze aus Digitalen Geländemodellen und deren statistischer Analyse (MARK 1984). Weiterhin bieten Geographische Informationssysteme (GIS) ein Instrumentarium, mit dem räumliche geomorphologische Daten (z.B. auf geomorphologischen Karten) in digitaler Form abgespeichert, verwaltet und weiterverarbeitet werden können. Diese Möglichkeiten gilt es in Bezug auf die Aufgaben eines digitalen geomorphologischen Basiskartenkonzeptes aufzugreifen und weiterzuentwickeln. Digitale geomorphologische Daten könnten damit für einen rationellen fachinternen und fachübergreifenden Zugriff bereitgestellt sowie der Weiterverarbeitung und Bewertung für anwendungsorientierte Fragestellungen zugeführt werden. Mit diesem Ansatz ist der Ausgangspunkt eines Forschungsprojektes umrissen, dessen Ziel in der Entwicklung einer Digitalen Geomorphologischen Basiskarte (DGmBK) liegt, die als geomorphologisches Informationssystem zu verstehen ist und im Schwerpunktprogramm "Digitale Geowissenschaftliche Kartenwerke" der Deutschen Forschungsgemeinschaft bearbeitet wird (VINKEN 1988). Ihre erste Ausbaustufe umfaßt die geomorphographische Modellierung des Georeliefs, deren systematischer Ansatz und methodischer Entwicklungsstand im folgenden umrissen wird.

2. MAßSTABSABHÄNGIGE GEOMORPHOLOGISCHE RELIEFANALYSE UND IHRE ABBILDUNG IN EINE DIGITALE GEOMORPHOLOGISCHE BASISKARTE

Die Frage nach der fachspezifischen Bedeutung der Daten eines geomorphologischen Informationssystems verweist zunächst auf den theoretischen Ansatz der geomorphologischen Reliefcharakterisierung und -analyse. Folgen wir den wissenschaftlichen Ansätzen z.B. KUGLERS (1974), der Geomorphologischen Karte 1:25000 der Bundesrepublik Deutschland (GMK 25) (BARSCH & LIEDTKE 1980) oder des CSIRO-Klassifikationssystems (SPEIGHT 1988), kann das als hochkomplexes Kontinuum zu betrachtende Georelief hierarchisch in geometrisch einfachere Reliefkomponenten oder -bausteine zerlegt werden (Geomorphographie). So kann z.B. eine Reliefformenassoziation (Mittelgebirgsregion) in einzelne Reliefformen (Erhebungen, Täler) und diese in Formelemente (Hänge, Talböden, Scheitelflächen) und Formfazetten (Hangbereiche) gegliedert werden. Die Objekte jeder hierarchischen Stufe werden mit geometrisch-topologischen Attributen unterschiedlicher Komplexität definiert und sind aus homogenen Attributeräumen ableitbar (Formfazette: homogene Neigung, Exposition, Wölbungsradius; Formelement: homogener Wölbungsradius; Reliefform: homogene Figur, Aufriß, Grundriß; Reliefformenassoziation: homogener Vergesellschaftungs- und Mustertyp spezifischer Reliefformen). Reliefeinheiten treten in unterschiedlichen Größen auf, die über die Definition von Größenordnungstypen formalisierbar sind (Abb. 1). Sie werden als weitgehend selbständige Relieftypen betrachtet, die in unterschiedlichen Abstraktionsniveaus (Maßstabsbereiche) untersucht werden und modellierbar sind. Reliefformen niedriger Größenordnungstypen gelten als "Besatz" der höheren (z.B. der Dolinenbesatz (Mikroformenassoziation) eines Gebirgsplateaus (Makroformelement)).

Neben der geomorphographischen Analyse kann das Georelief nach weiteren Kriterien charakterisiert werden. Dazu sind zu rechnen:

- der oberflächennahe Untergrund (Substrat) (Reliefträger),
- die Geomorphogenese (historische Reliefbildung),
- die Geomorphodynamik (aktuelle, reliefverändernde Prozesse) und
- die Geomorphochronologie (zeitliche Datierung der Reliefeinheiten und der sie bildenden Prozesse).

Im System der GMK 25 findet der umrissene Ansatz seine Entsprechung in unterschiedlichen Karteninformationsschichten, die die genannten Objekte und deren Attribute separat erfassen und darstellen (Baukastenprinzip). Die analytische Methode des Kartenwerkes hat zum einen zu einer flexiblen Standardisierung und Normierung geomorphologischer Basisdaten bestimmter Maßstabsbereiche geführt, zum anderen liegt mit 27 Kartenblättern der GMK 25 und 5 Kartenblättern der GMK 100 ein reichhaltiges Material für die kartographischen Basisobjekte einer DGmBK vor. Die von BARSCH & DIKAU (1989) diskutierte Gesamtkonzeption für ein geomorphologisches Informationssystem orientiert sich an den Prinzipien des analytischen Ansatzes. Daß bedeutet, daß einerseits kartographische Objekte unterschiedlicher Informationsschichten der GMK 25 gespeichert und weiterverarbeitet werden. Eine zweite Aufgabe der DGmBK ist darin zu sehen, bisher mit herkömmlichen Methoden gewonnene geomorphologische Basisdaten, z.B. der Geomorphographie, der

Megarelief	$b: \approx > 10^6 \text{ m}$ $f: \approx > 10^{12} \text{ m}^2$ $m: \approx < 1 : 1\,000\,000$			
Makrorelief	$b: \approx 10^4 - 10^6 \text{ m}$ $f: \approx 10^8 - 10^{12} \text{ m}^2$ $m: \approx 1 : 200\,000 - 1 : 1\,000\,000$			
Mesorelief	$b: \approx 10^2 - 10^4 \text{ m}$ $f: \approx 10^4 - 10^8 \text{ m}^2$ $m: \approx 1 : 5\,000 - 1 : 200\,000$			
Mikrorelief	$b: \approx 10^0 - 10^2 \text{ m}$ $f: \approx 10^0 - 10^4 \text{ m}^2$ $m: \approx 1 : 500 - 1 : 5\,000$			
Nanorelief	$b: \approx 10^{-2} - 10^0 \text{ m}$ $f: \approx 10^{-4} - 10^0 \text{ m}^2$ $m: \approx 1 : 5 - 1 : 500$			
Picorelief	$b: \approx < 10^{-2} \text{ m}$ $f: \approx < 10^{-4} \text{ m}^2$ $m: \approx > 1 : 5$			
	Formfazette	Formelement	Reliefform	Reliefformen- assoziationen

Abb. 1: Systematik von Reliefeinheiten unterschiedlicher Größenordnungstypen und Hierarchiestufen (b = Basisbreite, f = Fläche, m = kartographischer Maßstab).

Geomorphogenese oder der Geomorphodynamik, durch computergestützte Modelle automatisch zu generieren bzw. ihre Generierung zu erleichtern. Diese Entwicklungen sind bisher erst in einigen Teilbereichen realisiert. Am weitesten sind die Arbeiten zur geomorphographischen Reliefmodellierung fortgeschritten, zu deren systematischer Basis ein erster Entwurf in DIKAU (1988) vorgelegt worden ist.

3. COMPUTERGESTÜTZTE GEOMORPHOGRAPHISCHE RELIEFMODELLIERUNG

Die Entwicklung eines Digitalen Geomorphographischen Reliefmodells (DGRM) erfolgt mit dem Ziel einer quantitativen, geometrisch-topologischen Reliefgliederung und -beschreibung auf Grundlage Digitaler Geländemodelle und im Gelände

erhobener Daten. Dabei wird neben der selbst entwickelten Software auf kommerzielle Produkte sowie auf Systeme anderer geowissenschaftlicher Disziplinen und Institutionen, z.B. des U.S. Geological Survey oder des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFb) zurückgegriffen (KÜHNE 1983, BAUER et al. 1985, JENSON & DOMINGUE 1988, DIKAU 1989). Zu den zentralen Funktionen des Modells sind zu rechnen:

(1) Raster-basierte Generierung geomorphographisch relevanter Attribute aus Digitalen Geländemodellen der Landesvermessungsämter der Bundesrepublik Deutschland im 12,5, 20, 40 und 50 m - Gitter. Für jedes Rasterelement werden u.a. berechnet: Exposition, Neigung, vertikaler und horizontaler Wölbungsradius, Größe und mittlere Neigung des Einzugsgebietes oberhalb des Rasterelementes, Entfernung zur Wasserscheide und Tiefenlinie, Höhe des Wasserscheiden- (Tiefenlinien)punktes, aus den (in den) ein potentieller Abfluß erfolgt, Höhendistanzen des Rasterelementes zur Wasserscheide und Tiefenlinie, Nummer (Objektschlüssel) des Einzugsgebietes in dem das Rasterelement liegt. Insgesamt werden 27 unterschiedliche Datenmatrizen erzeugt.

(2) Generierung geomorphologisch-hydrologischer Basisobjekte wie Einzugsgebiete (raster-basiert) sowie Tiefenlinien- und Wasserscheidennetzwerke (vektor-basiert). Inwieweit sie für eine Ableitung der Tal- und Kammlinien herangezogen werden können, wird geprüft.

(3) Objektgenerierung durch 'connected component labeling' (ROSENFELD & KAK 1982) sowie Ermittlung einfacher topologischer Objektattribute, wie z.B. Anzahl und Objektschlüssel der angrenzenden Nachbarn sowie die gemeinsame Grenzgeometrie.

(4) Ableitung geomorphographischer Basisobjekte wie Formfazette und Formelement durch logische Kombination geomorphographischer Attribute. Die Ableitung einfacher Reliefformen wird erprobt.

(5) Die Verwaltung der in Objektdateien abgelegten Basisobjektattribute (z. B. Objektschlüssel, Objektgröße, mittlere Objektneigung, Flußdichte, Länge der gemeinsamen Grenze zum Objektnachbarn) erfolgt mit dem Datenverwaltungssystem DASP des NLFb (KÜHNE 1983). Statistische Auswertungen werden mit SAS-Routinen (Statistical Analysis System) durchgeführt, die graphische Darstellung auf Computerkarten wird über GKS- Plotprogramme vorgenommen.

(6) Auf Grundlage der computergestützten Reliefmodellierung wird an der Definition formaler Regeln für die Ableitung geomorphographischer Objekte gearbeitet (DIKAU 1989). Es ist daran gedacht, einen Katalog zu erstellen, der Nutzern des Systems Generierungsvorschläge für gewünschte Objekte, etwa für Scheitel- und Hangfußelemente, Plateauflächen oder Tiefenlinienbereiche anbietet.

(7) Die Genauigkeit und der Generalisierungsgrad der Modellierung wird signifikant von der räumlichen Auflösung und der Höhengenaugigkeit der Digitalen Geländemodelle beeinflusst. Hier ist die Erprobung unterschiedlicher Gittergrößen und -qualitäten, der Geländevergleich und die Modellüberprüfung an publizierten

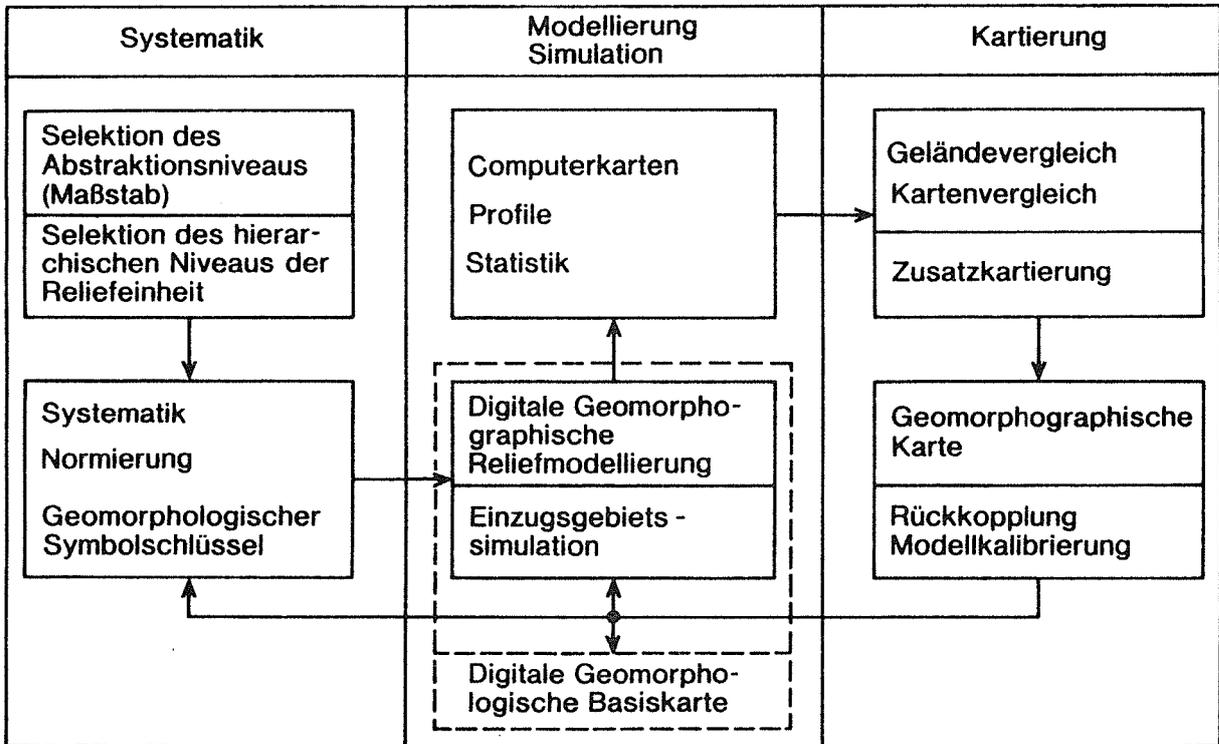


Abb. 2: Einbindung der computergestützten Reliefmodellierung in den geomorphologischen Kartierungsprozeß.

geomorphologischen Karten Bestandteil der Untersuchung (Abb. 2). Zusammenfassend werden die aus geomorphologischen Karten digitalisierten und die aus den Digitalen Geländemodellen generierten Basisdaten des DGRM in Abb. 3 dargestellt.

4. ANWENDUNGEN/AUSBLICK

Die Anwendung des umrissenen Modellierungsansatzes erfolgt in mehreren Untersuchungsgebieten und unter verschiedenen Fragestellungen. Zur Vorbereitung und Unterstützung geomorphologischer Kartierungen werden Computerkarten einzelner Attribute und Objekte, wie z.B. Hangneigungen, Wölbungsradien, Formfazetten und -elemente erzeugt (Abb. 4). Die Selektion und Analyse von Einzugsgebieten und ihrer Attribute wird für Untersuchungen im Bereich der fluvialen Geomorphodynamik und der Zusammenhänge zwischen Relief und Abfluß eingesetzt (Abb. 5). Die rasterbasierte Verschneidung der bisher erarbeiteten Basisdaten mit weiteren

geowissenschaftlichen Flächendaten, wie z.B. den Attributen des oberflächennahen Untergrundes (Substrat) oder der Vegetationsbedeckung führen zur Erstellung geomorphologischer Auswertungskarten etwa im Bereich potentieller Bodenerosionsprozesse. Weiterhin werden mit Hilfe der Verschneidungstechnik weitere geomorphologische Daten, z.B. geomorphodynamischer oder geomorphogenetischer Art, den geomorphographisch definierten Objekten attributiv und geometrisch zugeordnet. Diese Daten entstammen heute geomorphologischen Karten unterschiedlichen Maßstabs. Versuche ihrer computergestützten Modellierung werden im Rahmen der Digitalen Geomorphologischen Basiskarte ein wesentlicher Bestandteil unserer zukünftigen Entwicklungen sein.

Maßstabsabhängige Basisdaten des Digitalen Geomorphographischen Reliefmodells	
<p>Datenquelle: Geländekartierung</p> <p>Objektaufnahme: Digitalisierung</p> <p>Punktdaten: Reliefformen (z.B. Dolinen)</p> <p>Liniendaten: Wölbungslinien (z.B. Scheitellinien) Kanten, Knicke Täler, Tiefenlinien Reliefformen (z.B. Wälle)</p> <p>Flächendaten: Reliefformen (z.B. als formumgrenzende Polygons) Reliefformenassoziation (z.B. Kesselfeld)</p>	<p>Datenquelle: Digitale Geländemodelle</p> <p>Objektgenerierung: Computergestützte Reliefmodellierung</p> <p>Punktdaten (pixel-orientiert): Rasterelemente sämtlicher Attribute</p> <p>Liniendaten: Tiefenliniennetzwerke Wasserscheidennetzwerke Kammlinienetzwerke</p> <p>Flächendaten (objekt-orientiert): Geomorphographische Attribute Formfazetten Formelemente Reliefformen (eingeschränkt) Einzugsgebiete</p>

Abb. 3: Geomorphographische Daten der DGmBK, erfaßt aus der GMK 25, Geländekartierungen unterschiedlichen Maßstabs und der computergestützten Reliefmodellierung.

Eine zentrale Frage der geomorphographischen Reliefmodellierung ist in der Zuordnung der Modellergebnisse zu bestimmten Maßstabs- bzw. Generalisierungsniveaus zu sehen. Unter der Annahme, daß das kleinste modellierbare Objekt mindestens die Größe der doppelten DGM-Gitterbreite aufweisen kann, sind mit den verwendeten Höhengittern Objekte generierbar, die dem Mikrorelief und den unteren Bereichen des Mesoreliefes zugeordnet werden können. Während die nur unvollständig

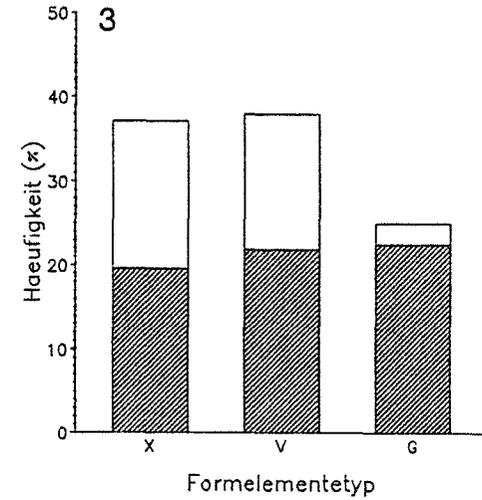
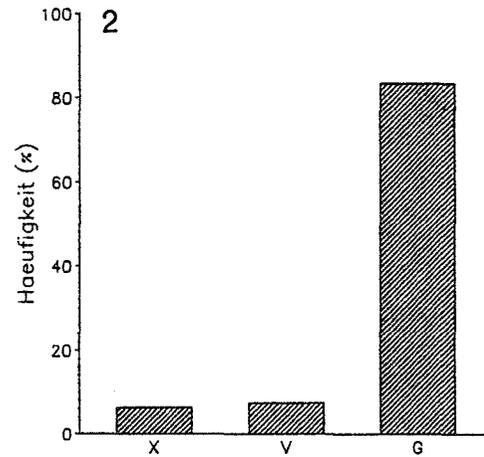
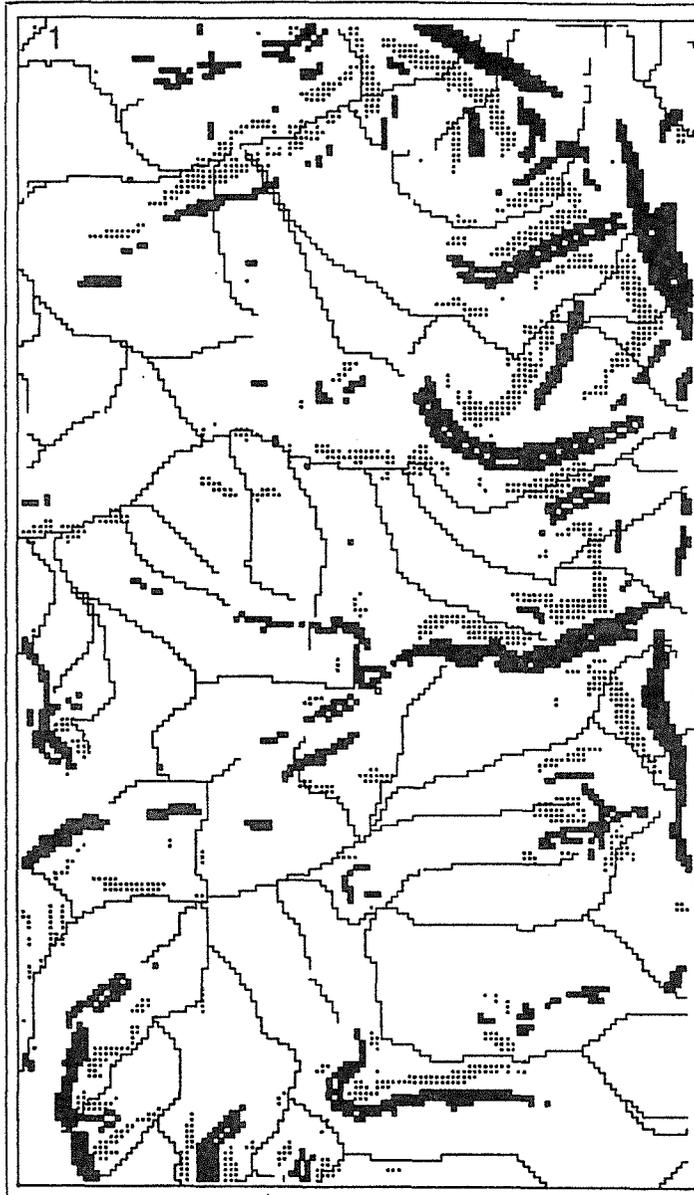


Abb. 4:

(1) Geomorphographische Formelementekarte eines Ausschnittes des Untersuchungsgebietes Bingen (GK-Koordinaten: SW: 34166040/5529520, NE: 3421000/5538000, Maßstab: 1:55 000), überlagert mit dem generierten Wasserscheidennetzwerk).

- = vertikal konvexe Formelemente (Wölbungsradius: < 900 m)

■ = vertikal konkave Formelemente (Wölbungsradius: < 900 m)

(2) Pixel-orientierte Häufigkeitsverteilung der vertikalen Wölbungsradien (WRVER).

X = konvex / WRVER < 900 m

V = konkav / WRVER < 900 m

G = gestreckt / WRVER > 900 m

(3) Objekt-orientierte Häufigkeitsverteilung der Formelemente.

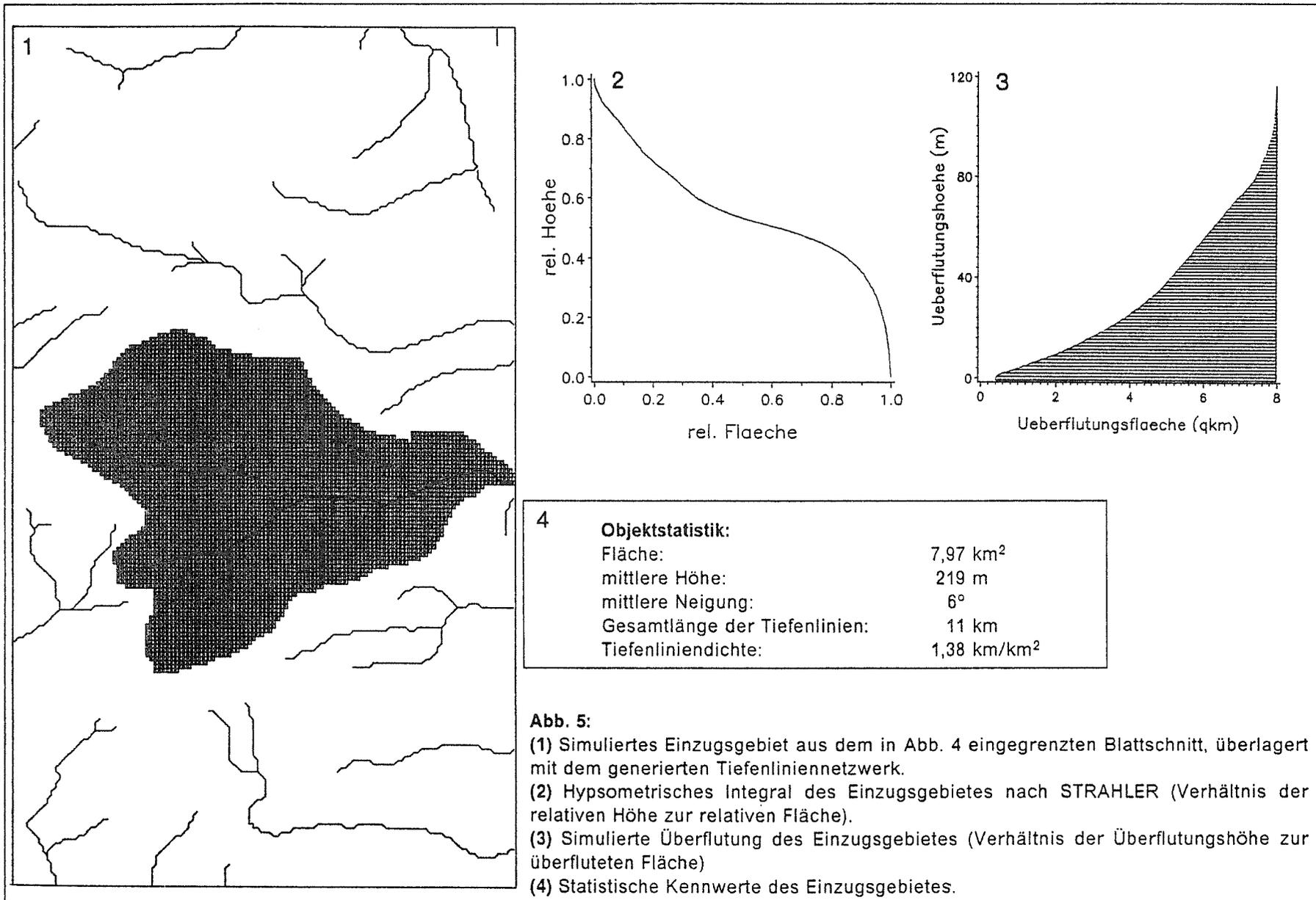
X = konvex / WRVER < 900 m

V = konkav / WRVER < 900 m

G = gestreckt / WRVER > 900 m

□ = Formelemente > 0,8 ha

■ = Formelemente < 0,8 ha



oder nicht modellierbaren Mikro- bis Picoformen (Gullies, Dolinen, Erosionsrinnen) bzw. stark gewölbten Formelemente (z.B. Kanten und Knicke) mit Hilfe der Digitalisierung geomorphologischer Detailkarten erfaßt werden, sind für die Ableitung von Meso- oder Makroformen aus Digitalen Geländemodellen hoher Auflösung geomorphographisch zielgerichtete Reliefgeneralisierungen notwendig. Sie sind Bestandteil der fortgeführten Modellentwicklung.

Literaturverzeichnis:

- ANDERSON, M. G. (Hrsg.)(1988): Modelling Geomorphological Systems, 458 S., Chichester
- BARSCH, D. & H. LIEDTKE (1980): Methoden und Anwendbarkeit geomorphologischer Detailkarten. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm II. Berliner Geogr. Abh., 31, 104 S, Berlin
- BARSCH, D. & R. DIKAU (1989): Probleme der Erstellung einer Digitalen Geomorphologischen Basiskarte (DGmBK). Geo-Informations-Systeme, H. 2(3), Karlsruhe (in Vorbereitung)
- BAUER, J., ROHDENBURG, H. & H.-R. BORK (1985): Ein digitales Reliefmodell als Voraussetzung für ein deterministisches Modell der Wasser- und Stoff-Flüsse. Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 10, S. 1-15, Braunschweig
- DIKAU, R. (1988): Entwurf einer geomorphographisch-analytischen Systematik von Reliefeinheiten. Heidelberger Geogr. Bausteine, H. 5, 45 S., Heidelberg
- DIKAU, R. (1989): Application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: RAPER, J. (Hrsg.): Three Dimensional Application in Geographic Information Systems, London (im Druck)
- JENSON, S.K. & J.O. DOMINGUE (1988): Software tools to extract topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, LIV(11), S. 1593-1600, Falls Church
- KUGLER, H. (1974): Das Georelief und seine kartographische Modellierung. Diss. B, Martin-Luther-Univ., 514 S., Halle, Wittenberg
- KÜHNE, K. (1983): DASP - Ein System zur Verwaltung und Auswertung geowissenschaftlicher Daten. Geol. Jahrbuch, A 70, S.41-59, Hannover
- MARK, D. M. (1984): Automated detection of drainage networks from Digital Elevation Models. Cartographica, 21, S. 168-178, Toronto
- ROSENFELD, A. & A.C. KAK (1982): Digital Picture Processing. Computer Science and Applied Mathematics, 349 S., Orlando
- SPEIGHT, J.G. (1984): Landform. In: McDONALD, R. C., ISBELL, R. F., SPEIGHT, J. G., WALKER, J. & M. S. HOPKINS: Australian soil and land survey field handbook, S. 8-43, Melbourne
- VINKEN, R. (Hrsg.) (1988): Construction and Display of Geoscientific Maps derived from Databases. Geol. Jahrbuch, A 104, 475 S., Hannover