

Verfahren der digitalen Reliefanalyse und Satellitenbilddauswertung für die Bodenkartierung des Zielmaßstabes 1 : 50 000 am Beispiel des Blattes Könnern

MARKUS MÖLLER, Leipzig

Zusammenfassung: Der vorliegende Aufsatz zeigt eine Untersuchung in einem Testgebiet im Südöstlichen Harzvorland, bei der auf ATKIS¹-Höhen- und LANDSAT TM5-Satellitenbilddaten Verfahren der digitalen Reliefanalyse und Satellitenbilddauswertung angewendet werden. Die Ergebnisse wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die bodenkundliche Kartierung des Zielmaßstabes 1 : 50 000 überprüft, mit dem in Sachsen-Anhalt und anderen Bundesländern der Boden inventarisiert wird. Auf Grundlage der Untersuchungen wurde ein wissenschaftlicher Ansatz zur digitalen Bildung und inhaltlichen Belegung von bodenkundlichen Kartiereinheiten unter Nutzung der genannten Verfahren entwickelt, der im Aufsatz diskutiert wird.

Abstract: *Combining digital terrain analysis and remote sensing for soil survey on the mesoscale. An example from the Könnern area, Eastern Germany.* The paper shows a method combining systems for digital terrain analysis with algorithms for the analysis and interpretation of satellite data, in order to check-out its suitability for soil mapping and survey. The investigations are carried out at a map scale of 1 : 50 000, which represents the „official“ scale level for compiling soil inventories within the German state of Saxony-Anhalt, as well as in other German states. For the study, the uplands of the East German landscape unit „Südöstliches Harzvorland“ in the state of Saxony-Anhalt served as the test area. On the base of the results, a knowledge based approach for the digital derivation and creation of soil mapping units was developed, which is discussed in the paper.

1 Einleitung und Problemstellung

Aus dem Beschluss der Umweltministerkonferenz von 1987 und der Verabschiedung des Bundesbodenschutzgesetzes von 1998 leitet sich für jedes Bundesland die Aufgabe ab, Bodeninformationssysteme mit dem Ziel einzurichten, Informationen zum Bodenzustand flächendeckend in einer Flächendatenbank vorzuhalten (CHRISTENSEN 1999, HEINECKE et al. 1995). In diesem Zusammenhang kommt der bodenkundlichen Kartierung, d.h. „der systematischen und flächendeckenden Bodeninventur“ (AG BODEN 1994: 27), eine besondere Bedeutung zu.

Bei der bodenkundlichen Kartierung ist die Kartiereinheit als nicht weiter differenzierbare räumliche Einheit die entscheidende Grundlage für weitere Aggregationen und Generalisierungen. Die Abgrenzung von Kartiereinheiten erfolgt „nach definierten typischen, d.h. wiederkehrenden Inhalten, die räumlich regelhaft kombiniert sind“ (KÜHN 1996: 11). Dabei ist jede Kartiereinheit hinsichtlich ihrer inhaltlichen Belegung als einmalig zu betrachten.

Während Verfahren der reproduzierbaren Aggregation und Generalisierung bereits angewendet werden (z.B. BAURIEGEL et al. 1997), sind die Regelungen zur Bildung von Kartiereinheiten selbst noch ungenügend (FRIEDRICH 1999). Ein besonderes Problem stellt dabei die nachvollziehbare Grenzziehung dar.

¹ ATKIS = Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit flächenhafter digitaler Relief- und Satellitenbilddaten sowie entsprechender Auswertalgorithmen ergeben sich neue Möglichkeiten,

- um digitale bodenkundlich relevante Flächendaten zu gewinnen und in die Struktur eines Bodeninformationssystems einzubinden,
- die Nachvollziehbarkeit der Grenzziehung und Inhalte zu steigern und
- bodenkundliche Kartierungen flächendeckend, kostengünstig und in kürzerer Zeit durchzuführen.

Der Beitrag basiert auf einer Diplomarbeit (MÖLLER 1999), die am Institut für Geographie der Martin-Luther-Universität Halle/Wittenberg, AG Kartographie und Fernerkundung in Zusammenarbeit mit der Abteilung Boden des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt angefertigt wurde. Die Arbeit versteht sich als Versuch, an die Tradition bodenkundlich orientierter Arbeiten mit Fernerkundungsdaten des Institutes anzuknüpfen (RIEDEL 1981, VILLWOCK 1983, 1995, GLÄBER 1985, 1989).

2 Naturräumliche Ausstattung des Untersuchungsgebietes

Das ca. 10000 ha große Untersuchungsgebiet befindet sich nördlich von Halle im Unteren Saaletal und ist der naturräumlichen Einheit Südöstliches Harzvorland zuzuordnen (KUNERT 1970). Das Gebiet zeichnet sich durch eine hohe Heterogenität von Relief und Ausgangssubstrat und damit auch der Böden aus (Tab. 1, Abb. 1 u. 2). Nach VILLWOCK (1983) waren neben den klimatischen Bedingungen vor allem die Substrat- und Reliefverhältnisse bestimmend für die Ausbildung der Bodendecke. Die geringen Niederschläge von etwa 470 mm/a und das kontinental geprägte Klima sind Ausdruck der Zugehörigkeit des Untersuchungsraumes zum mitteldeutschen Trockengebiet und seiner Lage im Regenschatten des Harzes.

Die heutige Reliefgestalt des Untersuchungsgebietes und die Verteilung der Ausgangssubstrate geht vor allem auf die saalekaltzeitlichen glazialen und weichselkalt-

zeitlichen periglazialen Bildungsbedingungen zurück. Bestimmende geologische Einheit ist die W-E streichende Halle-Hettstedter Gebirgsbrücke, die geomorphologisch als schwach reliefierte Hochfläche in Erscheinung tritt und überwiegend von weichselkaltzeitlichen Löss und untergeordnet von saalekaltzeitlichen Geschiebemergel bedeckt wird (SCHUBERTH 1997). Die Hochfläche wird vom Durchbruchstal der Saale geteilt und am südwestlichen Rand vom Tal der Schlenze begrenzt. Die Hochflächenränder sind von Kerbsohlentälern zerschnitten, die in Richtung der Hochflächen in Wannen- und Flachmuldentäler übergehen. Vor allem an den Hochflächenrändern treten ältere Bildungen des Buntsandstein, Zechstein und Permokarbon zu Tage. Die Ausbildung des unteren Saale- und Schlenzetales südlich des Saaledurchbruches steht in Zusammenhang mit Suberosionsvorgängen von Zechsteinseimenten (KUNERT 1970: 120).

Das Landschaftsbild des Untersuchungsgebietes ist durch die intensive landwirtschaftliche, insbesondere ackerbauliche Nutzung entscheidend geprägt. Die Böden sind – bedingt durch die strukturalarme Großflächenintensivlandwirtschaft², die Erosivität der Starkniederschläge und die hohe Erodierbarkeit der bodenbildenden Ausgangssubstrate – durch flächenhafte und linienhafte Erosion in starkem Maße gefährdet.

3 Datengrundlage

Die Untersuchungen basieren im Wesentlichen auf digitalen Datensätzen. Entsprechend dem Zielmaßstab von 1:50000 fanden LANDSAT TM 5-Satellitenbildszenen mit einer geometrischen Auflösung von 30 m × 30 m Verwendung. Aus einer Reihe von Szenen wurden mit den Aufnahmen

² Im Zuge der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion in der ehemaligen DDR wurden umfangreiche Flurbereinigungsmaßnahmen durchgeführt (vgl. MICHEL 1994). Als Ausdruck moderner Landwirtschaft galten Ackerschläge von $N \times 10^2$ ha (KUGLER 1982).

Tab. 1: Zusammenhang von Relief, Substrat und Bodentyp im Untersuchungsgebiet (vereinfacht nach ALTERMANN 1970 und KAINZ et al. 1996).

Reliefeinheit	Ausgangssubstrat	Vorherrschender Bodentyp
Flachmuldentäler Dellen der Hoch- flächen	Holozäne Abschlamm-massen (sandiger) Lehm	Kolluvisol Gley Auenboden
Hochflächen	Wechselkaltzeitlicher Löß und ältere Gesteine mit Lößschleier	Tschernosem
Hochflächen- Ränder	Weichselkaltzeitlicher Löß und ältere Gesteine mit Lößschleier	Pararendzina
	Saalekaltzeitlicher Geschiebemergel	Pararendzina
	Bildungen des Buntsandstein (rotbraune Schiefertone mit Rogenstein- und Kalksandstein-Lagen)	Syrosem Pararendzina Pelosol Ranker/Regosol
	Bildungen des Zechstein (Kalk, Dolomit, Auslaugungsrückstände)	Rendzina
	Bildungen des Permokarbon (Rotbraune Sandsteine, Konglo- merate, Schluffsteine, Schiefertone	Syrosem Pararendzina Pelosol Ranker/Regosol
Saale-, Fuhne- u. Schlenzeau	Auelehm	Allochthoner, karbo- nathaltiger Auenboden

vom 08.02.90, 26.06.92 und 07.03.97 die am besten für die Fragestellung geeigneten ausgewählt (vgl. Abschnitt 4, S. 97). Als digitale Reliefdaten standen ATKIS-DGM³-Daten mit einer Rasterweite von 10 m × 10 m und einer Höhengenaugigkeit von ± 0,5 m zur Verfügung, die vom Landesvermessungsamt Sachsen-Anhalt bereitgestellt wurden. Weiterhin konnte auf eine Reihe von Referenzinformationen zurückgegriffen werden:

- digitale und analoge Bodenkarte Halle und Umgebung 1 : 50000 (BK 50) (KAINZ et al. 1996)⁴.

³ Die Vermessungsverwaltung von Sachsen-Anhalt definiert ein Digitales Geländemodell (DGM) „als Geländehöhen, die als Punktraster vorliegen“ (LVermD 1998:41). Die Rasterdaten enthalten keine Strukturelemente.

⁴ Die digitale Fassung wurde durch das Geologische Landesamt Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellt.

- Geologische Karte Blatt Könnern 4336 1 : 25000 (GK 25) (KUNERT 1970).
- Arbeitskarten und Dokumentationsblätter A der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK).
- Großmaßstäbige Bodenkarten auf Schlagniveau nach VILLWOCK (1983), MICHEL (1994), WEILAND (1982) und SCHRÖDER (1987) sowie eigene Aufnahmen.
- Panchromatische Luftbilder vom 20.10.92 und 24.04.97 (Maßstab ~ 1 : 14500) und CIR-Luftbilder vom 01.07.93 (Maßstab ~ 1 : 10000)⁵.

⁵ Die Bereitstellung erfolgte durch das Landesvermessungsamt Sachsen-Anhalt.

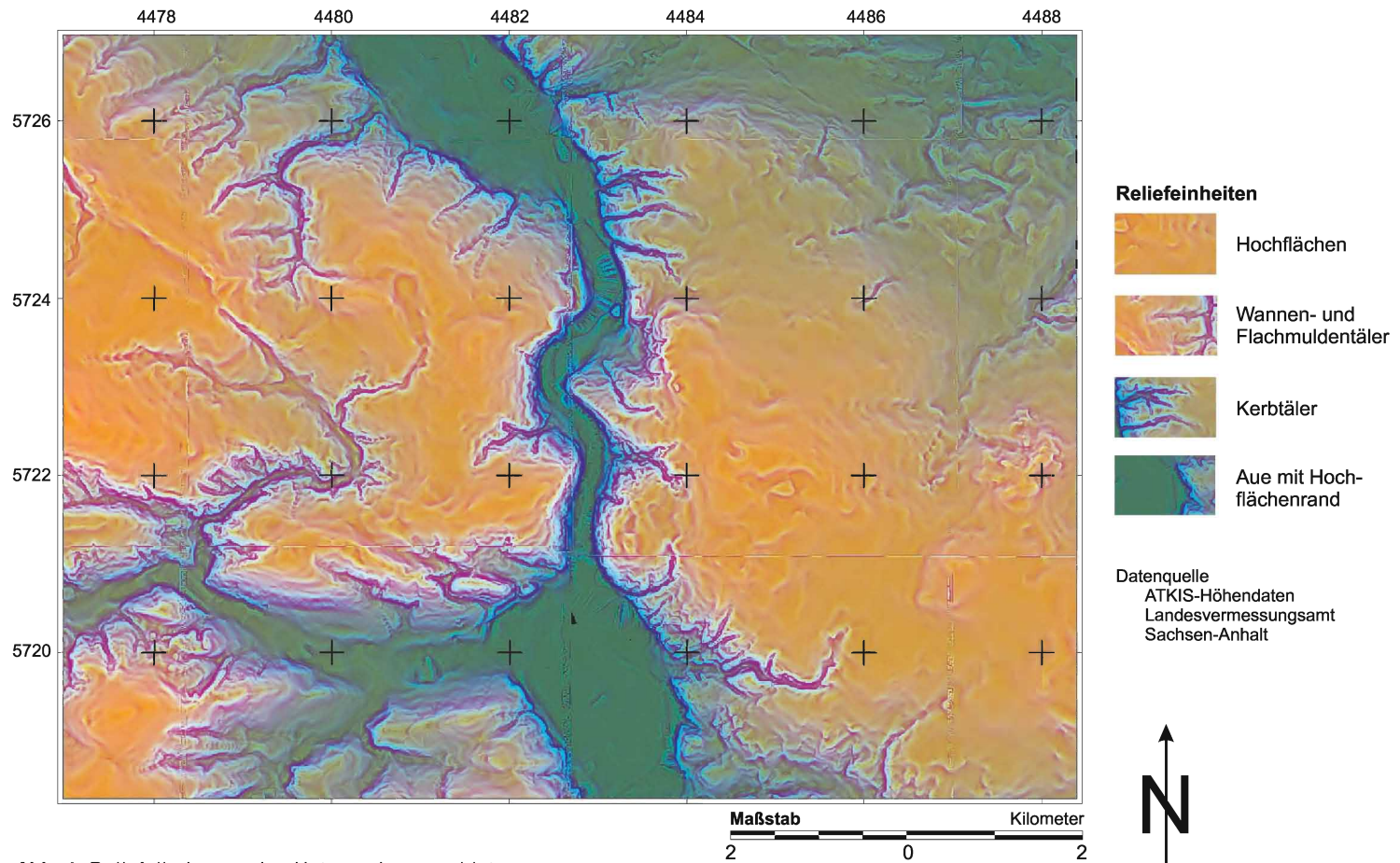


Abb. 1: Reliefgliederung des Untersuchungsgebietes
Überlagerung der Reliefeleitungen Höhe – Neigung – Vertikalwölbung (r-g-b)

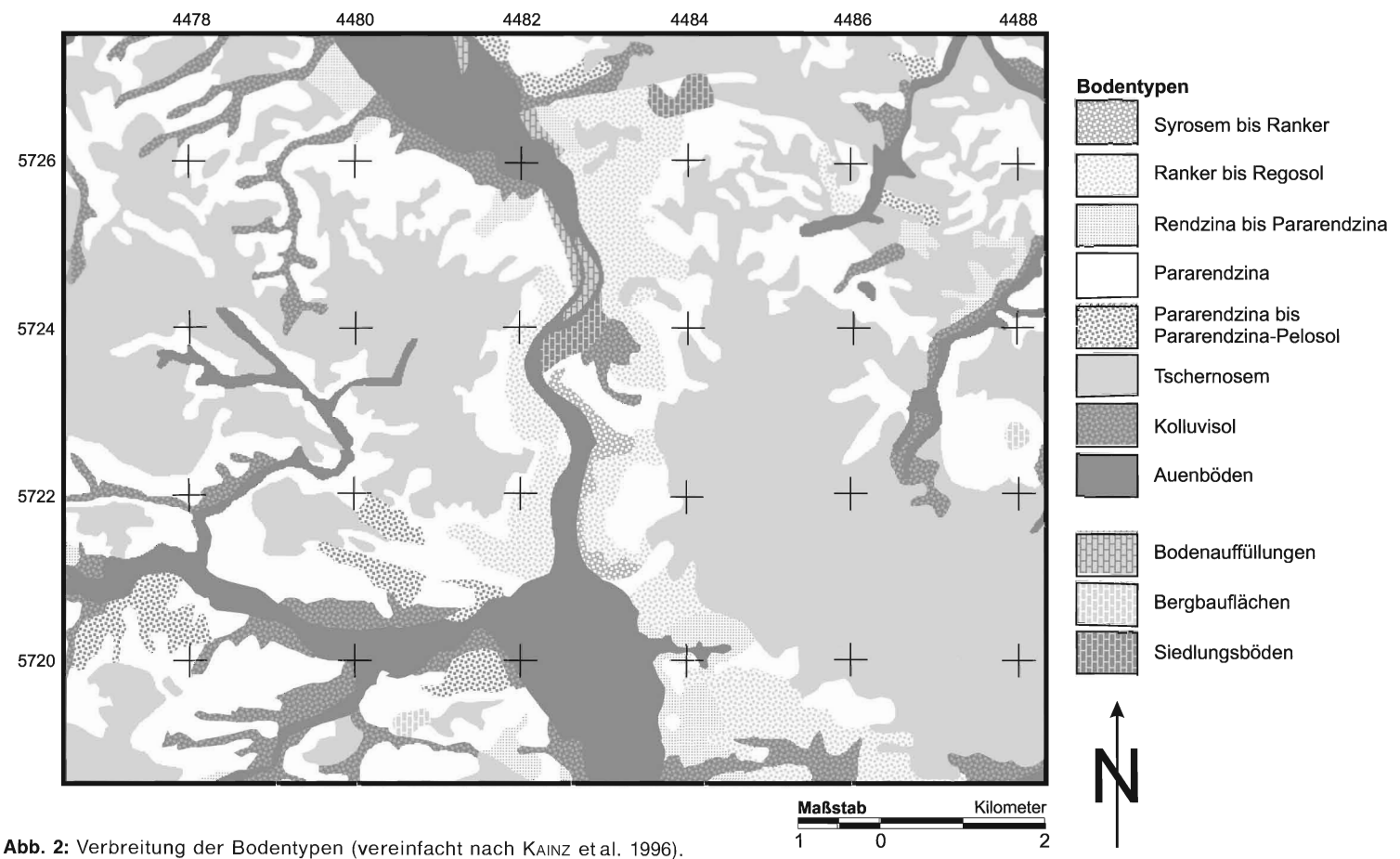


Abb. 2: Verbreitung der Bodentypen (vereinfacht nach KAINZ et al. 1996).

4 Methoden

Aus einer Reihe von Reliefanalyseverfahren (vgl. DIKAU & SCHMIDT 1999) wurden mit den Programmen SARA⁶ und IVHG⁷ zwei Systeme zur digitalen Reliefanalyse ausgewählt, die speziell für bodenkundliche Fragestellungen entwickelt wurden. Grundsätzlich kann zwischen schwellenwertgebundenen, analytischen und statistischen Reliefgliederungsverfahren unterschieden werden (FRIEDRICH 1996: 66). Nach Schwellenwerten klassifizierte Reliefattribute dienten KUGLER (1974) als Grundlage für die gefügetaxonomische Hierarchie des Georeliefs. Dieser hierarchische Ansatz fand seinen Niederschlag in der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 4 (AG BODEN) 1994). Danach lässt sich jede Reliefform [...] unabhängig von ihrer Ausdehnung in die drei einfachen Reliefformtypen Kulminationsbereich, Tiefenbereich und Hang unterteilen. Die Abgrenzung der Reliefformtypen folgt einem analytischen Verfahren. Begrenzungskriterium ist die signifikante Änderung der Neigung innerhalb einer vorgegebenen Höhenspanne.

KÖTHE & LEHMEIER (1996) setzten dieses Reliefgliederungskonzept mit dem Pro-

gramm SARA um. Das Programm SARA bietet – neben der Berechnung und Klassifikation von Reliefattributen – die Möglichkeit, automatisch flächenhafte Reliefeinheiten auszuweisen. Vertikale neigungsabhängige und horizontale expositionsabhängige Einheiten werden getrennt behandelt. Die horizontale Gliederung führt bezüglich des Oberlandabflusses zur Ausweisung von Konvergenz-, Intermediär- und Divergenzbereichen. Grundlage der neigungsabhängigen Reliefeinheiten sind Tiefenlinien, Kulminationslinien sowie konvexe und konkave Hangneigungsunstetigkeiten. Ausgehend von zuvor ausgewiesenen Tiefen- bzw. Kulminationslinien wird vom Programm zur Ermittlung einer signifikanten Neigungsunstetigkeit ein vertikales Neigungsrichtungsprofil (NRP) gelegt. Erreicht die Neigungsstärken-Differenz zweier Rasterzellen ein Maximum oder ein definiertes Signifikanzniveau, kommt es zur Grenzziehung zwischen Hang- und Tiefen- bzw. Scheitelbereichen (KÖTHE & LEHMEIER 1996, KÖTHE et al. 1996). Der Bearbeiter kann durch die Bestimmung der NRP-Anfangs- und Endpunkte a und b Einfluss auf die Grenzziehung nehmen (Abb. 3). Eine zielmaßstabsbezogene Beeinflussung der SARA-Ergebniskonturen gelingt über die Rasterweite des DGM.

Bei dem System IVHG handelt es sich um ein Verfahren, das zur Ausgliederung homogener Reliefeinheiten führt, die „eine deutliche Übereinstimmung mit der flächenhaf-

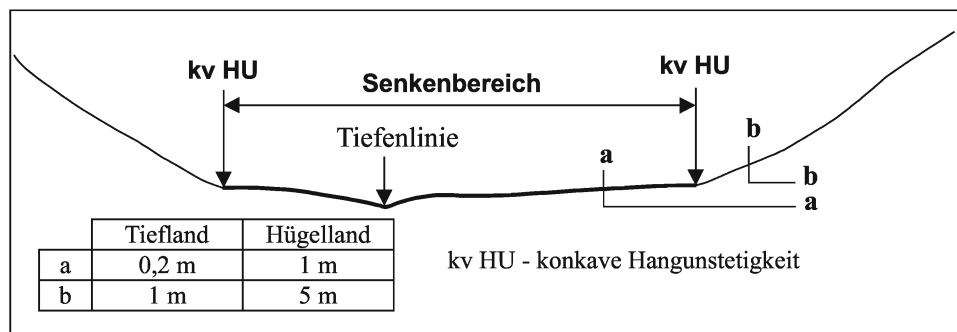


Abb. 3: Definition und Prinzip der Ermittlung von Tiefenbereichen (nach KÖTHE et al. 1996: 33 und AG BODEN 1994: 66).

Tab. 2: Inhalt einer Parameterdatei (FRIEDRICH & METZLER 1998).

Klassen-Datei : dgm1k.dat	}	Ausgabedateien
Durchschnitte-Datei : dgm1d.dat		
Nachbarklassen-Datei : dgm1n.dat		
Grenzlinien-Datei : dgm1l.dat		
Polygonpunkte-Datei : dgm1p.dat		
Anzahl der Klassen : 500 →	}	Generalisierungsparameter
Anzahl der Variablen : 1		
Verschiebung der Variablen 1 : 0.0		Modellierungsparameter
Gewichtung der Variablen 1 : 1.0		
Transformation der Variablen 1 : 0.000667		
Quelldatei der Variablen 1 : Vertikalwölbung		
Distanzfunktion : 1		

ten Ausprägung von Boden und Geologie aufweisen“ (FRIEDRICH 1996 : 3). Im Unterschied zum Ansatz von SARA kann mit dem Programm „eine Reliefgliederung auf Grundlage einer Erfassung der gesamten Formgestalt“ (FRIEDRICH 1996 : 114) abgeleitet werden. Anders als bei herkömmlichen Clusterverfahren wird mit dem Programm die Gruppierung nach ähnlichen oder gleichen geomorphologischen Eigenschaften im n-dimensionalen Merkmalsraum unter Beachtung der Raumbeziehungen in der Datenmatrix vorgenommen (Abb. 4). Eingabe-, Steuerungs- und Ausgabeparameter sind in einer Parameterdatei niedergelegt (Tab. 2). Als Inputdaten wurden die Vertikal- und Querkrümmung verwendet, da sich „Neigung und Wölbung und damit in der Regel die Bodeneigenschaften [...] inner-

halb eines einfachen Reliefformentyps in relativ engen Grenzen“ bewegen (AG BODEN 1994 : 57).

Die Auswahl der LANDSAT TM-Satellitenbildszenen (vgl. Abschnitt 3, S. 93) wurde anhand folgender Kriterien vorgenommen:

- meteorologische Bedingungen während und vor der Aufnahme.
- Erkennbarkeit von Reliefelementen (z. B. von Kerb- und Flachmuldentälern).
- substratbedingte und phänologische Differenzierung des Bestandes der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Auf die einzelnen Szenen wurden mit dem Programm ERDAS IMAGINE 8.3 – neben einer visuellen Interpretation – Verfahren der Datenvorverarbeitung sowie der unüberwachten und überwachten Klassifikation angewendet (Tab. 3).

Tab. 3: Angewendete Verfahren der Satellitenbildverarbeitung.

Datenvorverarbeitung	<ul style="list-style-type: none">● Hauptkomponentenanalyse● tasseled cap-Ableitungen brightness, wetness u. greenness● NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)● SWCI (Soil Water Content Index nach Su et al. 1992)● SBI (Soil Brightness Index nach HERBINGER 1996)
Unüberwachte Klassifikation	ISODATA-Clustering
Überwachte Klassifikation	Maximum-Likelihood-Klassifikator in Kombination mit Quader-Box-Verfahren

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der angewendeten Verfahren wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die Bodenkartierung im Maßstab 1:50 000 anhand der qualitativen Kriterien *Plausibilität* und *Nachvollziehbarkeit der Grenzen und Inhalte* sowie *Praktikabilität* überprüft (Tab. 4). Die Praktikabilität ergibt sich aus den Anforderungen, die eine Methode an den Nutzer stellt und dem damit in einem vertretbaren Zeitraum erzielten Ergebnis. Eine statistische Überprüfung der Auswertungen wurde bisher nicht vorgenommen, da die gewonnenen Flächendaten noch keine Bodeneinheiten darstellen.

Die mit dem Programm IVHG ausgegrenzten homogenen Reliefeinheiten spiegeln sich in den Bodeneinheiten der BK 50 wider (Abb. 2 u. 5). Jede Reliefeinheit repräsentiert eine durchschnittliche Vertikal- und Querwölbung. Als Maß für die Trennbarkeit der Reliefeinheiten dient die euklidische Distanz. Die homogenen Reliefeinheiten sind das Resultat eines Auswahl- und Modellierungsprozesses, der zur Ausweisung statistisch objektiver Einheiten führt. Die Festlegung der jeweiligen Parametereinstellung basiert auf dem Erfahrungsschatz und Fachwissen des Bearbeiters. Dabei sind im

Unterschied zur Erstellung analoger Karten alle Schritte des Auswahl- und Modellierungsprozesses nachvollziehbar und überprüfbar. Das Programm IVHG bietet die Möglichkeit, Parametereinstellungen und Inputdaten zielmaßstabsbezogen auszuwählen und zu variieren. Vor allem mit der Festlegung der Klassenanzahl kann der Generalisierungsgrad des Ergebnisses bestimmt werden⁸ (vgl. Tab. 2). Defizite bestehen in den Überlappungsbereichen der im TK10-Blattschnitt ausgegebenen ATKIS-Höhen- und auf Grund der geringen Datendichte in Talniederungen mit flacher Sohle (vgl. Abb. 1 u. 5)

Die mit dem Programm SARA vorgenommene getrennte Ausweisung horizontaler und vertikaler Hangbereiche führte – abgesehen von der vertikalen Einheit Tiefenbereiche – zu einer nicht zufrieden stellenden Reliefgliederung des Untersuchungsgebietes (vgl. auch FRIEDRICH 1996:92, 114). Auf Grund ihrer fluviatilen Genese weisen Tiefenbereiche im Gegensatz zu Scheitel- und Hangbereichen, die vorwie-

⁸ In einer späteren Version ist die Flächengröße als Generalisierungskriterium vorgesehen (FRIEDRICH & METZLER 1998)

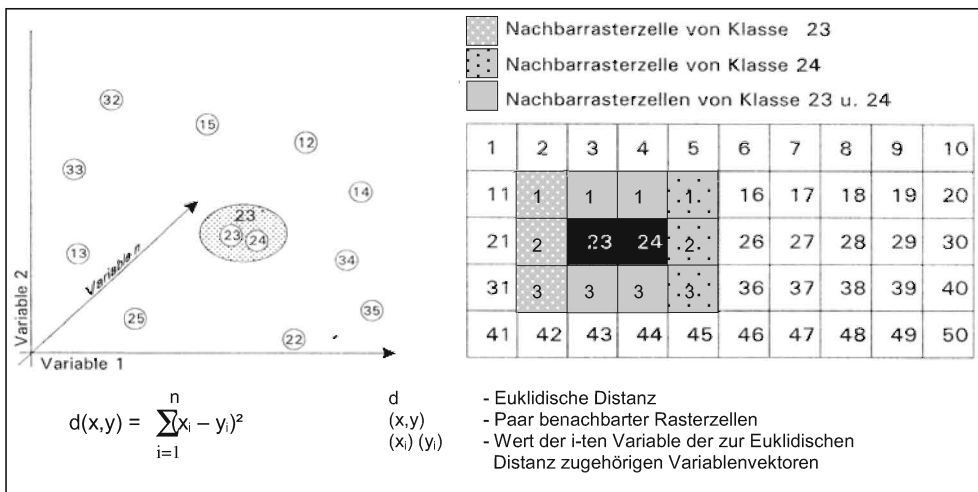


Abb. 4: Prinzip der Bildung homogener räumlicher Einheiten (FRIEDRICH 1996).

Tab. 4: Vergleich der angewendeten Methoden hinsichtlich ihrer Eignung für die bodenkundliche Kartierung des Zielmaßstabes 1 : 50000 (+ hoch / o mittel / – gering).

	Satellitenbilddauswertung mit IMAGINE		Interaktive Senkenbereichsausweisung	Digitale Reliefanalyse mit	
	automatisiert	visuell		SARA	IVHG
Eignung für konturscharfe Grenzziehung	–	–	o	o	+
Nachvollziehbarkeit und Plausibilität der Grenzen	–	o	o	o	+
blattschnittfreies Arbeiten	+	+	o	o	+
Praktikabilität	–	+	+	o	+

gend solifluidal und äolisch überprägt wurden, in der Regel eine erkennbare vertikale Begrenzung auf. Allerdings wurde deutlich, dass das Untersuchungsgebiet durch *eine* Parametereinstellung nicht gefasst werden konnte. Konnten für einzelne Landschaftseinheiten – wie Hochflächen und Hochflächenränder – sinnvolle Parametereinstellungen gefunden werden, erwies sich die Übertragung auf das gesamte Untersuchungsgebiet als nicht machbar.

Eine Erhöhung der Plausibilität der Grenzen bei eingeschränkter Nachvollziehbarkeit konnte auf der Grundlage der SARA-Senkenbereiche durch eine interaktive Digitalisierung am Bildschirm unter Hinzuziehung der LANDSAT TM5-Satellitenszene vom 29.06.96 sowie der Vertikalwölbung erreicht werden (Abb. 5). Die räumliche Differenzierung entspricht der Geologischen Karte 1 : 25000 (GK 25) des Untersuchungsgebietes. Die bodenkundlich erforderliche Zuordnung der linearen Senkenbereiche zu kolluvial oder vorwiegend fluviatil beeinflussten Arealen ist mit der vorgestellten Methodik nicht möglich.

Die Auswertung der LANDSAT TM5-Satellitenbildszenen ergab, dass lediglich eine visuelle Interpretation in einem vertretbaren Zeitraum sinnvolle Ergebnisse brachte. Die auf LANDSAT TM5-Kanälen und

deren Vorverarbeitungsprodukte angewendeten überwachten und unüberwachten Klassifikationsverfahren führten bei einzelnen Trainingsgebieten zu guten Ergebnissen. Eine Transformation der Ergebnisse auf größere Areale bzw. auf das gesamte Untersuchungsgebiet gelang dagegen bisher nicht. Der Nachbearbeitungsaufwand war im Sinne der Praktikabilität zu hoch. Die Gründe dürften vor allem in dem Umstand zu suchen sein, dass die Trainingsgebiete den Anforderungen hinsichtlich Repräsentativität und Homogenität für das gesamte Untersuchungsgebiet nicht genügten. Diese Bedingungen gelten letztendlich jeweils nur für einen Ackerschlag, der eine einheitliche landwirtschaftliche Bearbeitung erfahren hat. Neben Substrat und Vegetationsbedeckung beeinflussen offenbar andere schwer handhabbare Faktoren – wie die Art der landwirtschaftlichen Bearbeitung – das spektrale Signal (vgl. HERBINGER 1996, WEVER 1989, BRIXY 1997 u. 1998).

Als Konsequenz wurde mit dem Programm ERDAS IMAGINE auf LANDSAT TM5-Satellitenbilder verschiedener Jahrgänge eine visuelle schlagweise Ausmaskierung von Bereichen relativ geringer bzw. hoher Reflexion vorgenommen. Dieser Ansatz hat bei geringer Nachvollziehbarkeit und Plausibilität der Grenzen den Vorteil,

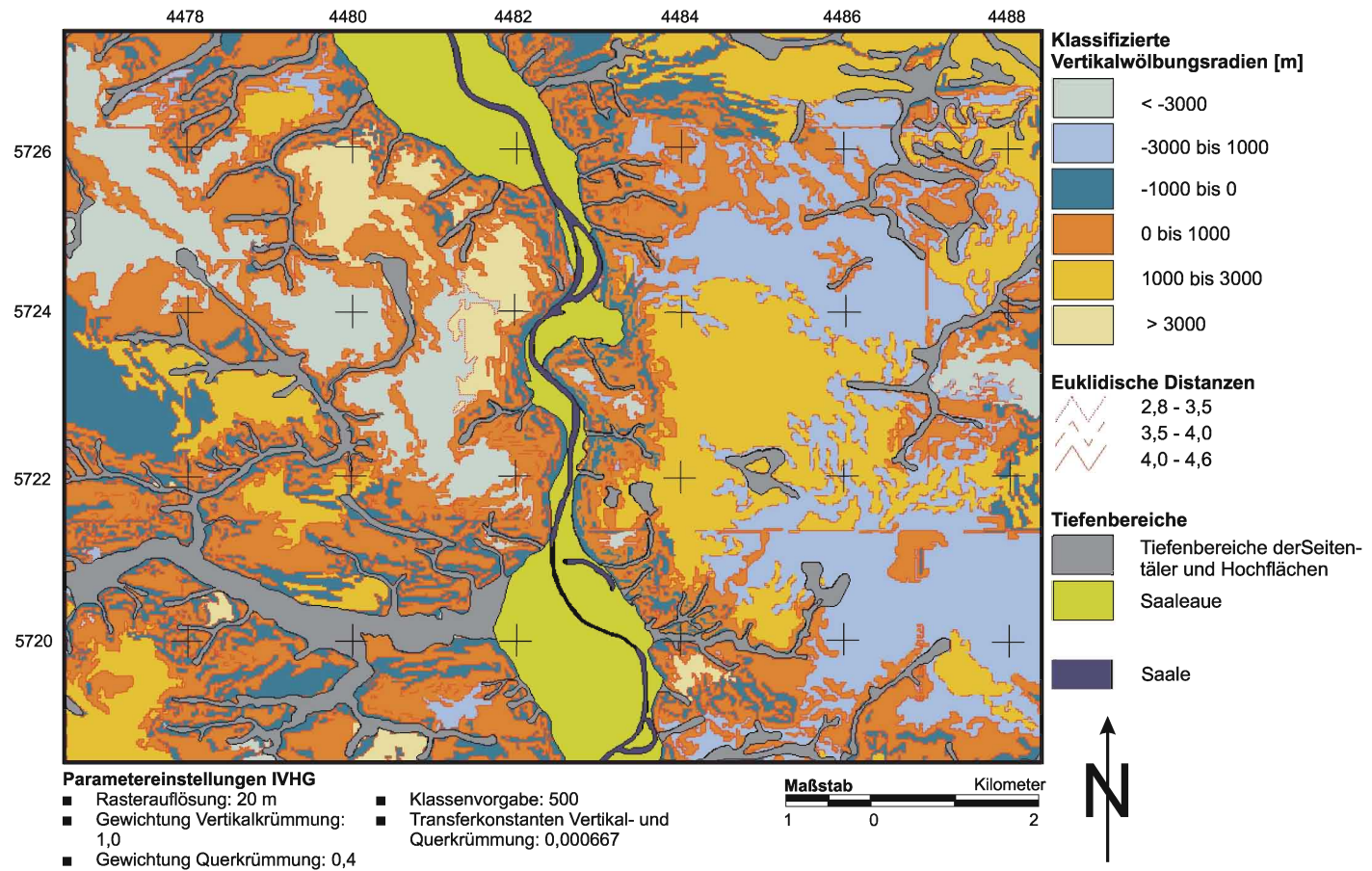


Abb. 5: Homogene Reliefeinheiten und interaktiv ausgewiesene Tiefenbereiche.

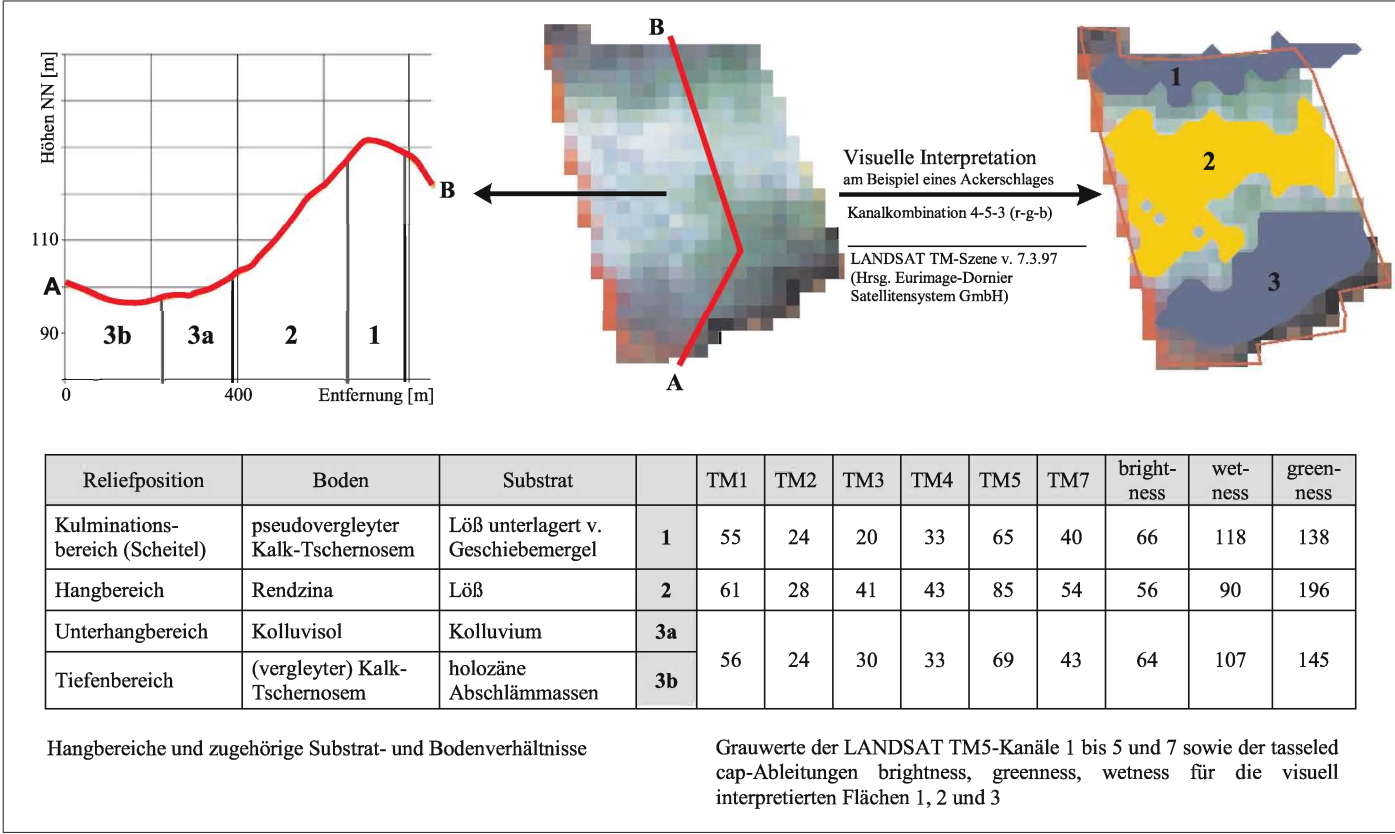


Abb. 6: Prinzip der visuellen Interpretation bodenkundlich relevanter Konturen und deren Zusammenhang mit Relief-, Boden- und Substratverhältnissen.

unabhängig von Substratheterogenität und Vegetationsbedeckung auf das gesamte Untersuchungsgebiet bei hoher inhaltlicher Plausibilität anwendbar zu sein (Abb. 6). Durch die Einbeziehung mehrerer Satellitenbildszenen besteht die Möglichkeit, die Vorteile der jeweiligen Jahreszeit hinsichtlich der Abbildungseigenschaften zu nutzen. Zudem kann sich auf diesem Wege stabilen Bodenmustern im Sinne von SCHRÖDER (1984) genähert werden⁹.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Ergebnisse der digitalen Reliefanalyse und Satellitenbildauswertung eine große Relevanz für die bodenkundliche Kartierung des Zielmaßstabes 1 : 50000 besitzen. Den homogenen Reliefeinheiten und den – mit Einschränkungen – interaktiv ausgewiesenen Tiefenbereichen kommen für die nachvollziehbare Konturfindung bzw. Grenzziehung eine besondere Bedeutung zu. Die verwendeten Satellitenbildszenen sind nur bedingt für die räumliche Abgrenzung bodenkundlich relevanter Konturen geeignet. Voraussetzung sind multitemporale Auswertungen, die zu stabilen Mustern führen können. Ihre Stärke liegt dagegen im inhaltlichen Aussagepotenzial zur Abschätzung der inneren Heterogenität von räumlichen Einheiten. Insgesamt ist festzustellen, dass erst die räumliche und inhaltliche Integration der Informationsträger deren Potenzial für die Ableitung bodenkundlich relevanter Muster und Aussagen ausschöpfen kann (Abb. 7) – ein Umstand, der schon bei der analogen luftbildgestützten bodenkundlichen Kartierung Berücksichtigung fand (vgl. GOOSEN 1967, JAKOB 1981, VILLWOCK 1985, 1983).

⁹ Das Problem, dass sich Bodenformenwechsel in natura zumeist als ein Kontinuum und die üblicherweise verwendeten starren Grenzen lediglich eine Näherung an die natürlichen Verhältnisse darstellen, soll an dieser Stelle nur erwähnt und nicht diskutiert werden (vgl. Satellitenbildauschnitt in Abb. 6).

Eine einfache Methode der Integration verschiedener Informationsträger ist die GIS-technische Verschneidung z.B. der homogenen Reliefeinheiten mit der MMK, was zur Bildung kleinster gemeinsamer Geometrien führt. Zu beachten ist dabei allerdings, dass das Verschneidungsprodukt durch eine Vielzahl von Flächen kleiner Größe geprägt ist, die eine für den Zielmaßstab 1 : 50000 sinnvolle Mindestflächengröße unterschreiten und die somit nicht mehr in Bezug zur mittelmaßstäbigen Verteilung der Bodenformen stehen. Auch hat die Verschneidung von Informationsschichten unterschiedlicher Nachvollziehbarkeit insgesamt einen Verlust der Nachvollziehbarkeit zur Folge. Eine Möglichkeit, räumliche Einheiten einer maßstabsgerechten Größe zu erhalten, stellten z.B. CALZOLARI et al. (1996) vor, die das Verschneidungsprodukt von LANDSAT TM5-Ableitungen und digitalen Reliefdaten einer anschließenden Filterung hinsichtlich redundanter Informationen unterzogen.

Eine weitere Möglichkeit der räumlichen und inhaltlichen Integration von raumbezogenen Daten ist die Bildung von gemeinsamen, räumlich definierten Basisgeometrien. Die Flächeneinheiten werden als räumliche Objekte verstanden, die in einem nachfolgenden Schritt mit einem Flächendatensatz bzw. Attributen belegt werden können. Auf diese Weise ist es zum Beispiel möglich, eine integrierte Relief- und Satellitenbildauswertung vorzunehmen und zu einer Erweiterung der Kartiereinheiten im Sinne von SPIESS et al. (1998) und FRIEDRICH (1999) zu gelangen. Danach stellt sich eine Bodenkarte nur als eine „Sicht“ bzw. Auswertemethode auf die Datengrundlage einer Flächen-datenbank dar. Die Integration weiterer Standortparameter wie Bodennutzung und -bedeckung führt schließlich zu „nutzungsdifferenzierten Bodenformengesellschaften.“

Dank

Der Autor dankt Prof. Dr. CORNELIA GLÄßER (Institut für Geographie der Martin-Luther-Universität Halle) für die anregende

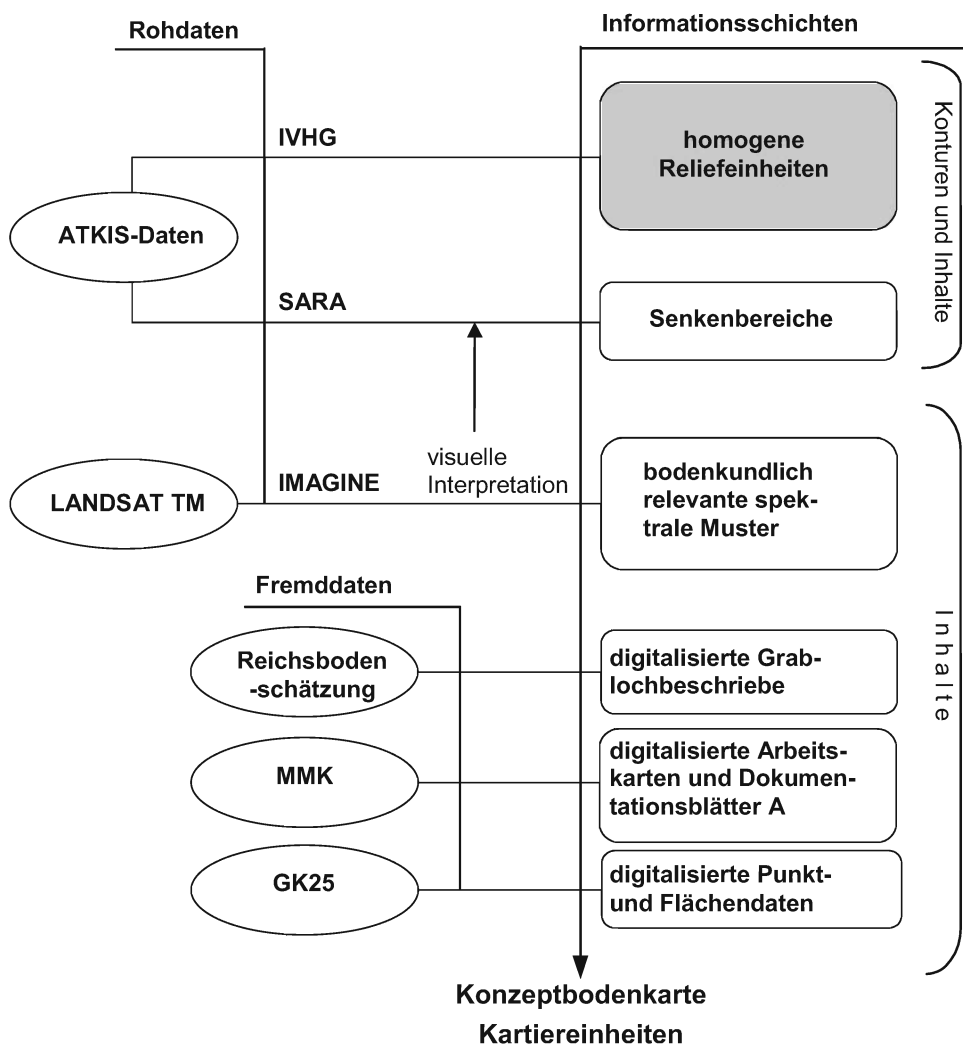


Abb. 7: Räumliche und inhaltliche Integration verschiedener Informationsträger zur Bildung von Kartiereinheiten.

Diskussion bei der Erstellung des Manuskriptes sowie für die Unterstützung der Publikation. Dr. KLAUS FRIEDRICH (Hessisches Landesamt für Geologie und Rohstoffe Wiesbaden) und Herr RÜDIGER KÖTHE (Göttingen) stellten die Reliefanalyseprogramme IVHG und SARA in unkomplizierter Weise zur Verfügung. Dr. MARTIN VOLK (UFZ Leipzig-Halle) sei für das kritische Lesen des Manuskriptes gedankt. Prof. Dr.

RUDOLF KRÖNERT (UFZ Leipzig-Halle) unterstützte die Publikation. Die Veröffentlichung der Reliefanalyseergebnisse unter Nutzung der ATKIS-Höhendaten (Abb. 1 u. 5) erfolgt mit Genehmigung des Landesamtes für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt. Für die Bereitstellung und Veröffentlichungsgenehmigung eines Ausschnittes der Bodenkarte Halle und Umgebung 1:50000 sowie für die Un-

terstützung bei der Diplomarbeit sei dem Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt, insbesondere Dr. D. FELDHAUS und Dr. K.-J. HARTMANN, gedankt.

Literatur

- AG BODEN, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Aufl., Hannover.
- ALTERMANN, M., 1970: Böden. – In: KUNERT, 1970.
- BAURIEGEL, A., KÜHN, D. & HANNEMANN, J., 1997: Beziehungen zwischen Punkt- und Flächendaten am Beispiel der BÜK 50, Blatt Potsdam. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **85** (3): 1099–1102, Oldenburg.
- BRIXY, I., 1997: Erfassung erosionsgeschädigter Böden in der Lößlandschaft des Querfurter Raumes anhand von Daten des LANDSAT TM. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **83**: 395–389, Oldenburg.
- BRIXY, I., 1998: Satellitenbildanalyse erosionsgeschädigter Böden in der Lößlandschaft des Raumes Halle-Querfurt im Mitteldeutschen Trockengebiet. – Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen.
- CALZOLARI, C., ONGARO, L., SAFRATTI, P. & MAGGAZZINI, P., 1996: Use of LANDSAT TM and DEM data in producing reconnaissance scale soil map – monitoring soils in the environment with remote sensing and GIS. – Proceedings of the ISSS International Symposium in Ouagadougou (Burkina Faso) from 6 to 10 February 1995, Institut Français de la Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Collection Colloques et Seminaires; 325–340.
- CHRISTENSEN, S., 1999: Anforderungen an Informationsgrundlagen gemäß Bundesbodenschutzgesetz. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **91**: 11–14, Hannover.
- DIKAU, R. & SCHMIDT, J., 1999: Georeliefklassifikation. – In: SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D. & GEROLD, G. (Hrsg.): Landschaftsökologie. – 217–244, Heidelberg.
- FRIEDRICH, K., 1996: Digitale Reliefgliederungsverfahren zur Ableitung bodenkundlich relevanter Flächeneinheiten. – Frankfurter geowissenschaftliche Arbeiten, D **21**, Frankfurt/Main.
- FRIEDRICH, K., 1998: Multivariate distance methods for Geomorphographic relief classification. – In: Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources, EUR 17729EN, 259–265, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg; <http://www.bgr.de/N2/TEXT/contenu.htm>.
- FRIEDRICH, K., 1999: Bodenverbreitung und Bodenzustand – Sachverstand und Möglichkeiten der Nutzung von Vorinformationen. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **91**: 977–980, Hannover.
- FRIEDRICH, K. & METZLER, D., 1998: Dokumentation zum Programm IVHG – Version 0.71., unveröff.
- GLÄßER, C., 1985: Untersuchungen zur Abbildung von Lößböden in multispektralen Luftbildern. – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften **10**: 93–103, Gotha.
- GLÄßER, C., 1989: Beiträge zur Anwendung der Multispektraltechnik für die Lösung geowissenschaftlicher Arbeiten. – Dissertation B, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- HEINECKE, H.J., FILIPINSKI, M. & DUMKE, I., 1995: Vorschlag zum Aufbau des Fachinformationssystems Bodenkunde. – Geologisches Jahrbuch **F 30**: 3–82, Hannover.
- HERBINGER, W., 1996: Analyse von Möglichkeiten zur Unterstützung der Bodenkartierung durch Photogrammetrie und Fernerkundung. – Diplomarbeit, Universität Karlsruhe.
- KAINZ, W., SCHRÖDER, H., KNAUF, C. & MÖBES, A., 1996: Bodenkarte Halle und Umgebung 1:50000. – Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle.
- KÖTHE, R., GERTH, E. & BÖRNER, J., 1996: Automatische Reliefanalyse für geowissenschaftliche Kartierungen – derzeitiger Stand und Weiterentwicklungen des Programmes SARA. – Arbeitshefte Geologie **1**: 31–37, Hannover.
- KÖTHE, R. & LEHMEIER, F., 1996: SARA – System zur automatischen Reliefanalyse – Benutzerhandbuch. – Geographisches Institut der Universität Göttingen, Göttingen; <http://uggg-pps1.uni-geog.gwdg.de/pg/sara/sara-d.htm>.
- KUGLER, H., 1974: Das Georelief und seine kartographische Modellierung. – Dissertation B, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- KUGLER, H., 1982: Geomorphologische Aspekte mittelmaßstäbiger Kartierung landwirtschaftlicher Nutzflächen. – In: DEMEK, J., EMBLETON, C. & KUGLER, H. (Hrsg.): Geomorphologische Kartierung in mittleren Maßstäben, Gotha.
- KÜHN, D., 1996: Anleitung zur Erarbeitung einer Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50000 (BÜK 50) für das Land Brandenburg. – Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Dezernat Bodengeologie, unv..

- KUNERT, R., 1970: Geologische Spezialkarte 1:25000 und Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte 1:25000, Blatt Könnern 4336 – Bearbeitungsstand 1963. – Zentrales Geologisches Institut, Berlin.
- LVerMD – Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt, 1998: Topographische Landeskartenwerke. – Halle.
- MICHEL, C., 1994: Großmaßstäbige Bodenkartierung zur Abschätzung des Erosionsgeschehens im Bereich Himmelberge zwischen Wettin und Dössel. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- MÖLLER, M., 1999: Anwendung von Methoden der Satellitenbilddauswertung und digitalen Reliefanalyse für die bodenkundliche Kartierung am Beispiel des Raumes Könnern für den Zielmaßstab 1:50000. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- RIEDEL, C., 1981: Untersuchungen zur bodengeographischen Interpretation von multispektralen Luftbildern. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- SCHRÖDER, H., 1984: Musterausprägung und spektrales Abbildungsverhalten von Lössböden im Mittelsächsischen Hügeland. – Geographische Berichte **112** (3): 185–196.
- SCHRÖDER, H., 1987: Bodenformenkarte 1:5000 – Versuchsfeld Golbitz und Strenznaundorf. – GFE, Halle.
- SCHUBERTH, K., 1997: Geologische Verhältnisse und Landschaftsformen. – Arbeiten aus dem Naturpark „Unteres Saaletal“ **5**: 10–28, Halle.
- SPIESS, E. D., BROTSCHISKI, W.S., FRIEDRICH, K. & VORDERBRÜGGE, TH., 1998: A Soil Information Database for spatial soil data integrating landuse relief classification. – In: Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources, EUR 17729EN, 481–499, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg; <http://www.bgr.de/N2/TEXT/conteu.htm>.
- SU, Z., NEUMANN, P., FETT, W., SCHUHMANN, A. & SCHULTZ, G.A., 1992: Application of remote sensing and geographic information system in hydrological modelling. – EAR-SeL, Advances in Remote Sensing **1** (3): 180–185.
- VILLWOCK, G., 1983: Untersuchungen zur Ermittlung von Merkmalen der standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen mit Methoden der Geofernerkundung. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- VILLWOCK, G., 1985: Abbildungsverhalten bodenbedingter Standortmerkmale in multispektralen Luftbildern als Grundlage zur Erfassung der Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen. – Wiss. Z. Univ. Halle XXXIV'85, M, **3**: 37–45, Halle.
- WEILAND, M., 1982: Untersuchungen zur standörtlichen Heterogenität von Ackerflächen im Raum Friedeburg“. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- WEVER, T., 1989: Versuch eines Rückschlusses aus der Vegetation auf den geologischen Untergrund im Raum Amberg mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung nach TM-Daten. – DFVLR-FB 89–24, Oberpfaffenhofen.
- Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Geogr. MARKUS MÖLLER
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH,
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Permoserstr. 15
D-04318 Leipzig
Tel.: 0341/235-2586, Fax: 0341/235-2511
e-mail: moeller@alok.ufz.de
- Manuskript eingegangen: November 2000
Angenommen: Dezember 2000

