

Benjamin Ducke

Ein Erosionsmodell für die brandenburgische
Archäologie. Belege zur Akkumulation und
Erosion am Beispiel des Fundplatzes Dyrotz 37

Wünsdorf 2002

Druck und Herstellung: Selbstverlag

Copyright 1998 Benjamin Duce

ducke@zedat.fu-berlin.de

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| I | Thematische Einführung und theoretische Grundlagen | 9 |
| 1 | Zur Entstehung dieser Arbeit | 9 |
| 2 | Bodenerosion und archäologisches Potential | 13 |
| 3 | Zielsetzung und Vorgehensweise | 15 |
| 4 | Begriff der Bodenerosion | 18 |
| 5 | Landschaftsformende Erosionsprozesse | 19 |
| 5.1 | Wassererosion | 20 |
| 5.2 | Winderosion (äolische Erosion und Sedimentation) | 21 |
| 5.3 | Fließgewässererosion (fluviale Erosion und Sedimentation) | 23 |
| 5.4 | Sonstige Erosionsprozesse | 23 |
| 6 | Allgemeine Eigenschaften der Bodenerosion | 24 |
| 6.1 | Bedeutung der Kolluvienbildung | 25 |
| 6.2 | Entwicklungsgeschichte der Bodenerosion | 28 |
| 6.2.1 | Neolithikum bis römische Kaiserzeit | 29 |
| 6.2.2 | Völkerwanderungszeit | 30 |
| 6.2.3 | Mittelalter | 30 |
| 6.2.4 | Neuzeit | 32 |
| 6.2.5 | Moderne | 32 |
| 7 | Ausgewählte Bodenerosionsbilanzen | 33 |
| 7.1 | Die Grabung Dahmsdorf | 33 |
| 7.2 | Die Grabung Glasow | 36 |
| 7.3 | Die Grabung Klessin | 38 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| II | Technisch-methodische Grundlagen und Implementierung | 39 |
| 8 | Erosionsmodelle in Forschung und Anwendung | 39 |
| 8.1 | Empirische Modelle | 40 |
| 8.1.1 | (R)USLE und ABAG | 40 |
| 8.1.2 | USPED | 41 |
| 8.2 | Physikalische Modelle | 43 |
| 8.2.1 | USDA-WEPP, EUROSEM, EROSION-3D und ähnliche Modelle | 43 |
| 8.2.2 | Das CHILD-Modell | 44 |
| 9 | Spezifikation eines archäologischen Erosionsmodells | 46 |
| 10 | Datengrundlagen und technische Voraussetzungen | 47 |
| 10.1 | Integration von Archäo- und Geodaten mittels GIS | 47 |
| 10.2 | Vervollständigung des Datenmodells per Interpolation | 49 |
| 11 | Quantifizierung der Modellfaktoren | 52 |
| 11.1 | LS-Faktor – Topographie | 53 |
| 11.1.1 | Höhe | 53 |
| 11.1.2 | Hangneigung | 56 |
| 11.1.3 | Hangrichtung | 58 |
| 11.1.4 | Profil- und Tangentialkrümmung | 60 |
| 11.1.5 | Fließlinien | 63 |
| 11.2 | R-Faktor – Regenerosivität | 65 |
| 11.3 | C-Faktor – Bedeckung | 67 |
| 11.4 | K-Faktor – Bodenerodierbarkeit | 68 |
| 12 | Anwendung des Erosionsmodells | 72 |
| III | Modell-Verifizierung am Fundplatz Dyrotz 37 | 81 |

| | |
|---|-----------|
| 13 Die Fundstelle Dyrotz 37 | 81 |
| | |
| 14 Prähistorische Besiedlungsphasen von Dyrotz 37 | 83 |
| 14.1 Die Besiedlungsphasen | 84 |
| 14.2 Zur Datierung der Besiedlungsphasen | 85 |
| 14.3 Neolithikum | 86 |
| 14.3.1 Siedlungsgrube 2002 | 86 |
| 14.3.2 Siedlungsgrube 6027 | 87 |
| 14.3.3 Röhrenbrunnen 9345, 9382 | 87 |
| 14.3.4 Rest eines Röhrenbrunnens 9371 | 91 |
| 14.4 Bronzezeit | 91 |
| 14.4.1 Siedlungsgrube 3016 | 92 |
| 14.4.2 Grubenkomplex 5003 bzw. Stelle 5045 | 92 |
| 14.4.3 Grubenkomplex 6010 | 93 |
| 14.4.4 Holzwandkonstruktion 9037-9362 | 93 |
| 14.5 Vorrömische Eisenzeit | 97 |
| 14.5.1 Siedlungsgrube 211 | 97 |
| 14.5.2 Mulde im Kolluvium (4012 u. 4013) | 97 |
| 14.5.3 Grubenkomplex 5003 bzw. Stelle 5045 | 98 |
| 14.5.4 Siedlungsgrube 5005 | 98 |
| 14.6 Römische Kaiserzeit | 101 |
| 14.6.1 Grubenhaus (Stellen 101, 112-115, 118,119) | 102 |
| 14.6.2 Grubenkomplex 5003 | 102 |
| 14.6.3 Grubenkomplex 5003 bzw. 5045 | 103 |
| 14.6.4 Siedlungsgruben 5004, 5006, 5013 | 103 |
| 14.6.5 Siedlungsgrube 6003 | 104 |
| 14.6.6 Grubenkomplex 6010 | 104 |
| 14.6.7 Siedlungsgrube 7008 | 104 |

| | |
|--|------------|
| 15 Stratigraphie der Fundstelle Dyrotz 37 | 112 |
| IV Auswertungsteil | 117 |
| 16 Zur Aussagefähigkeit des Modells | 117 |
| 17 Bodenerosion und archäologische Landschaften | 119 |
| 18 Bodenerosion und archäologische Fundstellen | 121 |
| 19 Weitere Möglichkeiten | 123 |
| 20 Ergebnisse der Untersuchung | 125 |
| V Anhang | 129 |
| A Literatur | 129 |
| B Tabellen | 145 |
| C Abbildungen | 145 |
| D Formeln | 147 |

Zusammenfassung

Der vorliegende Text ist die korrigierte und ergänzte Version meiner Magisterarbeit, die ich am 17.10.2002 am Institut für Prähistorische Archäologie der Freien Universität Berlin eingereicht habe. Die Arbeit untersucht die Beziehungen zwischen prähistorischen Fundplätzen und ihrer geomorphologischen Umgebung unter dem Aspekt der oberirdischen Fundstellenverbreitung und zu erwartenden unterirdischen -erhaltung. Stellvertretend für die geomorphologisch-archäologische Situation in weiten Teilen Brandenburgs, wird ein Testgebiet von ca. 53 km² im Havelland bearbeitet.

Über ein generalisiertes Erosions- und Akkumulationsmodell wird eine formale Beziehung zwischen den überirdisch sichtbaren Resten und dem tatsächlichen, unterirdischen Potential der Fundstellen hergestellt, um das archäologische Potential einer Landschaft auch ohne zeit- und kostenintensive Feldbegehungen besser einschätzbar zu machen. Als wichtiger Aspekt einer präziseren Vorstellung des archäologischen Potentials einer Landschaft wird eine räumliche Modellvorstellung von der Verbreitung und Mächtigkeit der die Fundstellen überdeckenden Kolluvien im Unterhangbereich einerseits und der von Erosion besonders schwer betroffenen Oberhanglagen andererseits betrachtet. Die dabei vorausgesetzten Prozesse werden anhand einer großen Zahl von bereits dokumentierten geoarchäologischen Aufschlüssen der Landschaft sowie den Ergebnissen der Siedlungsgrabung Dyrotz 37 im brandenburgischen Havelland belegt.

Den spezifischen Belangen von archäologischer Siedlungsforschung und Bodendenkmalpflege wird mit Schwerpunkten auf der Integration von Archäo- und Geoinformationen und Anwendbarkeit bzw. Effizienz des im Rahmen der Arbeit entwickelten Modells Rechnung getragen.

Wünsdorf, 21.10.2002, Benjamin Ducke

Teil I

Thematische Einführung und theoretische Grundlagen

Bodenerosion und ihr Einfluss auf archäologische Fundstellen

Die meisten der im Bundesland Brandenburg registrierten archäologischen Fundstellen verdanken ihre Entdeckung den Feldbegehungen ehrenamtlicher Denkmalpfleger und projektgebundenen, wissenschaftlichen Oberflächenprospektionen. Auf ackerbaulich genutzten Standorten transportieren Pflüge Sedimente aus dem tiefer gelegenen Erdreich an die Oberfläche und mit ihnen auch schwer verwüstbare archäologische Artefakte wie Fragmente prähistorischer Keramik und Steinwerkzeuge. Dadurch werden die Standorte prähistorischer Fundstellen oberirdisch sichtbar. Die bislang auf diese Weise bekannt gewordenen Fundstellen repräsentieren aber nur einen kleinen Teil des eigentlichen archäologischen Potentials. Der weitaus größere und besser erhaltene Teil liegt unterirdisch verborgen und wird in seiner Verbreitung nur dann realistisch einschätzbar, wenn der geomorphologische Kontext der Fundstellen, wie er vor allem durch Erosions- und Akkumulationsprozesse bestimmt wird, einbezogen wird. Von größter Bedeutung sind hierbei, noch vor Fluß- und Windsedimenten, die Fundstellen überdeckenden Kolluvien aus umgelagerten Sedimenten, die sich im unteren Bereich der Hänge abgelagert haben. Von einer akkuraten Einschätzung der Entstehungsbedingungen, Verbreitung und Mächtigkeit dieser geomorphologischen Strukturen können archäologische Forschung und Bodendenkmalpflege in vielerlei Hinsicht profitieren.

1 Zur Entstehung dieser Arbeit

Die vorliegende Arbeit hat ihre thematischen und methodischen Wurzeln im Projekt Archäoprognose Brandenburg, einem Gemeinschaftsprojekt der Universität Bamberg und des BLDAM (Landesamt für Bodendenkmalpflege im Bundesland Brandenburg; Kunow/Müller 2001). Ziel dieses von der Fritz

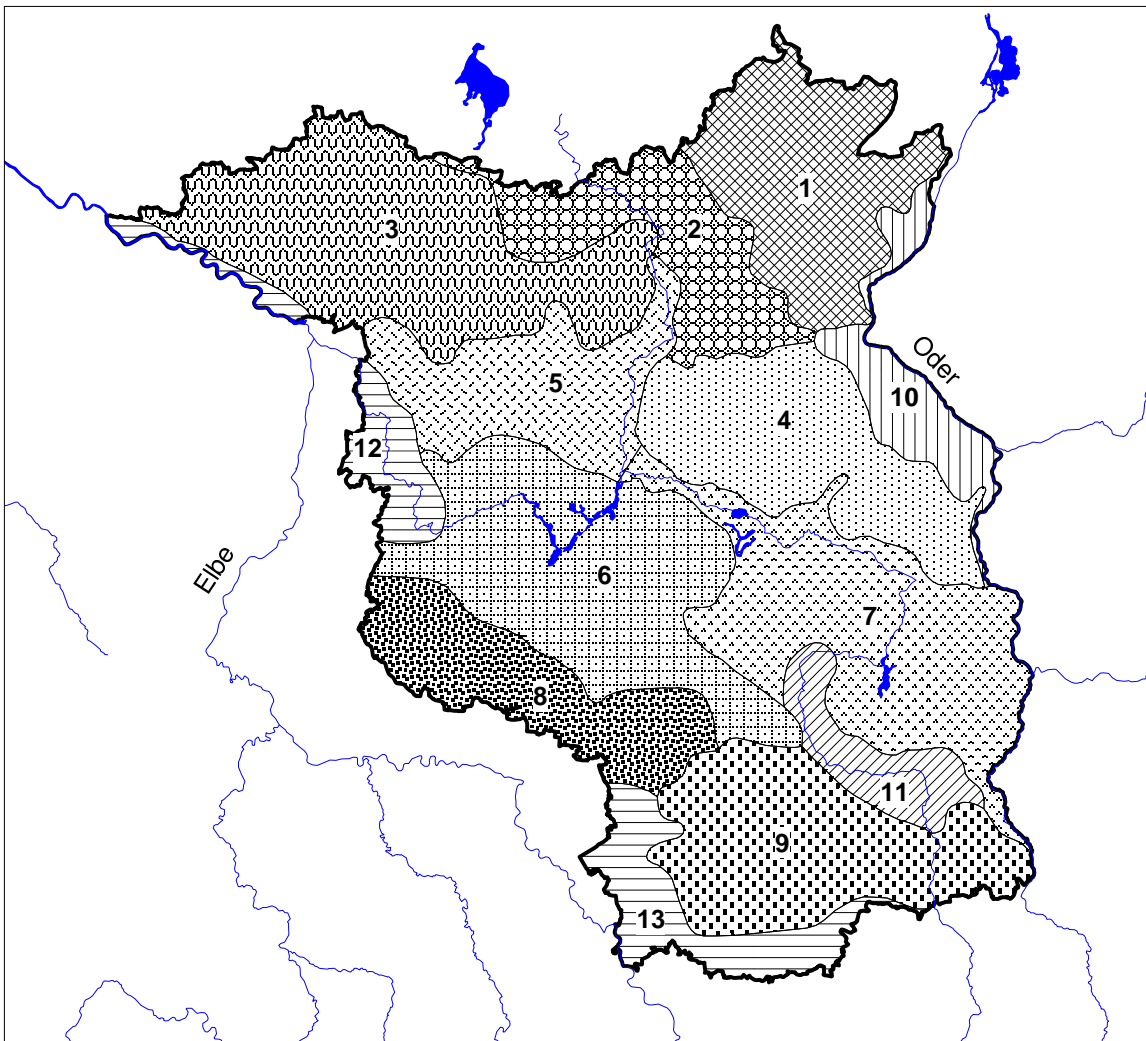
Thyssen Stiftung geförderten Projektes ist die Entwicklung von Methoden zur flächendeckenden Kartierung von archäologischen Prioritätsflächen im Bundesland Brandenburg. Damit soll ein Werkzeug entstehen, das einerseits den gezielten Einsatz denkmalpflegerischer Ressourcen erleichtern und andererseits Aufschluss über grundlegende Aspekte prähistorischer Besiedlungsprozesse liefern kann.

Die methodischen Ansätze zur Erreichung dieses Ziels beinhalten die auch bei anderen Projekten dieser Art (z.B. Bradley et al. 1986, Hudak et al. 2002) übliche Erstellung eines möglichst zutreffenden Bildes des anthropogenen Siedlungsverhaltens in Form eines prähistorischen „Flächennutzungsmodells“. Für das Bundesland Brandenburg wurde dies bereits exemplarisch vom Projektmitarbeiter M. Zabel bereits im Rahmen seiner Masterarbeit realisiert (Zabel 1998). Innerhalb ausgewählter Testgebiete aus verschiedenen, anhand ökologischer und archäologischer Kriterien definierten, Regionen im Bundesland Brandenburg (Abb. 1.1) werden die aus Fundmeldungen, wissenschaftlichen Publikationen und Luftbildern bekannten Daten zur Lage und Zeitstellung archäologischer Fundstellen sowie die verfügbaren beschreibenden Geodaten (Höhe, Hangneigung und -richtung, Bodensubstrat, Gewässerentfernung, Grundwassertiefe) digitalisiert und mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) zu einer geo-archäologischen Datenbank verschmolzen (s. Abschnitt 10.1 auf Seite 47). Dann werden die archäologischen Fundstellen auf Präferenzen hinsichtlich ihrer ökologisch-topographischen Lageparameter untersucht um anschließend weitere, potentiell attraktive Siedlungsräume lokalisieren zu können. Die Methode ist seit längerem weltweit in der Bodendenkmalpflege im Einsatz (z.B. Kohler/Parker 1986, Deeben et al. 1997) und unterschiedliche, meist statistische, Ansätze sind hierfür in der Praxis erprobt worden (Kvamme 1990, Leusen 1996). Dabei haben sich vor allem auf multipler Regression (Bortz 1999, 433; Hellmund/Klitzsch/Schumann 1992, 208) basierende Modelle durchgesetzt (z.B. Wheatley 1996 für die Fundlandschaft um Stonehenge).

Ein solches Verfahren weist in der Regel weite Flächen als potentielle Fundstellen aus, die jedoch hinsichtlich ihres archäologischen Potentials nicht ohne weiteres gleichzusetzen sind. Insbesondere für die Bodendenkmalpflege ist der Erhaltungszustand einer Fundstelle von großer Bedeutung, da die in der Regel begrenzten Ressourcen in Form von Geld und Zeit möglichst effizient verwendet werden sollen. Aus der Annahme, dass der Grad der Konservierung einer Fundstelle primär durch deren Lage in von Erosion oder Akkumulation betroffenen Zonen bestimmt wird, entwickelte J. Müller im Laufe der Projektkonzeption den Vorschlag zu einer flächenhaft umsetzbaren Modellierung dieser Prozesse. Schließlich sind Fundverbreitungskarten das Ergebnis eines komplexen Wirkungsgefüges unterschiedlicher Quellenfilter (Saile 1998, 32), zu denen auch Prozesse der Akkumulation und Erosion gehören (Davidson 1985; Bettis 1992, 120). Daraus ergaben sich die Anregungen zur Erstellung der vorliegenden Arbeit, die einen Beitrag zum Verständnis des archäologischen Archivs „Boden“ darstellen möchte.

Mein besonderer Dank für die Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit gilt:

- Allen voran Dr. G. Wetzel (BLDAM Wünsdorf) für die unermüdliche Unterstützung und Beratung bei der Erstellung der Arbeit sowie die Durchsicht des Manuskripts,
- meiner Lebenspartnerin, U. Lieberwirth, für ihre Geduld und Unterstützung sowie die Zeichnungen der Keramik des kaiserzeitlichen Grubenhauses von Dyrotz 37,
- Prof. Dr. J. Müller (Universität Bamberg) und Prof. Dr. J. Kunow (BLDAM Wünsdorf) sowie den Verantwortlichen der Thyssen Stiftung, die mit dem Projekt Archäoprognose Brandenburg das finanzielle und wissenschaftliche Fundament für diese Arbeit geschaffen haben,
- den Mitarbeitern im Projekt Archäoprognose Brandenburg, U. Münch, M. Zabel und Ch. Mattes, für vielgestaltige Unterstützung, hilfreiche Kritik und Diskussion,
- Prof. Dr. B. Hänsel und Prof. Dr. H.-J. Pachur (beide FU Berlin), für die Betreuung und Annahme der Arbeit
- und nicht zuletzt den Mitarbeitern am BLDAM Wünsdorf – besonders K. Babel für die Überlassung ihrer Unterlagen zu Dyrotz 37, die wesentlich zur fristgerechten Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen haben.



Naturräumliche Gliederung und Archäoregionen von Berlin und Brandenburg

(geändert nach Schulze 1955; Marcinek/Zaumseil 1993)

- | | |
|--|---|
| 1 Rückland der Mecklenburgischen Seenplatte (Uckermark) | 7 Ostbrandenburgisches Heide und Seengebiet (Beeskower Land, Niederlausitz) |
| 2 Mecklenburgische Seenplatte (Ruppin, Uckermark) | 8 Fläming |
| 3 Nordbrandenburgisches Platten- und Hügelland (Prignitz, Ruppin) | 9 Lausitzer Becken- und Heideland (Niederlausitz) |
| 4 Ostbrandenburgische Platte (u.a. Barnim) | 10 Odertal (u.a. Oderbruch) |
| 5 Luchland (Havelland) | 11 Spreewald (Niederlausitz) |
| 6 Mittelbrandenburgische Platten und Niederungen (Zauche, Havelland, Teltow) | 12 Elbtal-Havel-Niederung |
| | 13 Elbtal-Schwarze Elster-Niederung |

Abb. 1.1 Archäoregionen im Bundesland Brandenburg. Quelle: Zabel 1999, Abb. 1.

2 Bodenerosion und archäologisches Potential

Das archäologische Potential einer Fläche ergibt sich grundsätzlich aus Zahl und Erhaltungszustand der darin enthaltenen Fundplätze. Die zunächst naheliegendste Möglichkeit, zu einer realistischen Vorstellung des archäologischen Potentials einer Fläche zu gelangen, besteht darin, diese vorher gründlich zu untersuchen, um im optimalen Fall alle enthaltenen Fundplätze zu erfassen. Einfache Methoden der Fundplatzerfassung sehen eine Flächenbegehung (Prospektion, z. B. Grünwald 2001) mit Aufnahme der oberflächlich sichtbaren Artefakte vor. Dieses Vorgehen hat zwei grundlegende Schwachpunkte:

1. Ineffizienz: Die systematische und intensive Oberflächenprospektion ist zeitaufwendig und teuer. Für das gesamte Gebiet des Bundeslandes Brandenburg mit seinen fast 30.000 km² ist eine vollständige Begehung unter den heutigen Rahmenbedingungen praktisch nicht durchführbar.
2. Unvollständigkeit: Selbst wenn eine Landschaft durch großflächige Prospektionen abgedeckt ist, wird das daraus gewonnene Verbreitungsbild der Fundstellen nur eingeschränkt repräsentativ sein. Es ist bereits seit längerem bekannt, dass die oberflächlich sichtbare Verteilung archäologischer Fundstellen nur einen Bruchteil der tatsächlichen Verbreitung repräsentiert (s. Saile 2001, Zeidler/Isaacson 2001). Zahlreiche weitere potentielle Fundstellen bleiben unter Sedimentschichten verborgen, ohne oberflächlich sichtbar zu werden. Allgemein weisen aktuelle Statistiken einen Zuwachs von 500-1000 % bei den bekannten Fundstellen aus, wenn unterirdisches Potential aufschließende Prospektionsmethoden, wie etwa Sondagegrabungen, zur Anwendung kommen (Bönisch 1996, Bönisch 2001, 477; Eickhoff 2001, 508; May 2001a, 511; May 2001b, 544).

Eine gründlichere, durch systematische Sondagen (Probegrabungen und Bohrungen) ergänzte Prospektion ist i.d.R. in Art und Umfang an eine Finanzierung im Rahmen von (nach archäologischen Kriterien) wahllos in der Landschaft verteilten Bauprojekten gebunden, was durchaus unbefriedigend ist. Es bedarf daher innovativer und effizienter Verfahren, um zu einer zutreffenden Einschätzung des archäologischen Potentials von Flächen zu gelangen, die nicht durch Feldbegehungen o.ä. Maßnahmen bekannt sind (Zeidler/Isaacson 2001, 3). Damit könnten Flächen identifiziert werden, die durch natürliche oder anthropogene Prozesse so stark gestört sind, dass sie sehr wahrscheinlich kein hohes archäologisches Potential mehr besitzen. Umgekehrt kann Flächen, die ein entsprechend hohes archäologisches Potential besitzen, eine erhöhte Priorität bei der denkmalpflegerischen Arbeit eingeräumt werden. Auch die Durchführung von Feldbegehungen könnte mit diesem Hintergrundwissen effizienter geplant werden (Zeidler/Isaacson 2001, 3). Schließlich könnte das planerische Risiko, das mit dem Auftauchen archäologischer Fundstellen, deren Potential vor dem Beginn der Ausgrabung als zu niedrig eingeschätzt wurde (s. Begriff der „Inadvertent Discoveries“ bei Zeidler/Isaacson 2001,

4), einhergeht, gemindert werden. Im Rahmen dieser Arbeit sollen Erosion und Akkumulation als geomorphologische Faktoren bei der Konservierung archäologischer Fundstellen betrachtet werden.

Während Erosion einen Bodenabtrag bedeutet, dessen Wirkung die Freilegung und darauf folgende Zerstörung der exponierten archäologischen Reste durch Witterungseinflüsse und anthropogene Landschaftsnutzung ist, bewirkt Akkumulation eine Überdeckung und Konservierung unter den herantransportierten Sedimenten. Erosion und Akkumulation wirken damit als Filter auf die Entstehung neuer Fundpunkte und haben einen direkten Einfluss auf das Ergebnis von Prospektionsmaßnahmen (Saile 2001, 96). Ein neuer Fundort kann mit einfachen Prospektionsmethoden (z.B. durch Feldbegehung eines ehrenamtlichen Denkmalpflegers) nur dann registriert werden, wenn Artefakte sich in einem vertikalen Sichtbarkeitsbereich befinden, innerhalb dessen eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass sie durch Eingriffe in den Boden (Umpflügen, Ausheben von Baugruben etc.) bzw. weiter fortschreitende Erosion an die Oberfläche gelangen und dort entdeckt werden können (Saile 1998, 33; Saile 2001, 96). Die Ausdehnung des Sichtbarkeitsbereiches hängt von der Flächennutzung und dem Ausmaß der Erosion im Verhältnis zur Stratigraphie der archäologischen Fundstelle ab. Bereiche mit starker Erosion können ohne weiteres zahlreiche Artefakte liefern, die zugehörigen Befundkontexte sind dann aber eventuell stark zerstört und die Funde selbst durch mechanische Einwirkungen (Pflügen) aus ihrer ursprünglichen Lage bewegt. Akkumulation wirkt im Gegensatz zur Erosion als negativer Faktor auf die Sichtbarkeit, da Fundstellen verdeckt werden. Fundstellen in Zonen mit hoher Akkumulation sind demnach im archäologischen „Bewusstsein kaum präsent“ (Saile 2001, 97).

Diese Annahmen werden bereits ausführlich in einer Studie von Saile (2001) überprüft, welche auf empirischem Wege einen „Zusammenhang zwischen stärker reliefierten Zonen und erhöhten Fundstellenzahlen“ zu etablieren versucht. Das dabei eingesetzte Mittel der großräumigen Reliefenergieschätzung ist allerdings – was auch von Saile selbst eingeräumt wird – viel zu grobmaschig, um konkret auf einzelne Fundstellen bezogene Aussagen treffen zu können. Allerdings kommt die Studie zu dem Schluss, dass ein Zusammenhang besteht. Dies wird belegt anhand zweier Fallstudien aus der hessischen Wetterau und dem nordöstlichen Niedersachsen (s. hierzu auch das Kapitel „Siedlungsarchäologische Quellenkritik“ bei Saile 1998, 32-60).

Fundlosigkeit in Akkumulationszonen bedeutet daher nicht unbedingt, dass kein archäologisches Material vorhanden ist. Es befindet sich u.U. lediglich unterhalb des vertikalen Sichtbarkeitsbereiches. Gerade in Bereichen mit viel akkumuliertem Sediment können die Erhaltungsbedingungen aber sehr günstig und archäologische Maßnahmen daher besonders lohnend sein, wie der dritte Teil dieser Arbeit noch zeigen wird.

3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Um eine korrekte Interpretation von Zustand und Verbreitung archäologischer Fundstellen erst zu ermöglichen, muss eine bessere Vorstellung vom Zusammenhang zwischen Fundstellenverbreitung und geomorphologischem Kontext entwickelt werden. Dieser wird durch Prozesse von Bodenabtrag und -ablagerung bzw. -aufbau bestimmt, welche einige Fundstellen freilegen, andere jedoch verdecken. Schwierigkeiten, die Lage verdeckter archäologischer Fundstellen zuverlässig vorherzusagen zu können, ergeben sich vor allem aus dem Mangel an Methoden, die geeignet wären, die geomorphologischen Eigenschaften der Landschaft zu modellieren und sie mit den archäologischen Hinterlassenschaften in Beziehung zu setzen.

Ziel dieser Arbeit ist daher die Entwicklung eines Erosionsmodells, das archäologische und geowissenschaftliche Informationen vereint. Im Sinne der Forderungen von Saile (2001, 96), soll es sich dabei um ein automatisiertes Modell handeln, dass auf effiziente Weise großflächige und akkurate Quantifizierungen ermöglicht und dabei „auch lokale Besonderheiten in der konkreten Reliefsituation der Fundstelle berücksichtigt“. Mit seiner Hilfe soll es möglich sein, das Erosions- und Akkumulationspotential einzelner Flächen innerhalb einer Landschaft festzustellen, Zonen erhöhter Erosion und Akkumulation im Gelände zu identifizieren und daraus Schlussfolgerungen über das archäologische Potential einer Landschaft abzuleiten. Um diese Aufgabe im Rahmen der zur Verfügung stehenden Zeit und Ressourcen zu bewältigen, muss eine Beschränkung der avisierten Aussagekraft des Modells auf einen geographisch und zeitlich begrenzten Raum vorgenommen werden. Als Untersuchungslandschaft wurde hierfür das im Projekt Archäoprognose Brandenburg definierte Testgebiet 2 (Havelland) gewählt (Abb. 3.1), das eine Ausdehnung von $3 \times 17,7$ km besitzt und zwischen den Gauss-Krüger-Koordinaten 4551540|5823500 und 4569500|5829500 liegt (Rechts- und Hochwerte des größten umfassenden Rechtecks). Das zu erarbeitende Modell bezieht sich somit großzügig betrachtet auf die holozänen Verhältnisse in den Jungmoränenlandschaften der Norddeutschen Tiefebene, wie sie sich auch in der geomorphologischen Struktur von Testgebiet 2 (Havelland) wiederfinden (Kamke 1987, Weiße 2000). Um die Komplexität des Textes zu reduzieren und die Nachvollziehbarkeit zu erleichtern, wurden die Ausführungen zu Theorie, Implementierung und Verifizierung des Modells in vier Textteilen untergebracht:

1. Im ersten (diesem) Teil der Arbeit sollen die theoretischen Grundlagen erarbeitet werden, indem die zu berücksichtigenden Phänomene zunächst begrifflich definiert (Abschnitt 4 auf Seite 18), die ihnen zugrundeliegenden Prozesse identifiziert (Abschnitt 5 auf Seite 19) und deren Eigenschaften – auch im Hinblick auf ihre zeitliche Variabilität – charakterisiert (Abschnitt 6 auf Seite 24) werden. Die generelle Gültigkeit der dabei gemachten Annahmen wird anhand der bereits publizierten Erosions- und Akkumulationsbilanzen einiger ausgewählter Fundstellen belegt (Abschnitt 7 auf Seite 33).

2. Der zweite Teil beschreibt die Entwicklung und Implementierung eines archäologischen Erosionsmodells. Dazu müssen die technisch-methodischen Grundlagen aus bereits vorhandenen Erkenntnissen berücksichtigt (Abschnitt 8 auf Seite 39) und zur Spezifikation eines eigenen Modells verwendet werden (Abschnitt 9 auf Seite 46). Nachdem die informationstechnischen Voraussetzungen geschaffen sind (Abschnitt 10 auf Seite 47) werden die Modellfaktoren quantifiziert (Abschnitt 11 auf Seite 52). Die Anwendung des erarbeiteten Modells auf das Testgebiet 2 (Havelland; Abschnitt 12 auf Seite 72) und die Charakterisierung seiner Eigenschaften schließen diesen Teil der Arbeit ab.
3. Die Verifizierung des Modells ist das Thema des dritten Teils. Anhand der ergrabenen Stratigraphie der aus dem Testgebiet 2 (Havelland) stammenden archäologischen Fundstelle Dyrotz 37 (Abschnitt 13 auf Seite 81) soll untersucht werden, inwiefern sich die vom Erosionsmodell an dieser Stelle berechneten Werte in den aufgeschlossenen Bodenhorizonten, die eine mehrphasige prähistorische Siedlungsgeschichte (Abschnitt 14 auf Seite 83) repräsentieren, widerspiegeln (Abschnitt 15 auf Seite 112).
4. Im vierten und letzten Teil der Arbeit sollen die bis dahin diskutierten Erkenntnisse noch einmal systematisch aufbereitet werden. Dabei werden sowohl Aspekte bezüglich der allgemeinen Aussagefähigkeit des Modells (Abschnitt 16 auf Seite 117), als auch die vor seinem Hintergrund zu interpretierenden Manifestationen der modellierten Prozesse in archäologischen Landschaften (Abschnitt 17 auf Seite 119) und Fundstellen (18 auf Seite 121) betrachtet. Abschließend werden weitere, im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtete, Möglichkeiten der Erosionsmodellierung erörtert (Abschnitt 19 auf Seite 123) und die Ergebnisse der Arbeit kurz zusammengefasst (Abschnitt 20 auf Seite 125).

Archäoprognose Brandenburg

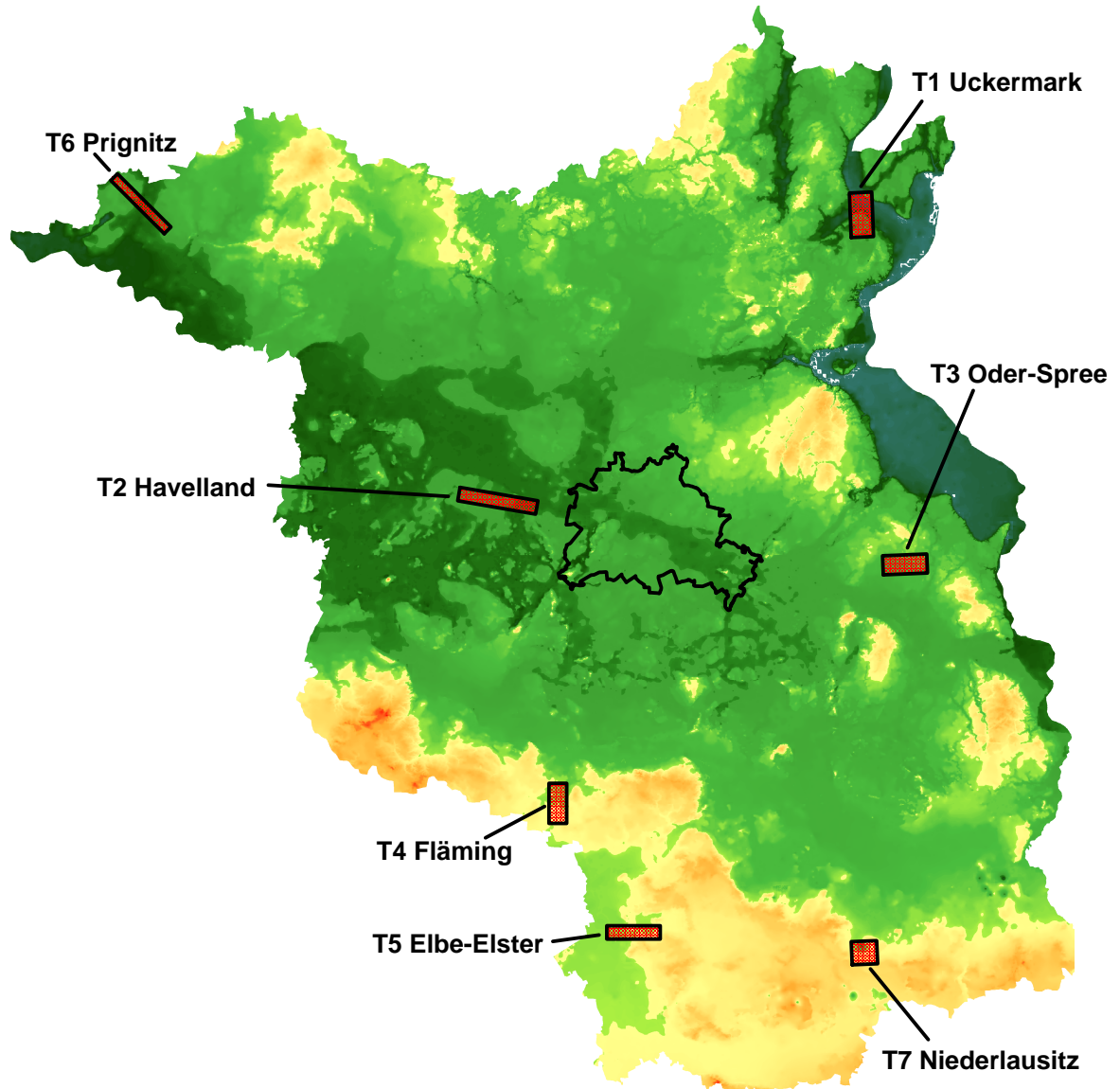


Abb. 3.1 Testgebiet 2 (Havelland): Lage im Bundesland Brandenburg. Quelle: Datenbank Projekt Archäoprognose Brandenburg.

4 Begriff der Bodenerosion

Der Begriff Erosion ist mit vielfältigen Bedeutungen belegt und weist im Alltagsgebrauch häufig eine negative Konnotation auf (vgl. hierzu die ursprüngliche lateinische Form „erodere“=„nagen“). So ist auf der Betrachtungsebene der Landwirtschaft Erosion gleichbedeutend mit dem Verlust von fruchtbarem Ackerboden, einem globalen Problem von höchster Aktualität (s. hierzu z.B. den Beitrag „Den Bauern schwimmt der Boden davon“ im Tagesspiegel Berlin vom 25.07.2002). Gleichzeitig ist Erosion aber auch ein in geologischen Zeiträumen ablaufender, natürlicher Prozess, der zwar einerseits zum Abtrag von Boden in den Höhenlagen führt, andererseits aber die Konzentration von nährstoffreichem Boden in den Tälern und Ebenen unserer Kulturlandschaften verursacht hat, die nach wie vor einen Großteil der Weltbevölkerung ernähren (Roose 1996, 20).

In der Geomorphologie ist Erosion mit spezifischen bodenabtragenden Prozessen verbunden (Hendl/Liedtke 1997, 156). Die geomorphologischen Konzepte Erosion/Denudation und Akkumulation beinhalten eine Vielzahl von hauptsächlich hydrologischen (Regen, Gletschereis, Flüsse, Meeresbrandung) Prozessen, die reliefformend wirken und als Erosionsprozesse (Wassererosion, Regenerosion, Winderosion usf.) oder, bezogen auf deren Fähigkeit Boden zu verlagern, auch als Transportprozesse bezeichnet werden.

Im deutschsprachigen Raum bezeichnet der Begriff Erosion häufig auch explizit die abtragende Wirkung von fließendem Wasser, die linienhaft ist und zur allmählichen Eintiefung von hydrologischen Strukturen von Rinnen bis hin zu Flüssen führt (z.B. Klein 1990, 56; Zepp 2002, 131). Lineare oder linienhafte Erosion tritt auf, wenn die Bodenoberfläche nur entlang der Bündelungspfade des Oberflächenabflusses angegriffen wird (konzentrierter Oberflächenabfluss; Bork et al., 1998, 310), wobei je nach Ausmaß zwischen der schwächeren Rillen- und der stärkeren Kerbenerosion (Bryan 1987) unterschieden wird. Starke lineare Erosion kann zu einer Zerkerbung führen, die einen Acker gänzlich unbrauchbar macht (s. Begriff der „Badlands“ bei Bork et al. 1998, 307). Demgegenüber beschreibt der Begriff Denudation die flächenhaft wirkende Abtragung von Boden infolge der physikalischen Einwirkung von Wind und Wasser (engl. „sheet erosion“, Roose 1996, Kapitel 5). Der großflächige und vollständige Abtrag von Boden ist ein Prozess, der von Jahr zu Jahr kaum beobachtbar ist (1-2 mm Bodentiefe), über mehrere Jahrzehnte aber zur Abtragung der größten Teile des obersten Bodenhorizontes führt (Roose 1996).

Der modernere Begriff Bodenerosion (aus dem Englischen „soil erosion“, s. Zepp 2002, 130) bezeichnet, der Definition von Bork et al. (1998, 309 f.) folgend, ausschließlich durch menschliche Aktivität ausgelöste bzw. beschleunigte Erosionsprozesse. Im Sinne einer besseren begrifflichen Klarheit wird der Begriff Akkumulation (Bork et al. 1998, 306: „Anhäufung von Bodenmaterial an Lokaltäten, wo Bodentransportprozesse enden“) im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich im Zusammenhang mit anthropogen beschleunigter Wassererosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verwendet. Der

Begriff Sedimentation hingegen bezeichnet ganz allgemein die Ablagerung von Bodenpartikeln an einem Standort „infolge nachlassender Transportkraft“ (Bork et al. 1998, 323).

Der geomorphologische Kontext umfasst Art und Genese der Bodenhorizonte, in welche die im Rahmen dieser Arbeit behandelten archäologischen Fundstellen eingebettet sind. Die modellhafte Vorstellung von Stärke, Wirkungsrichtung und räumlicher Variabilität der im geomorphologischen Kontext wirksamen Prozesse für eine konkrete Fläche oder Landschaft wird als Erosionsmodell bezeichnet.

5 Landschaftsformende Erosionsprozesse

Erosion formt die Topographie einer Landschaft durch Verlagerung von Sediment. Um die moderne Form der Landschaft mit dem Erhaltungszustand der in ihr eingebetteten archäologischen Fundstellen in die richtige Beziehung zu setzen, ist es notwendig, die landschaftsformenden Prozesse der Erosion, denen Siedlungen, Gräberfelder und sonstige Reste anthropogener Landschaftsnutzung nach Ende ihrer Nutzungsphase ausgesetzt waren, möglichst vollständig zu identifizieren.

Normale oder geologische Erosion (Morphogenese) ist ein Prozess, der die Landschaft langsam und kontinuierlich umformt. Die mittlere Rate der geologischen Erosion liegt laut Roose (1996) weltweit bei ca. 0,1 bis 1 t/ha/a, auch wenn es Katastropheneignisse geben mag, die zu einer kurzfristig stark beschleunigten geologischen Erosion führen. Dabei wird Boden aus dem chemischen Verwitterungsprodukten von Gesteinen (alluviale und kolluviale Ablagerungen) gebildet. Inwiefern geologische Erosion in Mitteleuropa außerhalb der Gebirgszonen und großen Flüsse die holozäne Landschaft geformt hat, ist umstritten. Bork et al. gehen in ihrer Studie (1998, 309 f.) davon aus, dass rein geologische Erosion in den mitteleuropäischen Tiefebene eine zu vernachlässigende Größe ist. Messbare Bodenerosion wird demnach erst durch die Rodungen der Wälder und anschließende Nutzung ermöglicht, während unter Altholozänen Vegetationsverhältnissen der Boden nahezu vollkommen davor geschützt war (Bork/Schatz 1998, 95). Auch Schatz (2000, 1) geht davon aus, dass unter Waldböden kein relevanter Oberflächenabfluss und keine erosionsbedingte Stoffverlagerung stattfindet. Dem folgend wird die natürliche Erosion in geologischen Zeiträumen aus dem Betrachtungsfeld dieser Arbeit weitgehend ausgeschlossen und die nachfolgende Sicht auf die Problematik von der Wirkung des Menschen bestimmt.

Anthropogene Landschaftsnutzung bewirkt die Offenlegung großer Flächen durch Überweidung, Entwaldung, Ackerbau, Übernutzung der Vegetation und in jüngster Zeit industrielle Nutzung (Frielinghaus 2000, 31), welche dann für Erosionsprozesse weit leichter angreifbar sind, als beispielsweise von kräftigen Wurzeln durchdrungener Waldböden. Durch menschliche Eingriffe beschleunigte Erosion wirkt 100-1000 mal schneller als rein geologische Erosion. Das Ausmaß hängt dabei stark von der Bodennutzung ab. So ist etwa der Oberflächenabfluss von Feldern schätzungsweise 20-

50 mal stärker als der unter Wäldern (Roose 1996). Rohdenburg (1969, 1971) hat das System der geomorphologischen Verflechtung von Mensch und Umwelt in seinem Konzept der geökologisch-geomorphodynamischen Aktivität und Stabilität formalisiert:

1. Stabilitätsregel (AS1): Natürliche Vegetation schützt den Boden vor Erosion, auch bei starken Regenfällen. In geomorphologisch stabilen Zeiten kommt es daher zu intensiver Bodenbildung.
2. Aktivitätsregel (AS2): Kommt es zu einer Zerstörung oder Auflockerung der Vegetationsdecke (z.B. durch Klimawandel, Katastrophenergebnisse), können natürliche Erosionsprozesse greifen, die v.a. durch Starkniederschläge ausgelöst werden.
3. Anthropogene Teilaktivitätsregel (AS3): Anthropogene Landschaftsnutzung unterbricht oder beendet geomorphologisch stabile Phasen. Rodungen und Ackerbau ermöglichen großflächige Bodenerosion in vorher ganz von Vegetation bedeckten Räumen.

Langfristig betrachtet, erscheint Erosion als ein kontinuierlich wirkender Vorgang, der den Abtransport von Boden Jahr für Jahr und Millimeter um Millimeter bewirkt. Tatsächlich ist das zu einem beliebigen Zeitpunkt gemessene Ausmaß der Erosion aber das kumulierte Resultat einer Vielzahl von einzelnen Erosionsereignissen, d.h. von Prozessen die in ihrem Auftreten einer spezifischen Wahrscheinlichkeitsverteilung folgen. Erosionsereignisse lassen sich, wie im folgenden geschehen, grob nach den dominierenden physikalischen Prozessen kategorisieren. Dabei sind diese Prozesse aber in der Realität nicht isoliert voneinander wirksam. Vielmehr begünstigen oder inhibieren sie sich in einem komplexen Wirkungsgefüge miteinander und in Abhängigkeit von den chemischen, physikalischen und topographischen Eigenschaften ihrer Umgebung. Gleiches gilt für das Verhältnis zwischen anthropogener und natürlich-geologischer Landschaftsformung. Große Lücken im Verständnis der anthropogen gesteuerten Landschaftsentwicklung bestehen nach wie vor hinsichtlich des Zusammenwirkens der einzelnen Faktoren Klima, Relief, Vegetation, Substrat und Boden und der Dynamik der landschaftsformenden Prozesse (Schatz 2000, 1).

5.1 Wassererosion

Wassererosion (Bork et al. 1998, 310) wird durch Regentropfen und fließendes Wasser (fluviale Reliefformung, s. Hendl/Liedtke 1997, 179) verursacht. Die kinetische Energie der Regentropfen führt auf unbefestigtem Boden zu Erosion (Ellison 1944, Roose 1996, 5; sog. „Planschwirkung“: Zepp 2002, 127). Wassererosion entsteht bei starkem Regen (Sturmereignisse), lang anhaltenden Niederschlägen oder Schneeschmelze immer dann, wenn die Wasserkapazität (-aufnahmefähigkeit) des Bodens von der Niederschlagsmenge überstiegen wird (Hendl/Liedtke 1997, 235; s. dort auch den Begriff

„Spülprozesse“, 191; Zepp 2002, 115). Den bei der Wassererosion wirksamen Transportprozess bezeichnet man als Oberflächenabfluss. Hierbei handelt es sich um Wasser, welches nicht vom Boden aufgenommen werden kann und dann auf der Oberfläche abläuft. Diese etwas eingeschränkte, den Erfordernissen der Arbeit angepasste, Definition folgt derjenigen von Bork et al. (1998, 306; dort als „Abfluß auf der Oberfläche“). Oberflächenabfluss wirkt zunächst linear entlang sich bündelnder Wasserströme. Dabei kommt es zum Eintiefen von Rillen und Rinnen, die sich mit der Zeit zu Kerben erweitern (Zepp 2002, 129 u. 132; Bryan 1987; RillGrow2 2001). Bei Starkregenereignissen wird eine flächige Abtragung des Hanges durch ein Geflecht von mehr oder weniger parallel verlaufenden Erosionsrillen und -rinnen bewirkt („Spüldenudation“; Zepp 2002, 129-130).

In einem durch intensive Landwirtschaft begünstigten Ausmaß ist Wassererosion die wohl wirksamste Form von Bodenerosion (Verhagen 1996, 319), die zur Umformung ganzer Landschaften führen kann. Wassererosion wird für 56 % der weltweiten Erosionsschäden verantwortlich gemacht und ist damit die auf großem Maßstab dominierende Form der Erosion (Frielinghaus 2000, 31).

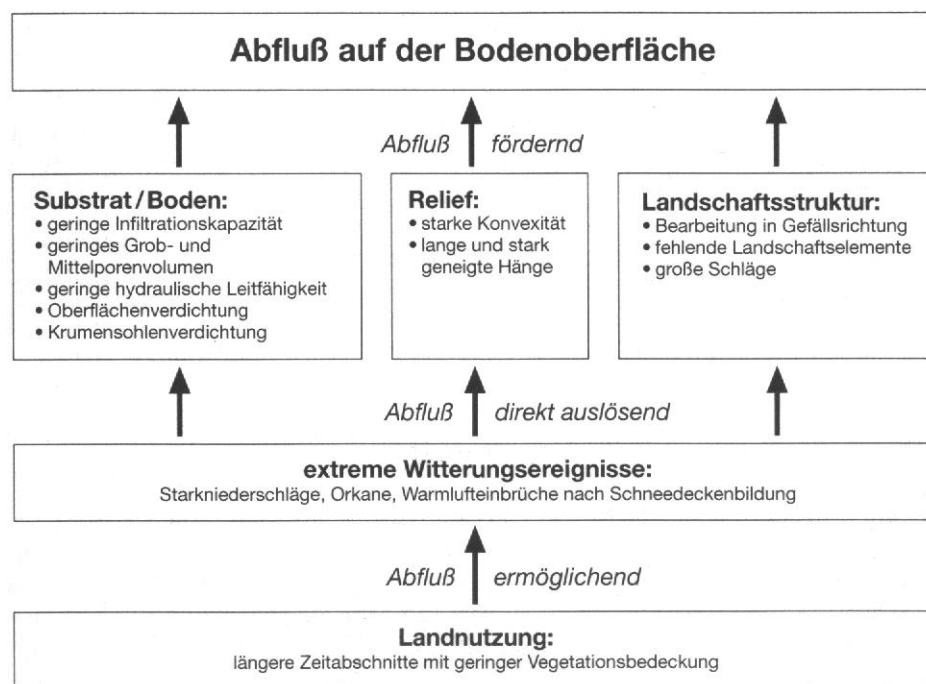


Abb. 5.1 Oberflächenabfluss: beteiligte Faktoren. Das Schema zeigt die den Oberflächenabfluss ermöglichenden, auslösenden und fördernden Faktoren (Quelle: Bork et al. 1998, Abb. 1.1).

5.2 Winderosion (äolische Erosion und Sedimentation)

Winderosion in ihrer natürlichen Form hat im Hochglazial weite Teile der Altmoränenlandschaft Mitteleuropas mit geprägt. Dabei handelt es sich um Flugsande, die in Form von Dünen oder Flugdecksanden auftreten und die Löss (Zepp 2002, 283). Dünen- und Flugdecksandbildungen aus dem

Holozän sind – außer in den Küstenlandschaften – anthropogen ausgelöst (Zepp 2002, 283; Krauskopf/Pasda 1999).

Anthropogen beschleunigte Winderosion zeichnet als zweitstärkster Prozess nach der Wassererosion heute für etwa 26 % der Erosionsschäden verantwortlich (Frielinghaus 2000, 31). Seit den verheerenden Schäden in den USA und Kanada vor etwa 50 Jahren ist sie ins Bewusstsein der Öffentlichkeit gerückt, muss aber, wie Studien im Rahmen des Oder-Projektes (s.u.) zeigen, mindestens seit dem Mittelalter eine erhebliche Rolle bei der Zerstörung des Agrarpotentials ganzer Landschaften gespielt haben.

Winderosion wird von nicht oder kaum beeinflussbaren Faktoren (Wind, Niederschlag) hervorgerufen und gesteuert (Frielinghaus 2000, 36). Eine kurze Zusammenfassung des Wissens zum Themenkomplex Winderosion bietet Frielinghaus (2000, 36 ff.). Dort findet sich auch eine von Woodruff et al. (1965) übernommene Formel, die Winderosion als Funktion der vier Parameter K = Bodenerodierbarkeit (Körnung, Bodenfeuchte, Humusgehalt, Krusten), V = Vegetationsbedeckung, Z = Rauigkeit der Oberfläche, L = Feldlänge und U = Klima (Windgeschwindigkeit, Niederschlag, Verdunstung) beschreibt:

* **5.1** Formel für Winderosion (Woodruff et al. 1965):

$$WE = f(K, V, Z, L, U)$$

Zu den einzelnen Parametern sind in Mitteleuropa und speziell in Deutschland bislang wenige Untersuchungen durchgeführt worden (Frielinghaus 2000, 37). Da Winderosion in ihrem Ausmaß weit hinter der Wassererosion zurückbleibt und ihre Modellierung auch ganz anderer theoretischer Voraussetzungen bedarf, kann sie nicht Teil dieser Arbeit sein. Erste Ansätze existieren aber bereits an anderer Stelle: Das im zweiten Teil dieser Arbeit besprochene (s. Abschnitt 8.2.2 auf Seite 44), auf der Simulation physikalischer Prozesse basierende, CHILD-Modell enthält eine Komponente zur Berechnung äolischer Sedimentation (Tucker/Gasparini/Bras 1999).

Ferner war die Wirkung extremer Winderosion in prähistorischer Zeit Gegenstand eines von E. Gringmuth-Dallmer und E. Schultze geleiteten Forschungsvorhabens des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) im Osten Brandenburgs. Im Rahmen des Oderprojektes wurden 1995 bis 1997 am Übergang von der Neuenhagener Insel zum Niederoderbruch archäologische Ausgrabungen durchgeführt (Gringmuth-Dallmer 1996 und 1997), die von geowissenschaftlichen Auswertungen begleitet wurden. Bei dem Objekt handelte es sich um eine früheisenzeitliche Siedlung (Göritzer Gruppe, 7.-6. Jh. v.Chr.). Intensive Landnutzung hatte hier zu einer starken äolischen Erosion und zu einer Überdeckung der Böden mit armen Sanden geführt. Durch mehrmaliges Ausweichen und Erschließen neuer Ackerflächen wurde dieser Vorgang wiederholt ausgelöst. Vereinzelt lassen darauf

schließen, dass auch endneolithische bzw. frühbronzezeitliche Siedler bereits mit dem Problem zu kämpfen hatten (Datierung eines Keramikfragments per Thermolumineszenz auf 1921 ± 340 BC. Offenbar hatten die beteiligten Prozesse eine hohe Transportleistung. Die Untersuchung der Horizonte ergab, dass wenige, stark wirksame Ereignisse für die Sedimentation verantwortlich waren. Die ungenutzten Flächen stabilisierten sich dann allmählich, um in der Eisenzeit erneut offengelegt zu werden (Bork et al. 1998, 50).

5.3 Fließgewässererosion (fluviale Erosion und Sedimentation)

In Anbetracht der Tatsache, dass prähistorische Siedlungen bekanntermaßen eine Tal- bzw. Gewässerrandlage bevorzugen, muss davon ausgegangen werden, dass auch Hochflutsedimente (Auenlehm, Auensediment) einen Anteil am Gesamtvolumen des im Bereich archäologischer Fundstellen akkumulierten Sediments haben. Ein vollständiges Erosions- und Akkumulationsmodell sollte also auch diese Prozesse in Betracht ziehen, die allerdings durch die komplexe Dynamik der Flussbettentwicklung verkompliziert werden (Ferring 1992; Lancaster 1998).

Die derzeit vorhandenen, hauptsächlich paläobotanisch orientierten Studien, stoßen hierbei auf prinzipielle Schwierigkeiten: Da Sedimente summarisch sehr verschiedene Genesungs-Prozesse wieder spiegeln, sind aus ihnen abgeleitete quantitative Aussagen mit einer großen Unsicherheit behaftet (Bork 1998, 43). Ein vielversprechenderes Vorgehen ist wohl die Simulation der Sedimentation mit einem physikalischen Modell, dessen Parameter an verschiedene Hypothesen angepasst und dessen Ergebnisse dann jeweils mit den natürlichen Gegebenheiten verglichen werden können, um das beste Modell zu finden. Auch hier kann vorläufig nur auf die entsprechende Komponente des CHILD-Modells verwiesen werden (Tucker et al. 1999d). Das DFG-Schwerpunktprogramm „Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15.000 Jahren“ soll präzisere, großräumige Kenntnisse der Bodenverhältnisse außerhalb des geologisch-palynologischen Untersuchungsraumes der Seesedimente und Moore schaffen (Bork 1998, 44).

5.4 Sonstige Erosionsprozesse

Neben den Prozessen der Wasser- und Winderosion lassen sich in den besiedelten Teilen anderer Landschaftsformen weitere potentiell wichtige Prozesse identifizieren, wie etwa Erosion durch Gravitation („schwerkraftbestimmte Massenbewegung“ bei Hendl/Liedtke 1997, 170; Zepp 99 ff.) und die litoralen Formungsprozesse an den Küsten (Zepp 2002, 258 ff.). Dabei handelt es sich allerdings um Prozesse, die an geomorphologische Umgebungen gebunden sind, welche außerhalb des Blickfeldes dieser Arbeit liegen (für das Hochgebirge z.B. Lancaster/Hayes/Grant 2001). Ein anthropogen verursachter Vorgang ist die sogenannte „trockene“ (mechanische) Erosion. Dabei handelt es sich um

einen noch wenig untersuchten Erosionsprozess: Gravitation und der Druck von schweren Maschinen transportieren die obersten Bodenhorizonte aus den höheren Hanglagen nach unten („dry mechanical erosion“, Roose 1996, Kapitel 4; siehe hierzu auch den Begriff der „bearbeitungsbedingten Bodenumlagerung“ bei Bork et al. 1998, 307 f.). Dort lagert sich das Material an den Felldrändern ab oder bildet konkave Kolluvien aus. Die Stärke dieses Prozesses hängt von der Richtung des Pflügens, der topographischen Situation und den eingesetzten Maschinen ab. Bork et al. 1998, 307 f. sprechen diesem Prozess allerdings eine eher geringe Bedeutung zu und belegen dies anhand einiger Indizien.

6 Allgemeine Eigenschaften der Bodenerosion

Erosion kann im extremsten Fall das gesamte, durch Verwitterung aufbereitete Gesteinsmaterial bis hin zur Erosionsbasis abtragen. Die Stärke der Erosion ist abhängig von der Reliefenergie, die um so größer ist, je höher das Abtragungsgebiet über der Erosionsbasis liegt (Neumagi'sches Prinzip: „Was am höchsten liegt, wird am stärksten abgetragen“). Die natürlichen abtragenden Kräfte sind Erosion durch Wasser (auch Eis und Meeresbrandung), Wind und Gravitation. Die unterschiedlichen Erosionsprozesse bewirken insgesamt eine Herabsetzung der Reliefenergie und damit einhergehend eine Verflachung des Reliefs (Bork 1998, 21). Das Ausmaß des Bodenabtrags hängt entscheidend von der Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens ab. Böden, die mehr Wasser speichern können (Sandböden), verlangsamen den Abtrag. Pflanzenbewuchs erhöht sowohl die Wasseraufnahmefähigkeit als auch die Festigkeit des Bodens und vermindert somit die Geschwindigkeit des Abtrags. Eingriffe des Menschen tragen, wie bereits besprochen, in ganz erheblicher Weise zu einer Beschleunigung der Erosionsprozesse bei.

Bodenerosionsprozesse sind schleichende Vorgänge, die bei kurzfristiger Betrachtung scheinbar nicht relevant für die Entwicklung einer Landschaft sind. Dies mag einer der Gründe sein, warum quantitative Studien zum Anteil anthropogener und natürlicher Erosionsprozesse an der Herausformung der modernen Landschaft in der Literatur selten sind. Umso wichtiger sind daher die von Bork et al. 1998 publizierten, empirisch gewonnenen Aussagen zur Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Sie beruhen auf quantitativen Daten aus „mehreren hundert in verschiedenen Landschaftsausschnitten in Mitteleuropa, im Nahen Osten, in Süd- und Nordamerika im Detail untersuchten“ (Bork et al. 1998, 28) Aufschlüssen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind ein zentraler Bestandteil der vorliegenden Arbeit und werden bei der Interpretation der geoarchäologischen Daten des Untersuchungsgebietes Havelland eine wichtige Rolle spielen.

Gestützt auf die genannte Studie ergeben sich drei für die vorliegende Arbeit wesentliche Grundannahmen, deren Gültigkeit im Rahmen dieser Arbeit belegt werden kann:

Relevanz Die großflächige Exponierung von Böden zur Gewinnung von Ackerflächen bietet den Erosionsprozessen eine größere Angriffsfläche, so dass diese spätestens seit dem Mittelalter, wahrscheinlich aber schon in prähistorischer Zeit, ein als katastrophal zu bezeichnendes Ausmaß annehmen und im Bereich der mitteleuropäischen Tiefebene zum vorherrschenden topographieformenden Faktor werden. Bodenerosion in kleinerem, aber durchaus schon nachweisbarem, Ausmaß ist bereits seit den ersten Rodungen des Neolithikums ein verbreitetes Phänomen. Archäologische Fundstellen zeigen in ihrer Stratigraphie Spuren dieser Prozesse.

Zeitliche Kontinuität Über die kumulierte Zeitdauer der menschlichen Besiedlung im Untersuchungsgebiet, die nach archäologischer Vorstellung etwa die vergangenen sieben Jahrtausende, also die Zeit vom ersten Auftreten sesshaft lebender Gemeinschaften bis heute umfasst, ist davon auszugehen, dass Bodenerosion ein kontinuierlich wirksamer Faktor bei der Formung des Reliefs und der Genese der in archäologischen Aufschlüssen zu beobachtenden Bodenhorizonte gewesen ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass Prozesse der Bodenbildung oder topographische Umformungen anderer Natur und Richtung (z.B. Rücktransport von erodiertem Material auf die Äcker) demgegenüber nur geringfügig wirksam waren und sind.

Räumliche Kontinuität Der allgemeine Trend bei der durch Bodenerosion bedingten Topographieformung besteht in einer Herabsetzung der Reliefenergie und damit einhergehend einer Verflachung der Landschaft. Obwohl menschliche Eingriffe stellenweise zu linearen Erosionsphänomenen führen, die kurzfristig eine höhere Diversität des Reliefs erzeugen (z.B. Schluchtenbildung durch konzentrierten Wasserabfluss, Anlage von Wölbäckern), dominieren langfristig betrachtet die großflächigeren, reliefausgleichenden Prozesse der Bodenerosion, in deren Folge die von flachen, breiten Hängen dominierten mitteleuropäischen Tiefebene ihr heutiges Aussehen erhalten haben. So gehen auch Bork et al. (1998, 231-234) davon aus, dass die direkte anthropogene Einflussnahme auf die Reliefgestaltung, welche u. U. das Bild verzerren könnte (z.B. Wölbäcker, die mit Kolluvien zu verwechseln sind oder der Rücktransport von Sedimenten auf die Ackerstandorte) proportional gesehen nur irrelevant gewesen sein kann.

6.1 Bedeutung der Kolluvienbildung

Die mitteleuropäischen Becken- und Flachlandschaften sind durch große, glatte Hänge geprägt, die eine großräumig undifferenzierte Nutzung erlauben. Diese Formen sind ursprünglich zum großen Teil das Ergebnis der letzten großen geomorphodynamischen Aktivitätsphase (Periglazial der ausgehenden Weichselvereisung). Dabei wurde die permanente Ausbildung linienhafter Erosionsformen durch

reliefausgleichende Prozesse unterbunden (Bork et al. 1998, 19; s. auch Begriff der Abluation bei Zepp 2002, 282). Seit dem Beginn der flächenhaften Bodenerosion geht die reliefausgleichende Wirkung von der massenhaften Ablagerung der Sedimente in Form von Kolluvien aus (Bork et al. 1998, 20: „Im Vergleich zum natürlichen kryogenen Ausgangszustand erfolgt unter dem [. . .] Prozeßgefüge der flächenhaften Hangformung eine weitgehende Glättung, [die] die kryogenen Homogenisierungstendenzen [fortführt].“). Das ursprünglich lebhaftes Relief der Jungmoränenlandschaften (Zepp 2002, 280) wird in einem bis heute andauernden Prozess immer stärker verflacht.

Das im Bereich des Oberhanges (Einzugsgebiet) abgelöste und von den an der Bodenerosion beteiligten Transportprozessen bewegte Sediment wird am primär flachen Hangfuß in Form von Kolluvien aufgenommen (Bork et al. 1998, 20). Dort verbleibt das akkumulierte Material, sofern es nicht durch andere Prozesse verfrachtet wird (Zepp 2002, 129). Infrage käme hier v.a. der Abtransport durch Flüsse. Allgemein übertrifft die Erosion an den Hängen an Stärke die Kapazität zum Sedimenttransport in den Flüssen aber erheblich (Wischmeier 1974; Schatz 2000, 2). Die im Unterhangbereich abgelagerten Kolluvien sind die primären Indikatoren der Bodenerosion und im Hinblick auf archäologische Fragestellungen von besonderer Bedeutung. Die Akkumulationsbereiche dieser Kolluvien „nehmen heute erhebliche Teile der Agrarlandschaften ein, vorwiegend die Mittelhänge und die Unterhänge“ (Bork et al. 1998, 28). Viel seltener sind durch stark wirksame Erosionsereignisse flächenhaft bis zu den konkaven Unterhängen erodierte Hänge.

Die von Bork et al. (1998, 28 f.) aufgestellten Regeln und Thesen zur Entwicklung von Kolluvien (dort: „Allgemeine Kolluvialregel KO1“, „Mittleuropäische Kolluvialthese KO2“ und „Kolluvialthese der jungneuzeitlichen Rodungsräume KO3“) sind das Ergebnis der Analyse von „mehreren hundert in verschiedenen Landschaftsausschnitten in Mitteleuropa, im Nahen Osten, in Süd- und Nordamerika im Detail untersuchten Catenen“. Diese Analysen erlauben in erster Linie die Unterscheidung zwischen durch gering und stark wirksame Erosionsereignisse geprägten Formen. Dabei sind erstere offenbar die prägenden Prozesse. Denn die meisten Befunde zeigten am Hang eine Folge von geringmächtigen Kolluvien. Sie sind das Ergebnis geringwirksamer Erosionsereignisse und wurden konkordant, ohne zwischenzeitlichen Abtrag durch Erosion, übereinander abgelagert. Die Konkordanz der aufeinander folgenden Kolluvien wird allgemein nur durch wenige Diskordanzen in Form von stark wirksamen, kurz aufeinander folgenden Erosionsereignissen, wie Bork et al. (1998) sie z.B. in den spätmittelalterlich-neuzeitlichen Kolluvien der 1. Hälfte des 14. Jh. ausmachen konnten, unterbrochen. Als Folge vieler Erosionsereignisse mit schwachem Abfluß und geringer Transportleistung dehnen sich Kolluvien mit der Zeit immer weiter hangaufwärts aus („allgemeine Kolluvialregel KO1“ bei Bork et al. 1998, 20). Bork et al. (1998, 21) beschreiben auch eine gegenläufige Entwicklung, bei der durch linienhafte Erosion geschaffene Kerben permanent werden. Langfristig betrachtet, sind aber auch diese reliefausgleichenden Prozessen unterworfen, wobei sich die unteren Kerbenabschnitte zuerst durch aus benachbarten Flächen abtransportierten Boden auffüllen. Später können Schwemm-

fächer den Rest überdecken.

Diese Beobachtungen rechtfertigen die Annahme, dass die Bildung von Kolluvien der herausragende Faktor bei der anthropogen beeinflussten Landschaftsentwicklung ist und daß in Agrarlandschaften zu jedem beliebigen Betrachtungszeitpunkt die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, daß auf den Mittel- und Unterhängen Sequenzen von geringmächtigen Kolluvien und tiefenliniennah mächtige Kolluvien auftreten. In der Kolluvienbildung ist offenbar die hauptsächliche Erklärung für die bereits im Einleitungsteil mit Beispielen belegte Verzerrung archäologischer Fundstellenverbreitungsbilder zu suchen.

Die räumliche Verbreitung der Kolluvien in der Landschaft lässt sich bodenkundlich feststellen (Bork et al. 1998). Das Material in den Kolluvien wird zumeist durch den hohen Anteil an ortsfremdem Material gekennzeichnet. Zudem erhöht Bodenerosion die räumliche Variabilität von Böden oder Sedimenten. Sie schafft scharfe horizontale Grenzen zwischen verschiedenen stark erodierten Bodenhorizonten und akkumulierten Kolluvien. („Regel zur erosionsbedingten Bodenveränderung BB1“ bei Bork et al. 1998, 26). Dies ist eine zentrale Beobachtung zur Beurteilung archäologischer Stratigraphien. Für eine flächendeckende Identifizierung von Kolluvien auf einem Landschaftsmaßstab ist ein bodenkundlicher Ansatz aber zu zeit- und kostenaufwendig. Ein anderer Ansatz, der in dieser Arbeit verfolgt wird, betrachtet die geometrischen Eigenschaften des Geländereiefs als primäre Faktoren für die Bestimmung der räumliche Verteilung von Erosions- und Akkumulationsflächen. Dabei wird der Transport des Sediments als Massefluss auf einer komplex geformten Oberfläche betrachtet, wie dies im zweiten Teil dieser Arbeit ausführlich erläutert wird.

| Zeitraum [n. Chr.] | Wald ¹ | Ackerland ² | Dauergrünland ³ | Infrastruktur ⁴ | Gewässer |
|-----------------------|---|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|
| | [% der Gesamtfläche Deutschlands ohne Alpen, in heutigen Grenzen] | | | | |
| 650–659 | 90 | 5 | 3 | <1 | 2 |
| 750–759 | 87 | 7 | 4 | <1 | 2 |
| 900–909 | 68 | 18 | 12 | <1 | 2 |
| 1000–1009 | 65 | 20 | 13 | <1 | 2 |
| 1250–1259 | 20 | 51 | 26 | 1 | 2 |
| 1310–1319 | 15 | 55 | 27 | 1 | 2 |
| 1340–1349 | 17 | 54 | 26 | 1 | 2 |
| 1370–1379 | 25 | 33 | 39 | 1 | 2 |
| 1420–1429 | 45 | 28 | 24 | 1 | 2 |
| 1520–1529 | 34 | 38 | 25 | 1 | 2 |
| 1608–1617 | 30 | 41 | 26 | 1 | 2 |
| 1650–1659 | 32 | 32 | 33 | 1 | 2 |
| 1780–1789 | 30 | 39 | 27 | 2 | 2 |
| 1870–1879 | 27 | 40 | 28 | 3 | 2 |
| 1961–1990 | 30 | 38 | 24 | 6 | 2 |

¹ Einschließlich der Gehölze außerhalb geschlossener Waldbestände.
² Einschließlich Garten- und Rebland.
³ Einschließlich Ödland, Grünflächen in Siedlungen und an Verkehrswegen.
⁴ Abweichend von gängigen Klassifikationen der Landnutzung, wurde eine unübliche, für die Betrachtung von Wasser- und Stoffbilanzen unverzichtbare Differenzierung der Siedlungs- und Verkehrsflächen vorgenommen. Wiedergegeben ist in der Kategorie „Infrastruktur“ lediglich der vor allem durch Häuser und Straßenbeläge versiegelte und der durch Befahren und Begehen stark verdichtete Anteil der Erdoberfläche. Die nicht versiegelten und nicht verdichteten Infrastrukturflächen wurden den Kategorien Wald (Gehölze), Ackerland (Gärten) und Grünland (Rasen) zugeordnet.

Abb. 6.1 Entwicklung der Landnutzung vom Mittelalter bis zur Neuzeit. Die Tabelle enthält die Anteile der Nutzungstypen an der Gesamtfläche Deutschlands (Quelle: Bork et al. 1998, Tab. 4.1).

6.2 Entwicklungsgeschichte der Bodenerosion

Das Untersuchungsgebiet ist Teil der großen Jungmoränenzone des Norddeutschen Tieflandes. Für die natürliche Reliefentwicklung in diesem Gebiet waren geomorphologische Prozesse im Quartär, die glaziären Prozesse der Weichselvereisung maßgeblich (Zepp 2002, 278 ff.). Die Geschichte der anthropogen verursachten Bodenerosion beginnt mit den Flächenrodungen durch die ersten sesshaft wirtschaftenden Siedler. Die Besiedlungsgeschichte des Havellandes kennt Perioden unterschiedlich dichter Besiedlung, die sich auch in der Häufigkeitsverteilung der archäologischen Fundstellen widerspiegeln. Die Datenbank des Projektes Archäoprognose Brandenburg für das Testgebiet 2 (Havelland) enthält insgesamt 215 Fundstellen (an 91 geographisch differenzierten Positionen) aus dem Zeitraum vom Paläolithikum bis zum Mittelalter, die sich wie in Tab. 6.1 dargestellt auf die unterschiedlichen Zeitstufen verteilen.

| Periode | Paläolithikum | Mesolithikum | Neolithikum | Bronzezeit | Eisenzeit | römische Kaiserzeit | Völkerwanderung | Mittelalter |
|--------------|---------------|--------------|-------------|------------|-----------|---------------------|-----------------|-------------|
| von | | 8000 BC | 5500 BC | 1800 BC | 750 BC | 50 BC | 375 AD | 500 AD |
| bis (ca.) | 8000 BC | 5500 BC | 1800 BC | 750 BC | 50 BC | 375 AD | 500 AD | 1400 AD |
| Fundstellen | 8 | 12 | 52 | 25 | 21 | 24 | 6 | 67 |
| Zeitraum (a) | / | 2500 | 2700 | 1050 | 700 | 325 | 125 | 900 |

Tab. 6.1 Zeitstreuungsverteilung der archäologischen Fundstellen im Testgebiet 2 (Havelland). Sämtliche Fundstellen vom Paläolithikum bis zum Mittelalter aus der Datenbank des Projekts Archäoprognose Brandenburg. Nicht datierbare oder neuzeitliche Fundplätze sind nicht aufgeführt. Stand vom August 2002.

Betrachtet man die Zahl der prähistorischen Fundstellen vom Paläolithikum bis zur Völkerwanderungszeit in Relation zur Dauer des jeweiligen Zeitabschnitts, so ergibt sich im großen und ganzen eine stetige Zunahme der Bevölkerungsdichte, die nur in der Völkerwanderungszeit unterbrochen wird. Seit dem Mittelalter ist dann wieder ein Wachstum zu erkennen, das bis zum 20. Jh. nur durch wenige Phasen mit Stagnation bzw. Rückgang der Bevölkerungsdichte, wie etwa Pestepidemien im hohen Mittelalter oder den Dreißigjährigen Krieg, unterbrochen wird. Die Annahme, dass sich dies auch in der Mächtigkeit der zeitlich korrelierenden Kolluvien widerspiegelt, ist naheliegend und wird von aktuellen Untersuchungen bestätigt (Bork 1998, Schatz 2000).

6.2.1 Neolithikum bis römische Kaiserzeit

Mit dem erstmaligen Eindringen von Ackerbau und Viehzucht betreibenden Siedlern in die geschlossenen Eichenmischwälder Mitteleuropas ist im Älteren Atlantikum zu rechnen (Lüning 1997, Wechler 1996). Schon diese neolithische Landnahme wird nachweisbar von Bodenerosion begleitet (Fischer-Zuijkov 1998, Semmel 1995, Saile 1993, Ložek 1996, 46), gleichwohl sie wenig intensiv und von wiederholter Aufgabe und Wiederbewaldung der relativ kleinen Siedlungsflächen geprägt gewesen sein mag. Phasen der Stabilität und Bodenbildung wechselten mit Phasen von Landnutzung und Bodenerosion ab (Schatz 2000, 95). Fischer-Zuijkov (1998, 100) berechnet für das mittlere Neolithikum eine Bodenerosionsrate von mindestens 0,25 mm/a. Dieser Wert erscheint hoch im Vergleich zu den weiter unten für spätere Perioden angeführten Schätzungen (Tab. 6.2). Bei diesen handelt es sich allerdings um Mittelwerte, die auf die gesamte von Erosion gefährdete Fläche Deutschlands bezogen sind. Der Schätzwert für das Neolithikum wurde hingegen aus einer einzigen Bohrprobe abgeleitet. Er repräsentiert damit ein Extremereignis, dass aufgrund der wenig intensiven und noch nicht großflächig ausgebildeten neolithischen Landwirtschaft nicht auf die gesamte Landschaft übertragen werden kann. Großflächige, gemittelte Schätzungen für die Bodenerosionsraten des Neolithikums liegen derzeit nicht vor, ebenso wenig wie für die anschließenden prähistorischen Perioden.

Gleichwohl existieren isolierte Beobachtungen für das Neolithikum aus vielen Teilen Deutschlands. So existieren Arbeiten aus der Göttinger Leine-Aue (Niedersachsen) mit dem Nachweis spätneolithischer Bodenerosion (Rohdeburg u.a. 1962). Ebenfalls im Göttinger Raum wiesen Scheffer/Meyer (1958) Bodenerosion für eine Siedlung der Linien- und Stichbandkeramik nach. Auf der Aldenhovener Platte (Nordrhein-Westfalen), unweit des Fundortes Langweiler 2 gelang der Nachweis von neolithischen Kolluvien (Schalich 1973). Auch die Bodenerosion in der Kaiserzeit war bereits Gegenstand siedlungsarchäologischer Beobachtungen (Jäger 1971, 14 für eine Grabung bei Kunersdorf, Kr. Seelow in der Nähe von Frankfurt/Oder). Für die späte Bronzezeit wird im mitteleuropäischen Raum sogar ein extremes Anwachsen der Bodenerosion diskutiert (Jäger/Ložek 1977, Ložek 1996, 46). In gut beobachteten Stratigraphien, wie z.B. der von Lünig/Schirmer/Joachim (1977) untersuchten, kolluvial verfüllten, Kerbe bei Kärlich Kr. Koblenz mit einer Siedlungsgeschichte, welche die Zeit vom ausgehenden Mittelneolithikum bis zur frühen Eisenzeit überspannt (datierbare Horizonte: Bischheimer Gruppe, Michelsberg II, Hallstatt A/B sowie Hallstatt C) zeigt sich, dass auf jede zeitlich differenzierbare Akkumulationsphase eine Bodenbildungsphase folgt, die einer Stillstandsphase in der Besiedlungsgeschichte entspricht. Der Schluss liegt nahe, dass auch prähistorische Bodenerosion bereits ein Ausmaß erreichen konnte, welches die Aufgabe der Siedlung erforderlich machte (Ložek 1996, 49).

Eine vorsichtige, großflächige Quantifizierung des Ausmaßes der Bodenerosion in Deutschland in prähistorischer Zeit findet sich einzig bei Bork et al. (1998, 198). Angenommen wird eine kumulierte agrarische Landnutzungszeit von 500 Jahren für Neolithikum, Bronze- und Eisenzeit über einen Gesamtzeitraum von rund 7000 Jahren. Der mittlere Hangabtrag für die prähistorischen Nutzungsphasen beträgt demzufolge 0,0,8 mm/a, teilweise bis zu [0,35]mm/a (übersandete Grundmoränenplatten des Nordostens). Damit ergibt sich insgesamt eine Tieferlegung von im Mittel 4 cm für die Ackerstandorte, und 0,5 cm für die Gesamtfläche Deutschlands (ohne Alpenraum).

6.2.2 Völkerwanderungszeit

Bedingt durch die geringe Bevölkerungsdichte sind die für die späte Völkerwanderungszeit geschätzten Bodenerosionsraten „vernachlässigbar gering“ (Bork/Schatz 2000, 96). Für diese Epoche wird allgemein eine weitgehende Wiederbewaldung der aufgegebenen Agrarflächen mit erneuter Bodenbildung und weitgehend naturnahem Wald angenommen, der eine geomorphologisch stabile Phase ermöglicht (Schatz 2000, 104).

6.2.3 Mittelalter

Die geomorphologische Stabilitätsphase der Völkerwanderungszeit und römischen Kaiserzeit wird im Mittelalter von einer Phase erhöhter anthropogener Teilaktivität abgelöst. Dieser Zeitabschnitt ist

charakterisiert durch über lange Zeiträume gleichbleibende agrarische Nutzung von großen Teilen der Landschaft mit vollständiger Rodung vieler Standorte (Bork et al. 1998, 221 f.). Zu der durch Bodenerosion im Mittelalter ausgelösten Landschaftsveränderung äußern sich Bork et al. (1998) ausführlich (Bork et al. 1998, 221 ff.).

| Zeitraum (n. Chr.) | Ackerfläche (%) | Erosionsgefährdete Standorte EGS (%) | mittlerer Bodenabtrag auf EGS (mm/a) |
|-----------------------|--------------------|---|---|
| 650-660 | 5 | 3 | 0,05 |
| 750-759 | 7 | 5 | 0,05 |
| 900-909 | 18 | 14 | 0,1 |
| 1000-1009 | 20 | 16 | 0,1 |
| 1250-1259 | 51 | 42 | 0,3 |
| 1313-1318 | 55 | 46 | 7 |
| 1319-1341 | 54 | 45 | 2 |
| 1342 | 54 | 45 | 50 |
| 1370-1379 | 33 | 28 | 0,1 |
| 1420-1429 | 28 | 23 | 0,1 |
| 1520-1529 | 38 | 33 | 0,1 |
| 1608-1617 | 41 | 35 | 0,1 |
| 1650-1659 | 32 | 27 | 0,1 |
| 1780-1789 | 39 | 33 | 1 |
| 1870-1879 | 40 | 34 | 0,1 |
| 1961-1990 | 38 | 28 | 0,3 |

Tab. 6.2 Ausmaß der mittelalterlich-neuzeitlichen Bodenerosion in Deutschland. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Fläche der Bundesrepublik Deutschland ohne den Alpenraum (340.000 km²) (Angaben nach Bork/Schatz 1998, Tab. 1).

Eine umfassende Darstellung der Landschaftsnutzung und -entwicklung des Mittelalters würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Literaturhinweise und Darstellungen zu diesem Thema im Mittelalter und der Neuzeit, auch unter Berücksichtigung historischer Quellen, finden sich bei Bork et al. (1998, 46). An dieser Stelle mag es genügen, festzuhalten, dass die mittelalterliche Bodenerosion im frühen und hohen Mittelalter noch geringe Ausmaße hatte (Bork et al. 1998, 224). Im späten Mittelalter ändert sich diese Situation, vermutlich im Zusammenspiel mit extremen Witterungsereignissen (Bork et al. 1998, 226 ff.) jedoch drastisch. Bork/Schatz (1998, 96) sprechen der Bodenerosion des 14. Jh. sogar „einmalig hohe“ Raten zu. Selbst außerhalb der eigentlichen Agrarflächen, im beweideten Dauergrünland, müssen die Abflussraten auf der Oberfläche, durch Trittschäden begünstigt, teilweise

„markante“ (Bork/Schatz 1998, 96) Bodenabträge bewirkt haben. Untersuchungen bringen die zunehmenden Belege für die besonders ausgeprägte Bodenerosion im 13. und 14. Jh. mit der ebenfalls in diesen Zeitraum fallenden Wüstungsphase in Zusammenhang. Die Wüstungen Drudevenshusen und Nienover (Bork 1998, Schatz 2000) im südlichen Niedersachsen sind Beispiele für hochmittelalterliche Siedlungen, die wegen fortgeschrittener Bodenerosion aufgegeben wurden (Bork et al. 1998, 57-65; 127-134 und 126 f.).

6.2.4 Neuzeit

An die extremen Bodenerosionsereignisse des 14. Jh. (Bork et al. 1998, 251 ff.) schließt sich eine kurze Phase der Stabilisierung an, während der „die neu entstandenen Reliefunterschiede durch Rutschungen rasch egalisiert“ (Bork et al. 1998, 251) werden. Meliorationsmaßnahmen im späten 17. und frühen 18. Jh. führen allerdings wieder zu starker linienhafter Bodenerosion, die erneut von extremen Witterungsereignissen begünstigt wird. Diese manifestiert sich in der Landschaft in Form von tiefen Kerbtälern, die teilweise heute noch erhalten sind (z.B. die Wolfsschlucht in der Märkischen Schweiz; Bork 1998, 66 ff.). An anderen Standort konnten die im 14. Jh. wüst gefallenen Äcker nie wieder in fruchtbares Ackerland umgewandelt werden und tragen stattdessen bis heute Nutzwälder (Bork et al. 1998, 252).

6.2.5 Moderne

Bis ins frühe 20. Jh. wurden die Bodenerosionsraten des hohen Mittelalters offenbar nicht mehr erreicht (Bork/Schatz 1998, 97). In den letzten Jahrzehnten wandelte sich diese Situation jedoch grundlegend. Der Einsatz des Tiefpflugs und die vollständige Umwandlung in Ackerland führten zu nie erreichten Raten. Für die letzten 50 Jahre nennt Frielinghaus (2000, 32) die Vergrößerung einheitlich bewirtschafteter Flächen ohne Erosionsbarrieren (v.a. in Ostdeutschland), die Zunahme des Anbaus von erosionsanfälligen Reihenkulturen und des Anbaus von Winterweizen, die Abnahme des mehrjährigen Ackerfutterbaus, die zunehmende mechanische Bodenbelastung, die Zunahme der Bearbeitungstiefe des Bodens und tiefgreifende Melioration (wiederum v.a. in Ostdeutschland) als wichtige Faktoren dieser Entwicklung. Alle diese Faktoren führen in letzter Konsequenz zu einer Zunahme des Oberflächenabflusses und damit einer erhöhten Bodenerosionsrate. Zum letztgenannten Faktor existiert die „Regel zum meliorationsbeeinflussten Landschaftsabfluß VA2“ bei Bork et al. (1998, 23): „Meliorationsmaßnahmen [...] erhöhen Menge und Geschwindigkeit des aus einer Landschaft oberflächlich [...] abfließenden Niederschlagswassers beträchtlich.“ In eine ähnliche Richtung weist die „Wassermühlenthese (VA3)“ (ebenda): Landwirtschaftliche Nutzung fördert ansteigende Grundwasserspiegel, die Entstehung neuer Quellen talaufwärts und, damit einhergehend höhere Oberflächenabflüsse.

Heute sind zwischen 25 und 30 % der Ackerflächen der Bundesrepublik Deutschland von Bodenerosion betroffen. Bei einer vieljährigen Bodenerosionsrate von 0,3-0,6 mm/a werden in Deutschland (ohne den Alpenraum) 30-100 Mio. t/a Boden abgelöst und transportiert (Bork et al. 1998, 196). Damit wird mit vormals unerreichter Geschwindigkeit ein für die archäologische Feldforschung gravierender Trend fortgesetzt: archäologische Fundstellen an den Oberhangbereichen werden vielerorts vollständig abgetragen, während sie an Unterhängen und in Talauen unter mächtigen Kolluvien verschüttet werden (Bork/Schatz 1998, 97). Die erosionsgefährdeten, ackerbaulich genutzten Hangstandorte Deutschlands wurden dabei während der gesamten mittelalterlich-neuzeitlichen Entwicklung im Mittel um 50 cm tiefer gelegt (Bork/Schatz 1998, 97).

7 Ausgewählte Bodenerosionsbilanzen

Konkretes Zahlenmaterial zum Ausmaß der anthropogen beschleunigten Bodenerosion ist leider nur in geringem Umfang verfügbar. Hier existiert eine erhebliche Wissenslücke, die auch von Bork et al. (1998, 195) herausgestellt wird: „Trotz der [...] kurz- und langfristigen Bedeutung der Bodenerosionsprozesse [...] liegen exakte Daten zur Prozeßleistung für Deutschland nicht vor. Die Ursache für dieses gravierende [...] Kenntnis- und Handlungsdefizit ist in der Komplexität der Erosionsprozesse, der schwierigen meßtechnischen Erfassung [...] und in allgemeiner Unterschätzung zu sehen.“ Die in Tab. 6.2 aufgeführten Zahlen sind Schätzungen, die sich auf aus Bodenprofilanalysen, Messungen und Simulationen gewonnene Daten stützen können (Bork/Schatz 1998, 96). Für lokale Verhältnisse existieren aber auch einige präzise Quantifizierungen, die zwar nicht aus dem eigentlichen Arbeitsgebiet, aber aus relativ ähnlichen Kultur- und Naturlandschaften Brandenburgs und Mecklenburg-Vorpommerns stammen.

7.1 Die Grabung Dahmsdorf

Für zwei 50 und 61 m lange Aufschlüsse durch einen Hang in der Märkischen Schweiz bei Dahmsdorf liegen zeitlich differenzierte Daten vor (die folgenden Angaben nach Bork et al. 1998, 102-109 und Schatz 2000, 68-81), die von Mitarbeitern der Forschungsstation Müncheberg des ZALF (Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V.) sowie Wissenschaftlern und Studenten der Universität Potsdam erarbeitet wurden. Es konnten drei Hauptphasen der Landnutzung (Bronzezeit-Eisenzeit, Mittelalter-Neuzeit, 20. Jh.) identifiziert werden. Für jede dieser Phasen wurde durch Messung der Verlagerung von Kohlenstoff und Phosphor das Volumen der durch Bodenerosion am Unterhang und im davor liegenden Trockental abgelagerten Sedimente festgestellt.

| Bronzezeit- Eisenzeit | Mittelalter- Neuzeit | Nach 1910 |
|---|-------------------------|-----------------|
| mittlere Mächtigkeit der Kolluvien (cm) | | |
| 76 | 63 | 30 |
| Volumen der Kolluvien pro Meter Profiltiefe (m ³) | | |
| 15,1 | 10,7 | 5,1 |
| mittlerer Abtrag pro m ² der Erosionsfläche | | |
| 0,54 | 0,35 | 0,17 |
| mittlerer Abtrag und maximale Dauer des Abtrags | | |
| 54 cm in 1500 Jahren | 35 cm in 700 Jahren | 17 cm seit 1910 |
| mittlerer Abtrag in mm/a | | |
| 0,36 | 0,49 | 1,9 |
| mittlerer Abtrag in t/ha/a | | |
| 6,1 | 8,4 | 33 |

Tab. 7.1 Müncheberg-Dahmsdorf: Entwicklung der Bodenerosion. Zeitlich differenziertes Ausmaß der Bodenerosion auf der Grabung Müncheberg-Dahmsdorf in der Märkischen Schweiz (Datenquelle: Bork et al. 1998).

Unter Einbeziehung der zeitlichen Dauer verhalten sich die Bodenabtragsraten der drei Phasen absolut wie 6,1:8,4:33 (t/ha/a) und relativ wie 100:140:540 (%) oder 70:100:390 (%). Die von Erosion betroffenen Ober- und Mittelhangabschnitte wurden vom Mittelalter bis heute um 50 cm tiefergelegt. Während der Bronze- und Eisenzeit hatte sich eine Tieferlegung um 54 cm ereignet.

Datierungen von Keramik (Thermolumineszenzverfahren, TL) und Holzkohle (kalibrierte ¹⁴C-Datierung, CalBC) in den bronze- und eisenzeitlichen Kolluvien ergaben einen Bildungszeitraum von 2430 ± 345 v.Chr. (TL) und 996-814 CalBC, bzw. 920 ± 200 v.Chr. (TL) sowie 167-0 CalBC bzw. 280 ± 120 v.Chr. (TL). Rodungen und ackerbauliche Nutzung umfassen also wenigstens den Zeitraum Endneolithikum bzw. Frühbronzezeit bis späte Eisenzeit. Die Mehrzahl der Keramik ist aber der Spätbronzezeit und Eisenzeit zuzuordnen. Deutlich zu beobachten war die Verringerung der Reliefenergie durch die teilweise Verfüllung des Trockentales (Abb. 7.1). Eine erste Glättung und Tieferlegung um 54 cm erfolgt bereits in der Bronze- und Eisenzeit, eine zweite um 50 cm vom Mittelalter bis heute. In der Zeit nach der ersten, bronzezeitlich-eisenzeitlichen, Nutzung bis zum 13. Jh. setzt eine erneute Bodenbildung unter Waldvegetation ein. Der mittelalterliche Ackerbau setzt um 1210 (historisch belegtes Datum) mit zunächst sehr schwacher Bodenerosion ein. Zwei Abschnitte sehr starker Erosion könnten mit den starken Niederschlägen des 14. und 18. Jh. parallel gehen. Um 1910 wird ein Drainagegraben von über 2 m Tiefe angelegt, der zu einer stark erhöhten Bodenerosion führt, die im Aufschluss deutlich erkennbar ist.

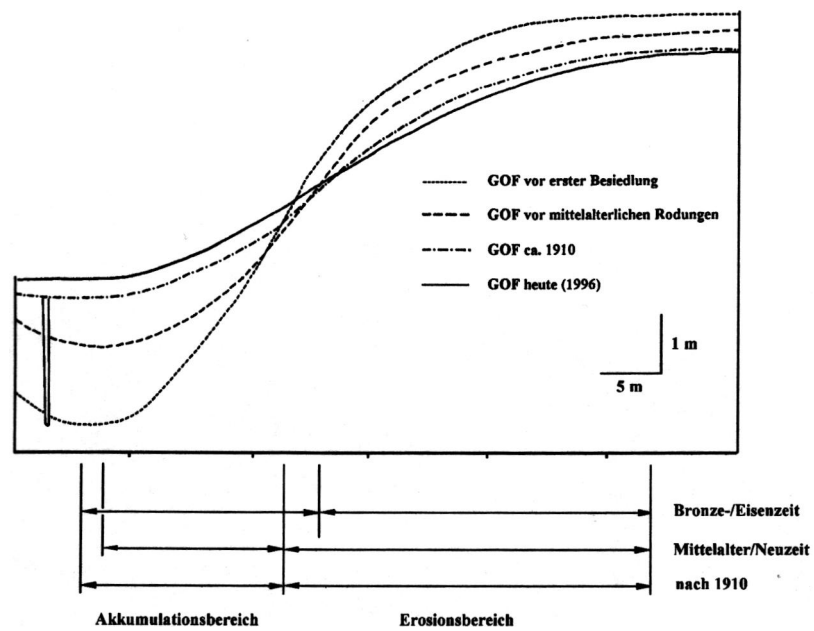


Abb. 7.1 Veränderung der Geländeoberfläche (GOF) der Catena Dahmsdorf durch Bodenerosion und Akkumulation (Quelle: Schatz 2000, Abb. 36).

7.2 Die Grabung Glasow

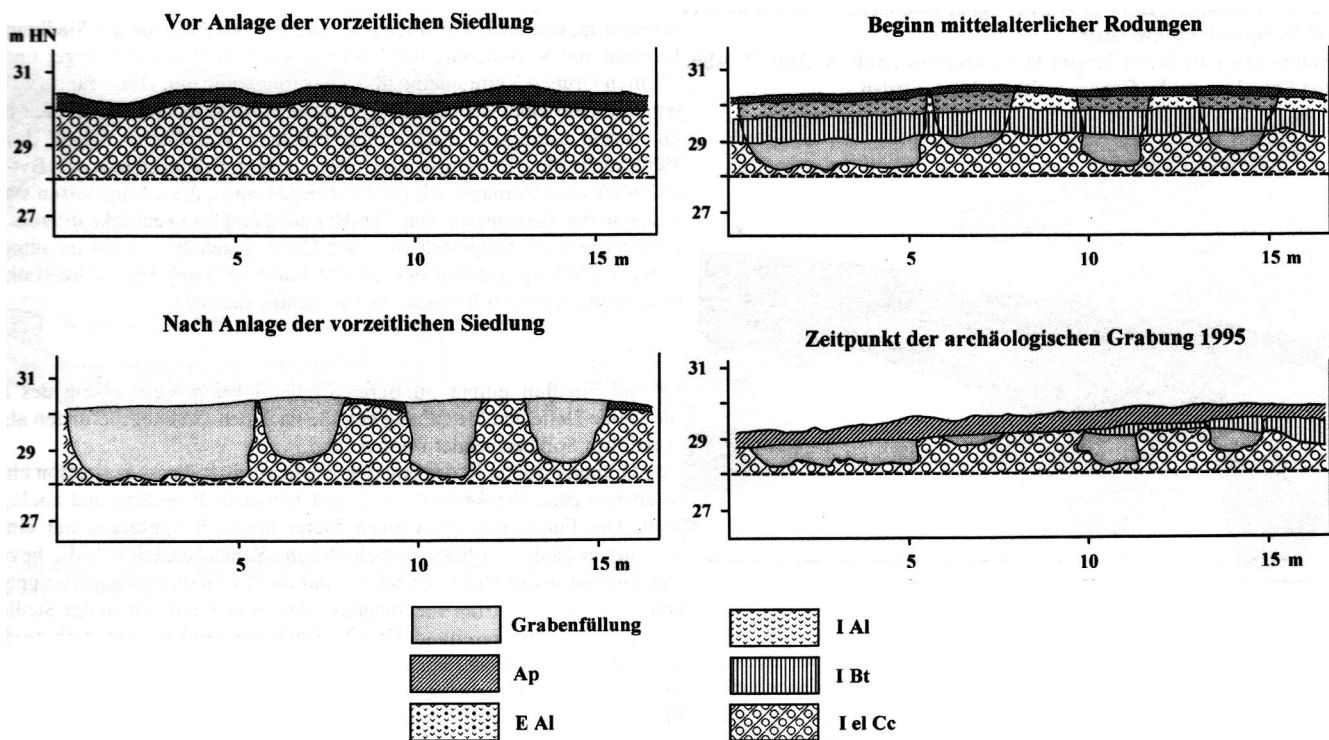


Abb. 7.2 Grabung Glasow: Rekonstruktion der Boden- und Reliefgenese im prähistorischen Siedlungsbereich am Rand der Grundmoränenplatte (Legende s. Abb. 7) (Quelle: Schatz 2000, Abb. 7 u. 8).

Weitere Daten stammen aus der Siedlungsgrabung Glasow (südl. Vorpommern, publiziert bei Bork et al. 1998 und ausführlicher bei Schatz 2000, 25-57, dessen Ausführungen die folgenden Informationen entnommen sind), die im Rahmen des Projektes „Mensch und Umwelt im Odergebiet in ur- und frühgeschichtlicher Zeit“ unter der Leitung von E. Gringmuth-Dallmer und Ch. Sommerfeld durchgeführt wurde (Gringmuth-Dallmer 1996, 1997; Sommerfeld 1997). Der Ort weist eine spätbronzezeitlich-eisenzeitliche und eine slawische Besiedlungsphase, die mindestens vom 10. bis zum 12. Jh. reicht, auf.

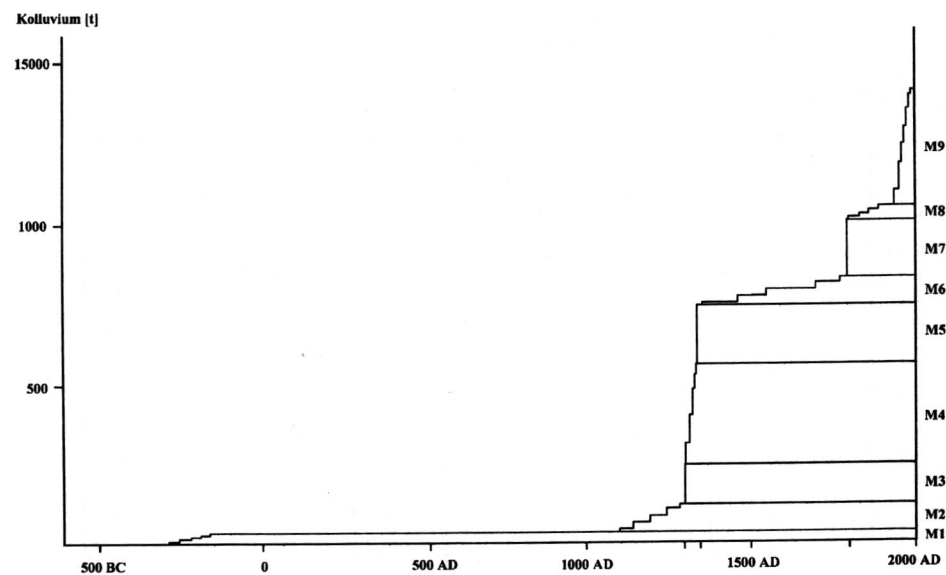


Abb. 7.3 Grabung Glasow: Akkumulation des Schwemmfächers der Randowbucht seit der Eisenzeit. Das episodische Auftreten einzelner Erosionsereignisse spiegelt sich im stufenhaften Verlauf der Kurve an den mit den nachgewiesenen Schichtgrenzen korrelierenden Abschnitten wieder (Quelle: Schatz 2000, Abb. 22).

Für die bodenkundlich-archäologischen Untersuchungen wurden zusätzlich zu den Grabungsschnitten im Oberhangbereich Profilschnitte vom Hangfuß bis in den Niedermoorbereich mit dem ausgedehnten Schwemmfächer gelegt. Die Gegenüberstellung der Daten für die drei Nutzungsphasen (Tab. 7.2) weist in die gleiche Richtung wie die Beobachtungen bei der Grabung Dahmsdorf.

| Spätbronzezeit bis Eisenzeit | Hohes Mittelalter bis 1934 | ab 1934 (mechanischer Pflug) |
|--|-------------------------------|---------------------------------|
| mittlere Mächtigkeit der Akkumulation (cm) | | |
| 17 | 107 | 35 |
| Dauer der Nutzungsphase (a) | | |
| 100 | 835 | 61 |
| mittlerer Bodenabtrag (t/ha/a) | | |
| 1,5 | 5 | 24 |

Tab. 7.2 Zeitlich differenziertes Ausmaß der Bodenerosion auf der Grabung Müncheberg-Dahmsdorf (Märkische Schweiz). Datenquelle: Bork et al. 1998

Die Bodenerosionsraten verhalten sich absolut wie 1,5:5:24 (t/ha/a) und relativ wie 100:300:1600 (%). Dabei wurde die witterungsbedingt besonders erosionsreiche erste Hälfte des 14. Jh. aus der Berechnung ausgeschlossen.

7.3 Die Grabung Klessin

Bei Klessin (Kreis Märkisch Oderland) wurde ein 35 m langer Abschnitt eines zur Verlegung einer Gashochdruckleitung ausgehobenen Grabens geoarchäologisch (unpublizierte Notgrabung der Firma LAND GmbH unter Leitung von P. Kranendonk im Jahr 1996) untersucht und eine Quantifizierung der kolluvialen Feststoffumlagerungen (Phosphor und organischer Kohlenstoff) vorgenommen. Die Ergebnisse wurden von Schatz (2000, 58-67) summarisch publiziert. Demnach war die erste Nutzungsphase vermutlich urgeschichtlich, zeitlich getrennte Erosionsbilanzen existieren allerdings nicht. Die Gesamtbilanz weist einen mittleren Abtrag von 64 cm (5.5 t/ha/a bei einer geschätzten Nutzungsdauer von insgesamt 2000 Jahren und einem Gesamtabtrag von 19952 t/ha) aus. Das Gesamtvolumen des Abtrags allein durch Bodenerosion (d.h. ohne fluviale Erosion) beträgt somit 38975 m³ bzw. 164 cm. Im Ergebnis liegt also eine deutlich nachweisbare Verflachung des Geländes vor. Dieser Befund steht im Einklang mit den schon erwähnten Beobachtungen bei Glasow und Dahmsdorf.

Teil II

Technisch-methodische Grundlagen und Implementierung

Spezifikation und Entwicklung eines Erosionsmodells für die Bodendenkmalpflege

Ein Erosionsmodell für die archäologische Denkmalpflege soll sowohl den Anforderungen der auf kleinem Maßstab operierenden Bodendenkmalpflege Rechnung tragen, als auch ein Werkzeug zur realistischen Interpretation von Fundstellen-Verbreitungskarten darstellen. Dabei kann von zahlreichen Erkenntnissen in den Geowissenschaften profitiert werden, die seit den 60er Jahren auf dem Gebiet der systematischen Erosionsmodellierung gewonnen wurden. Die Brücke dorthin schlägt eine Kombination der Erkenntnisse von Archäologie und Geowissenschaften (Hassan 1985), wie sie bereits Saile (2001, 110) gefordert hat, und wie sie seit längerem in anderen geographischen Räumen üblich ist (für die Mittelmeerzone z.B. Davidson 1985; in Nordamerika Mandel 1992 sowie Johnson/Willey/McLaughlin 2001). Die im vorigen Teil der Arbeit besprochenen Forschungsergebnisse (Bork 1998, Schatz 2000), welche geowissenschaftliche und archäologische Befunde zu einem Gesamtbild der Auswirkungen anthropogener Landschaftsnutzung vereinen, liefern die theoretischen Grundlagen und leistungsfähige Methoden der Geoinformatik und Geophysik bilden das technisch-mathematische Fundament für deren Umsetzung in ein Bodenerosionsmodell.

8 Erosionsmodelle in Forschung und Anwendung

Saile (2001, 96) beklagt im Rahmen zweier Fallstudien zur Korrelation der oberflächlichen Verbreitung von archäologischen Fundstellen mit der Reliefenergie der umgebenden Landschaft den Mangel an Verfahren zur Modellierung der „konkrete[n] Reliefsituation in unmittelbarer Umgebung der Fundstellen“. Die Zusammenhänge von Bodenerosion und anthropogener Landschaftsnutzung sind

seit längerem bekannt (z.B. Jäger 1968, Jäger 1997, Jäger/Ložek 1978). Saile (2001, 93) stellt hierzu fest: „Die materiellen Überreste einer prähistorischen Stätte sind der geomorphologischen Dynamik des Landschaftsraumes ausgesetzt. Dabei wird die Überlieferungsgeschichte einer Fundstelle wesentlich durch Prozesse des Reliefausgleichs bestimmt [...]“. In der Praxis anwendbare, d.h. als Computerprogramme implementierte und allgemein nutzbare, Bodenerosionsmodelle sind jedoch in der archäologischen Forschung erst im Entstehen begriffen (Verhagen 1996, 319) und in den wenigen vorhandenen Beispielen so stark an den jeweiligen Untersuchungsraum angepasst, dass eine Übertragung auf andere Landschaftsformen nicht ohne weiteres möglich ist (Zeidler 2001). Es kann aber auf eine ganze Reihe von Modellen v.a. der letzten zwei Jahrzehnte zurückgegriffen werden, die hauptsächlich für den Bedarf des Umweltschutzes und der Landwirtschaft entwickelt wurden und dort teilweise seit Jahrzehnten erfolgreich angewendet werden. Im folgenden sollen nur die am häufigsten eingesetzten bzw. in der Literatur erwähnten Modelle kurz beschrieben und charakterisiert werden.

8.1 Empirische Modelle

Die erste Generation von systematisch entwickelten Erosionsmodellen arbeitet (semi-)empirisch: Verschiedene relevante Faktoren müssen zunächst standort-spezifisch gemessen oder angenähert werden, um sie dann mittels eines einfachen mathematischen Modells zueinander so in Beziehung zu setzen, wie es dem beobachteten Geschehen am besten entspricht. Da das komplexe Wirkungsgefüge der Erosionsfaktoren physikalisch noch nicht vollständig beschreibbar ist, spielen empirische Modelle nach wie vor eine große Rolle in der Erosionsmodellierung (Haider 1995, 38) – auch deshalb, weil sie aufgrund ihrer einfachen Struktur leicht als benutzerfreundliche Computerprogramme umsetzbar sind.

8.1.1 (R)USLE und ABAG

Die Universal Soil Loss Equation (USLE) ist eine einfache empirische Gleichung, die es ermöglicht, den durchschnittlichen Bodenverlust auf landwirtschaftlichen Flächen zu berechnen. Sie wurde ursprünglich in den USA entwickelt (Wischmeier/Smith 1960, 1972, 1978), später aber auch an mitteleuropäische Verhältnisse angepasst (Schwertmann/Vogel/Kainz 1990; dort als Allgemeine Boden-Abtragungsgleichung, ABAG), und ist aufgrund ihrer langen Entwicklungsgeschichte das wohl am besten bekannte und untersuchte Rechenmodell für den Bodenabtrag. Wie Formel 8.1 zu entnehmen ist, berechnet die USLE den Gesamtabtrag als Produkt von mehreren empirisch zu ermittelnden Faktoren.

*** 8.1 Universal Soil Loss Equation (USLE):**

$$E = LS \cdot R \cdot C \cdot K \cdot P$$

Dabei ist E ($\frac{\text{Tonnen}}{\text{acre} \cdot \text{Jahr}}$) der durchschnittliche Bodenverlust, LS der topographische Faktor (Hanglängen und -neigungen), R der Regenintensitätsfaktor, C der Vegetationsfaktor (Bodenbedeckung und -bearbeitung), K der Bodenfaktor (Erodierbarkeit des Bodens) und P der Präventionsmaßnahmenfaktor. Diese Faktoren werden im Abschnitt 11 auf Seite 52 noch ausführlich besprochen (weitere Erläuterungen zu den Faktoren finden sich z.B. bei Wischmeier/Smith 1978 und zusammenfassend bei Zepp 2002, 136). RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) ist die Weiterentwicklung von USLE, die, auf den gleichen empirischen Voraussetzungen aufbauend, zahlreiche Verbesserungen, wie etwa die realistischere Einbeziehung von topographischen Faktoren und bessere empirische Näherungen für den LS Faktor, enthält (Wischmeier 1974, Renard et al. 1991, 1996). USLE ist der erste groß angelegte Versuch, Erosion präzise zu modellieren (Wischmeier/Smith 1960). Das Modell, das wohl das bekannteste und am längsten im praktischen Einsatz befindliche Erosionsmodell darstellt, arbeitet mit der Annahme von begrenzter Ablösungskapazität, d.h. die räumliche Ausdehnung der Erosionszonen wird nur durch die Menge des bewegbaren Materials begrenzt. Mit einem solchen Ansatz ist die Modellierung von Akkumulation nicht möglich. USLE wurde für den Einsatz auf Feldern mit einfacher Topographie entwickelt und berücksichtigt lediglich die Netto-Erosion (Mitasova/Mitas 1999a). Aufgrund dieser Eigenschaft und des Zielmaßstabes (landwirtschaftliche Felder) eignet sich die USLE nur sehr begrenzt zur Modellierung von Erosion in Landschaften mit komplexer Topographie.

8.1.2 USPED

Trotz der beschriebenen Nachteile sind USLE-basierte Modelle nicht prinzipiell für komplexere Fragestellungen unbrauchbar (Verhagen 1996). Die grundsätzliche Relevanz der in die Gleichung eingehenden Einzelfaktoren ist in der Praxis über Jahrzehnte bewiesen worden. Unbefriedigend ist lediglich die Tatsache, dass die Modellierung auf der Basis von ablösungsbegrenzter Transportkapazität keine Akkumulation berücksichtigt. Dieser Nachteil lässt sich beheben, indem der LS -Faktor durch ein präziseres, geomorphologisches Modell ersetzt wird. Ganz allgemein betrachtet, handelt es sich bei der Bodenerosion um einen Massefluss auf einer komplex geformten, dreidimensionalen Oberfläche. Die Ablösung von Partikeln von der Bodenoberfläche und ihr Transport können somit als Fließprozesse modelliert werden. Die Richtung und Stärke der beteiligten Prozesse hängt von den geometrischen Eigenschaften des Geländes ab, die wiederum von dessen Topographie bestimmt werden (Mitášová/Hofierka 1993, 3).

Beim Massetransport auf dem Hang arbeiten zwei in unterschiedliche Richtungen wirkende physikalische Kräfte. Die Schubspannung (Transportkapazität) des oberflächlich abfließenden Wassers bewegt die Bodenpartikel hangabwärts, während die Gravitation sie in Richtung Hangoberfläche zieht. Die vom Wasser transportierten Bodenpartikel werden abgelagert, wenn die Transportkapazität unter die Kraft der Gravitation sinkt, was auf Flächen mit Abflussdivergenz (abnehmende Schichtdicke des Wassers und zunehmende Bedeutung der Reibung) und niedriger Hangneigung der Fall ist (Zepp 2002, 129). Auf diesem Prinzip der begrenzten Transportkapazität (Mitasova/Mitas 1999b) basiert USPED (Unit Stream Power-based Erosion Deposition), ein fortschrittlicheres Modell, das, auf den USLE-Faktoren aufbauend, die räumliche Verteilung von Erosions- und Akkumulationsraten berechnet. Es basiert ursprünglich auf dem Konzept von Moore und Burch (1986) und hat seitdem zahlreiche Verbesserungen erfahren (<http://www.cecer.army.mil/td/tips/product/details.cfm?ID=359&RESEARCH=1>).

Im USPED-Modell kann der Sedimentfluss T bei begrenzter Transportkapazität wie in Formel 8.2 ermittelt werden (nach Mitasova/Mitas 1999b). Die aus der USLE bekannten Faktoren werden genutzt, um den Einfluss von Bewuchs, Bodennutzung und Substrat zu quantifizieren. Das USPED-Modell geht von einem Fließgleichgewicht der zu- (Regen) und abgeführten (Oberflächenabfluss) Wassermengen aus, so daß das Gesamtvolumen des Wassers im Modell konstant bleibt. In diesem Fall kann der Oberflächenabfluss als Funktion der Fläche des Einzugsgebietes pro Zelle ausgedrückt werden (A^m). Der Faktor $A^m \cdot \sin b^n$ entspricht dann dem LS-Faktor der USLE (b ist die Hangneigung). Die Exponenten m und n sind empirisch ermittelte Parameter. Für vorwiegend flächenhafte Erosion gilt $m = n = 1$.

*** 8.2 USPED, Berechnung des Sedimentflusses:**

$$T = A^m \cdot \sin b^n \cdot R \cdot C \cdot K \cdot P$$

Mit Hilfe der Formel ?? (nach Mitasova/Mitas 1999b) kann dann die Netto-Erosion bzw. -Akkumulation (ED) als Änderung der Sedimentflussrate $d(T)$ angenähert werden. Der Term $d(T)$ wird als Abflussdivergenz, d.h. Grad des Auseinanderfließens, des Sedimentflusses ausgedrückt (a ist die Hangrichtung, welche die Richtung des Sedimentflusses bestimmt).

*** 8.3 USPED, Berechnung der Netto-Erosion bzw. -Akkumulation:**

$$ED = \frac{d(T \cdot \cos a)}{dx} + \frac{d(T \cdot \sin a)}{dy}$$

In dieser Form ist das USPED-Modell trotz seiner höheren Leistungsfähigkeit immer noch genauso einfach zu parametrisieren wie USLE-basierte Modelle.

8.2 Physikalische Modelle

Im Gegensatz zu empirischen Modellen erlauben physikalische (prozessbasierte) Modelle einen direkten Einblick in die Wirkungsweise der untersuchten Prozesse. Physikalische Modelle versuchen, die den Transportprozessen zugrunde liegenden Naturgesetzmäßigkeiten so präzise wie möglich zu modellieren. Das einfache mathematische Modell der empirischen Modelle wird durch komplexe, wissenschaftlich fundierte Prozeßbeschreibungen ersetzt, die auf stochastischen Wettermodellen, hydrologischen, bodenkundlichen, botanischen, geomorphologischen und hydraulischen Gesetzen beruhen und in Simulationen erprobt werden können. Die bei der Entwicklung dieser Prozeßbeschreibungen gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen ein echtes Verständnis der betrachteten Vorgänge unter Einbeziehung ihrer zeitlichen Komponente und verbessern die Übertragbarkeit der Methoden und Ergebnisse auf andere Anwendungsfälle.

8.2.1 USDA-WEPP, EUROSEM, EROSION-3D und ähnliche Modelle

Die Vielfalt an für die Erfordernisse der modernen Landwirtschaft angepassten Erosionsmodellen auf physikalischer Grundlage ist mittlerweile groß. Den derzeitigen Standard der theoretischen und technologischen Entwicklung markieren in den 90er Jahren entwickelte Modelle, die Simulationen von Bodenerosion basierend auf Einzelereignissen (Starkregenereignissen) mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung erlauben und sich derzeit anschicken, die älteren empirischen Modelle auf breiter Front zu ersetzen.

USDA-WEPP (United States Department of Agriculture Water Erosion Prediction Project; Flanagan/ Nearing 1995) ist ein benutzerfreundlich gestaltetes Computerprogramm zur Simulation von Bodenerosion, das in einer Zusammenarbeit der amerikanischen Landwirtschaftsbehörden (u.a. USDA-Natural Resources Conservation Service, USDA-Forest Service, USDI-Bureau of Land Management) und der Purdue-University entwickelt wurde. Es berechnet Erosion und Akkumulation durch Oberflächenabfluss in Form von Denudation und konzentriertem Abfluss in linearen Rillen. Dabei werden alle relevanten Parameter berücksichtigt und das Modell ist auch in der Lage, bei der Planung von Bodenschutzmaßnahmen zu helfen. Das EUROSEM-Projekt (European Soil Erosion Model; Morgan et al. 1998), welches zunächst für die europäische Landwirtschaft entwickelt wurde, inzwischen aber weltweit im Einsatz ist (Morgan et al. 1998, V), bietet vergleichbare Funktionalität bei noch größerer Realitätsnähe. Erosion-3D ist ein im deutschsprachigen Raum mittlerweile verbreitetes Modell (Werner 1995).

Allen Modellen dieser Art ist gemeinsam, dass sie hochspezialisierte Anwendungen darstellen, die auf einem sehr kleinen Maßstab, normalerweise einzelne Felder, arbeiten und einen entsprechend hohen Genauigkeitsanspruch besitzen. Um die komplexe Interaktion der einzelnen Prozesse zu steuern, müssen sie daher mit sehr präzise quantifizierten Informationen (Bodeneigenschaften, Vegetation,

Wetter etc.) parametrisiert werden. Für einzelne Felder ist der Aufwand für die Beschaffung der notwendigen Messdaten wohl vertretbar. Auf einem Landschaftsmaßstab steht man hier aber schnell vor unlösbaren Problemen, da Daten in der benötigten Genauigkeit für größere Räume schwer zu beschaffen sind. Ebenso verhält es sich mit den Anforderungen an die technische Ressourcen. Der Rechenbedarf von Modellen wie WEPP ist auf Landschaftsebene sicher nur in Großrechenanlagen zu befriedigen.

8.2.2 Das CHILD-Modell

Selbst wenn es gelänge, Daten- und Ressourcenansprüche der besprochenen physikalischen Modelle auch auf Landschaftsmaßstab zu erfüllen, ist zweifelhaft, wie wertvoll die gewonnenen Ergebnisse, die ja eigentlich für andere Zwecke und einen anderen Maßstab gedacht sind, dann überhaupt wären. Zumal die zeitliche Variabilität der benötigten Informationen als weiteres Problem hinzukäme. Vielversprechender ist ein Ansatz, der sowohl in der räumlichen als auch in der zeitlichen Dimension großmaßstäbiger orientiert ist.

Das CHILD-Modell (Channel-Hillslope Integrated Landscape Development Model), das inzwischen in zweiter Revision vorliegt (Tucker et al. 1999b), ist ein umfangreicher Versuch, Erosionsprozesse auf physikalischer Grundlage zu beschreiben und zu simulieren (Tucker et al. 1999a). Zudem unterstützt es explizit geoarchäologische Modelle (Tucker et al. 1999d; Tucker/Gasparini/Bras 2001). In der Fortschrittlichkeit seiner theoretischen Grundlagen und seinem großmaßstäbigen, generischen Ansatz repräsentiert das CHILD-Modell in Software umgesetzte Grundlagenforschung, die weit über den funktionalen Rahmen agrartechnischer Modelle hinausgreift. Um die Handhabbarkeit des komplexen Wirkungsgefüges der Erosionsprozesse zu erleichtern, verfolgt es einen transparenten, modularen Ansatz, bei dem die physikalischen Beschreibungen der unterschiedlichen Erosionsprozesse in verschiedenen Modulen implementiert sind. Derzeit existieren Module für die Berechnung von Oberflächenabfluss und Bodenerosion (auch unter Berücksichtigung von Vegetation; Tucker/Bras 1999b), Fließgewässererosion (Gasparini/Tucker/Bras 1999), Winderosion (Tucker/Gasparini/Bras 1999), die Simulation von Starkregenereignissen (Tucker/Bras 1999a), Hochwasserereignissen und damit verbundenen Sedimentbildungen (Gasparini/Tucker/Bras 1999), Mäanderbildung von Flüssen und die Ermittlung der vertikalen Position von archäologischen Artefakten in den berechneten Sedimentschichten (Tucker et al. 1999d; s. Schema in Abb. 8.1). Das Zusammenspiel der einzelnen Module ergibt ein sehr umfassendes Modell der Landschaftsentwicklung über einen definierten Zeitraum, bei dem jede einzelne Veränderung mit einem konkreten Zeitpunkt in Verbindung gebracht werden kann.

Seine Leistungsfähigkeit konnte das Modell in der Praxis beweisen: In Zusammenarbeit mit den regionalen Bodendenkmalschutzbehörden gelang es, für eine militärisch genutzte Region in den USA (Ft. Riley, Kansas) von etwa 100 km² Ausdehnung ein Modell der zu erwartenden Position und Tiefe

paläoindianischer Fundstellen zu erarbeiten (Zeidler 2001).

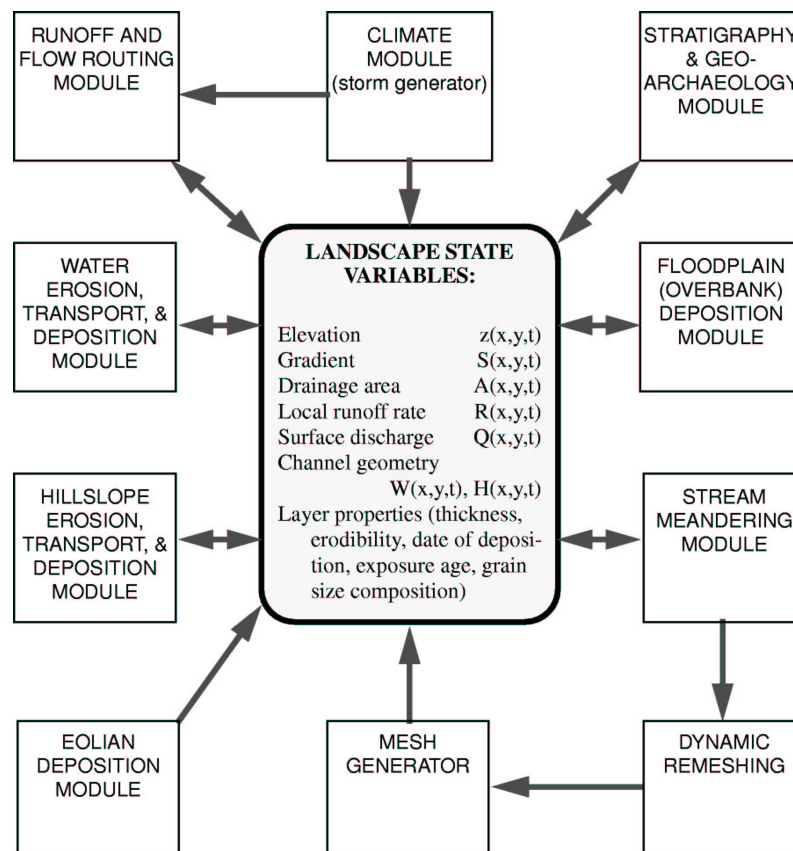


Abb. 8.1 CHILD-Modell: Schema der Zustandsvariablen und Prozess-Module. Quelle: Tucker et al. 1999, Fig. 1.

9 Spezifikation eines archäologischen Erosionsmodells

Um das bis zu diesem Punkt skizzierte, reichhaltige Wissen über die Quantifizierung von Bodenerosionsprozessen für ein Erosionsmodell zu nutzen, das archäologischen Belangen gerecht wird, müssen die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

1. Die auf dem Untersuchungsmaßstab dominierenden Prozesse müssen adäquat modelliert werden. Insbesondere müssen sowohl Erosion als auch Akkumulation in ihrer Stärke und räumlichen Verteilung möglichst präzise berechnet werden.
2. Das Modell muss einerseits genau genug sein, um für die bodendenkmalpflegerische Arbeit nutzbar zu sein, andererseits aber auch so allgemein, dass es sich für großflächige Landschaftsanalysen eignet. Es muss also Prozesse auf einem relativ großen Maßstab berücksichtigen und gleichzeitig räumlich hoch aufgelöste Ergebnisse produzieren.
3. Der Anspruch an die Präzision der zugrundeliegenden Daten darf nicht zu hoch sein. Für das Untersuchungsgebiet stehen die Geodaten der Vermessungsämter sowie archäologische Informationen aus den Ortsakten zur Verfügung. Das Modell muss mit diesen Informationen zu aussagekräftigen Ergebnissen kommen.

Generell sind die im Rahmen der Modellbildung zu integrierenden Prozesse maßstabsabhängig (Verhagen 1996, 319). Die Wahl des Maßstabs wird vom Anwendungszweck des Erosionsmodells bestimmt. Da die Vielzahl und Komplexität der Prozesse allgemein mit kleinerem Maßstab zunimmt, somit also auch die Anforderungen an Methodik, Datenqualität und technische Ressourcen (PC-Rechenleistung und -Speicher) steigen, werden kleinmaßstäbige Modelle in der Regel selektiv zur lokalen Beurteilung kleiner Flächen (Feldmaßstab) eingesetzt, während großmaßstäbige Modelle geeignet sind, übergeordnete Zusammenhänge zu modellieren (Landschaftsmaßstab). Das in dieser Arbeit betrachtete Testgebiet 2 (Havelland) besitzt eine Größe von 53,1 km². Auf diesem Maßstab dominieren Prozesse der flächenhaften Bodenerosion durch Regenwasser, die in ihrer Stärke und räumlichen Variabilität vor allem von der Topographie (Mitášová/Hofierka 1993, 3) und der Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens (Bodensubstrat) bestimmt werden (Mitasova et al. 2001a). Die Berechnung der Erosions- und Akkumulationszonen wird dabei für ein orthogonales Raster von ca. 600 × 1800 quadratischen Zellen mit einer Kantenlänge von jeweils 10 m durchgeführt. Durch die Rotation der begrenzenden Kanten des Testgebietes stellt dieses Raster das größte umfassende, orthogonal zum Koordinatensystem liegende, Rechteck dar und ist nicht deckungsgleich mit den tatsächlich Daten enthaltenden Zellen, deren Gesamtzahl rund 531.000 beträgt.

Einfachste empirische Modelle sind zwar gut handhabbar (USLE bzw. ABAG), können aber die geomorphologischen Prozesse nur schlecht oder gar nicht beschreiben. Ein USLE-basiertes Modell scheidet von vornherein aus, da es nicht in der Lage wäre, Akkumulation zu berechnen. Physikalische

Modelle hingegen besitzen wissenschaftlich fundierte Prozeßbeschreibungen (EUROSEM, WEPP, CHILD). Ihr prinzipbedingter Nachteil liegt aber darin, dass sie wegen großer Mengen schwer bestimmbarer Eingabedaten zur Quantifizierung der physikalischen Prozesse für eine großmaßstäbige Anwendung ungeeignet sind (Verhagen 1996, 319). Im Rahmen dieser Studie wird daher das USPED-Modell zum Einsatz kommen, das die leichte Parametrisierbarkeit der USLE-basierten Modelle mit einem präzisen, geomorphologischen Modell kombiniert. Das USPED-Modell arbeitet, wie bereits erwähnt (Abschnitt 8.1.2 auf Seite 41), mit Transportkapazitätsbegrenzung. Laut Mitasova/Mitas (1999b) ist es damit besonders geeignet, um die Herausbildung von langfristigen Erosions- und Akkumulationsmustern als Resultat sowohl schwach und stark wirksamer Einzelereignisse zu modellieren. Außerdem beschreibt es das Verhalten von sandigen Böden mit relativ großen Partikeln, wie sie im Untersuchungsgebiet dominieren, besonders gut (Mitasova/Mitas (1999b).

10 Datengrundlagen und technische Voraussetzungen

Viele der Faktoren, welche Bodenerosion beeinflussen (insbesondere Bodensubstrat, Topographie und Landnutzung) sind einer starken räumlichen Variabilität unterworfen und können selbst auf kleinen Flächen nicht als Mittelwert ausgedrückt werden (Morgan et al. 1998, 3). Das USPED-Modell nutzt die Faktoren der (R)USLE, die für das Testgebiet 2 (Havelland) aus diversen Quellen (topographische Karten, Bodennutzungskarten etc.) hergeleitet werden konnten. Alle vorhandenen Informationen mussten zunächst digitalisiert werden. Dazu wurde das Kartenmaterial eingescannt und mittels geeigneter Software am Bildschirm in digitale Karten übertragen.

10.1 Integration von Archäo- und Geodaten mittels GIS

Eine präzise Modellvorstellung der geoarchäologischen Eigenschaften einer Landschaft setzt eine Vielzahl an Informationen voraus, die aus unterschiedlichen Quellen (topographische Karten, Fundortregister, archäologische Grabungsdokumentationen etc.) stammen und zu einem vollständigen Datenmodell kombiniert werden müssen. Dabei handelt es sich um strukturell ganz unterschiedliche Informationen (Bartelme 1995, 46 ff.):

1. Klar abgegrenzte Objekte, die in sich homogen und als geometrische Figuren beschreibbar sind (Vektormodelle):
 - (a) Polygonobjekte (beispielsweise die Flächenschätzungen der Bodenschätzungskarte) bestehen aus einer Reihe von Stützpunkten, die eine Fläche umschreiben und einem oder mehreren zugeordneten Attributen zur Kategorisierung der gesamten Fläche (im Falle der Bodenschätzung beispielsweise der Schlüssel für das Substrat).

- (b) Linienhafte Objekte mit einem zugehörigen Attribut (z.B. Konturlinien mit Höhenangaben).
 - (c) Punktobjekte ohne Flächenausdehnung, wie etwa die mit Gauß-Krüger-Koordinaten lokalisierten Fundstellen in den zugehörigen Ortsakten. In diesem Fall beschreiben zugehörige Attribute z.B. die Zeitstellung der Fundstelle oder ihre Funktion (Grab, Siedlung etc.).
2. Objekte, die meist Phänomene mit großem, nicht homogenem Flächeninhalt (Bartelme 1995, 48) darstellen. Solche Objekte werden in Form eines Rasters aus meist quadratischen, regelmäßig angeordneten Bereichen (Zellen) modelliert. Ein Rastermodell abstrahiert die Eigenschaften eines Objektes derart, dass sie innerhalb einer Zelle als homogen aufgefasst werden, über das gesamte Raster aber fein modelliert werden können. Je feiner die Auflösung des Rasters (d.h. je kleiner die Kantenlängen der Zellen), desto detaillierter lassen sich flächige Phänomene mit fließenden Übergangsbereichen modellieren. Ein typisches Beispiel ist das in Abschnitt 11.1.1 auf Seite 53 besprochene, hochaufgelöste Modell der Geländeoberfläche für das Testgebiet 2 (Havelland).

Das für die Berechnung des Erosionsmodells verwendete Datenmodell ist ein Rastermodell. Es basiert auf einem orthogonalen Raster von 10×10 m, welches, über die Landschaft gelegt, für jede Flächeneinheit von 100 m^2 die erforderlichen Informationen (Topographie, Substrat etc.) bereitstellt (Abb. 10.1). In dieses Raster müssen die einzelnen, nach der Digitalisierung als Vektorobjekte vorliegenden, Informationen übertragen werden. Die Herausforderung besteht dabei darin, dies mit möglichst hoher Genauigkeit und ohne Informationsverlust zu bewältigen. Die technischen Grundlagen hierfür stellt ein Geographisches Informationssystem (GIS) bereit. Unter dem Sammelbegriff GIS existiert mittlerweile eine große Vielzahl von auf Verwaltung, Analyse und Visualisierung räumlich verteilter Informationen spezialisierten Programmen.

Die bekanntesten Vertreter dürften die Produkte MapInfo® (<http://www.mapinfo.com>), ArcViewTM bzw. ArcInfoTM/ArcGISTM/ArcMapTM (<http://www.esri.com/software/arcgis/arcinfo/index.html>) und IDRISI32 (<http://www.clarklabs.org/>) sein. Da jedes Programm individuelle Schwerpunkte setzt, bietet es sich an, komplexe Aufgaben in Teilaufgaben zu zerlegen und diese mit der jeweils am besten geeigneten Software zu lösen (zum Einsatz von GIS in der Archäologie und den technischen Grundlagen: Saile 1993, 35-38).

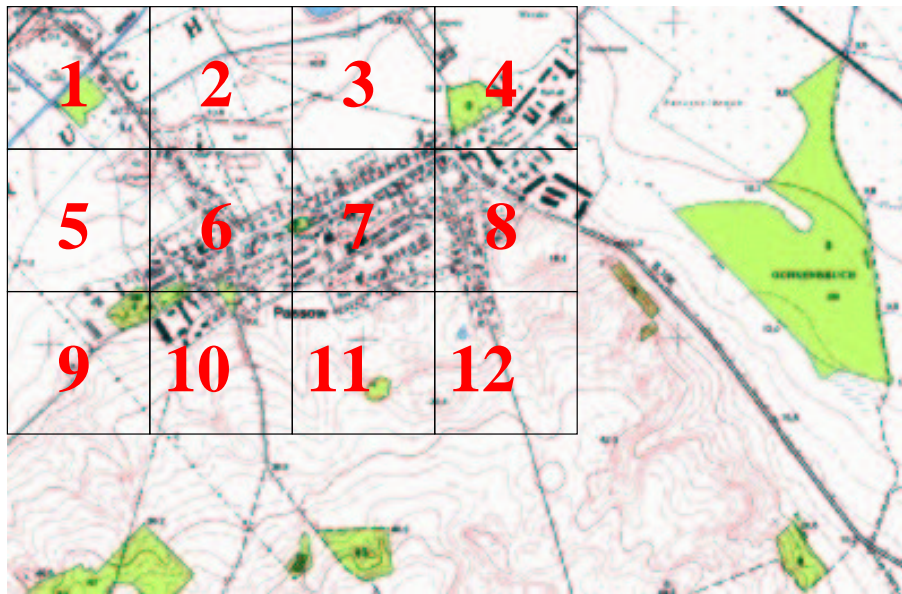


Abb. 10.1 Landschaft als Rastermodell. Ein über die Landschaft gelegtes Raster aus quadratischen Zellen stellt die für das Erosionsmodell benötigten Informationen bereit.

Im Rahmen dieser Arbeit kamen die Programme MapInfo® und GRASS (Geographical Resources Analysis Support System, (s. GRASS 2002) zum Einsatz. MapInfo® wurde zur Digitalisierung der Informationen aus topographischen Karten und Bodenschätzungskarten verwendet, während die eigentliche Analyse, Modellberechnung und Visualisierung mit GRASS vorgenommen wurde. GRASS GIS kann mittlerweile auf eine Entwicklungszeit von mehr als 20 Jahren zurückblicken. Die Spezialisierung der Software auf landschaftsökologische Fragestellungen kommt dem Einsatzzweck im Rahmen dieser Arbeit ebenso entgegen wie die Tatsache, dass sie seit nunmehr einigen Jahren kostenfrei zur Verfügung steht. GRASS GIS ist in der Lage, Daten aus sehr unterschiedlichen Quellen nahtlos zu integrieren und verfügt über einen robusten und effizienten software-technischen Kern, der die Handhabung großer Datenmengen (v.a. in Form von Rasterdaten) auch auf handelsüblichen PCs ermöglicht. Die grundsätzliche Tauglichkeit von GRASS GIS zum Zweck großräumiger Erosionsmodellierung in der Archäologie wurde bereits belegt (Verhagen 1996).

10.2 Vervollständigung des Datenmodells per Interpolation

Bevor die einzelnen Informationsebenen des Datenmodells vorgestellt werden, soll noch ein zentrales Konzept bei der Aufbereitung der Daten kurz besprochen werden. Das in dieser Arbeit entwickelte Erosionsmodell arbeitet mit einer Rasterauflösung von 10×10 m, d.h. für Flächeneinheiten von jeweils 100 m^2 soll ein Wert berechnet werden, der das Ausmaß der Erosion oder Akkumulation auf dieser Fläche quantifiziert. Zu diesem Zweck müssen alle für die Berechnung notwendigen räumlich

verteilten Variablen mit der gleichen Auflösung vorliegen. Oftmals ist dies nicht der Fall. Die Konturlinien der zum Testgebiet gehörigen topographischen Karten (Variable „Höhe“), beispielsweise, stehen an manchen Stellen sehr dicht (unter 1 m), an anderen sehr weit auseinander (über 600 m). Für diejenigen Rasterzellen, die nicht von Konturlinien geschnitten werden, existieren zunächst überhaupt keine Höhenwerte. Das Schließen solcher Datenlücken geschieht per Interpolation. Eine Interpolation ist allgemein betrachtet die mathematische Herleitung von Werten an Zwischenstellen aus den bereits bekannten Werten an Stellen in direkter Nachbarschaft. Dabei wird vorausgesetzt, dass es sich bei der interpolierten Variablen um ein kontinuierlich verteiltes Phänomen mit fließenden Grenzen (z.B. Geländere relief, Bodenhorizonte) und nicht um diskrete, in sich homogene Objekte (Bebauung, Feldergrenzen etc.) handelt. Die in dieser Arbeit verwendete, räumliche Interpolation ist ein Verfahren, das in der Lage ist, Höhenpunkte an Stellen zu berechnen, für die keine Messdaten vorliegen. Zu diesem Zweck existieren vielfältige mathematische Lösungen (s. z.B. Bartolme 1995, 117 ff.), deren einzelne Vor- und Nachteile aufzuzählen an dieser Stelle zu weit führen würde (eine detailliertere Betrachtung findet sich beispielsweise bei Mitas/Mitasova 1998a).

Festzuhalten ist aber, dass die in kommerziellen GIS (MapInfo®, ArcView™, IDRISI32 etc.) implementierten Verfahren, von denen Inverse Distance Weighting (IDW), Kriging, Dreiecksvermaschung (Triangulated Irregular Network, TIN) und deren zahlreiche Varianten (z.B. das bei Arc/Info™ implementierte TopoGrid) die bekanntesten sein dürften, in der Regel keine für Erosionsmodellierung ausreichende Qualität liefern. Probleme bereiten v.a. Over- und Undershoots an Stellen mit extremer Reliefentwicklung und unzureichend dichten Daten, die sich im Endresultat als künstliche „Hügel“ und „Dellen“ bemerkbar machen. An solchen Stellen käme es unweigerlich zu einer unkorrekten Vorhersage von Erosions- und Akkumulationszonen (Abb. 10.2).

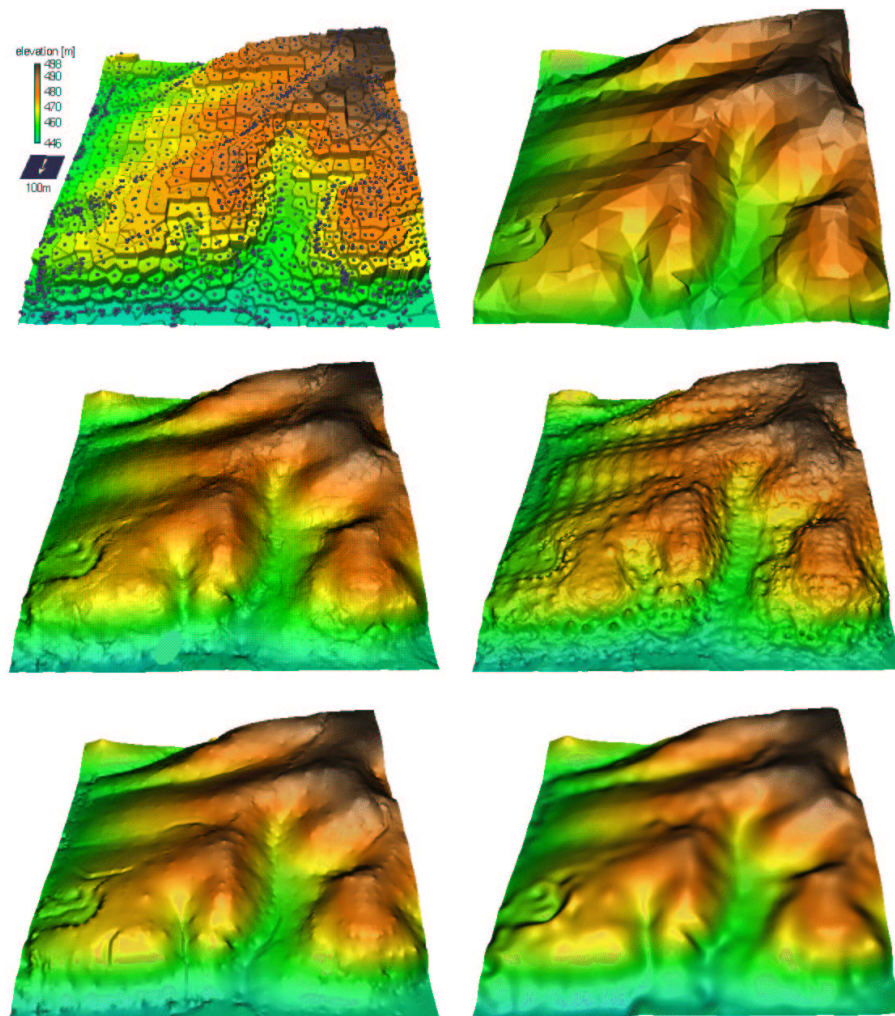


Abb. 10.2 Interpolationsverfahren im Vergleich. Von oben links nach unten rechts: Voronoi-Vermaschung, Dreiecksvermaschung, Inverse Distance Weighting, Kriging, TopoGrid, Regularized Splines with Tension (Quelle: Mitasova/Mitas 1998b).

Das hier verwendete Modell der Regularized Splines with Tension (RST), eine Entwicklung von Helena Mitasova, Lubos Mitas und weiteren Mitarbeitern am Geographic Modeling Systems Lab der Universität von Illinois (s. GMSL 2002, Mitášová/Hofierka 1993, Mitášová/Mitáš 1993), zeichnet sich demgegenüber durch natürliche, glatt wirkende Resultate (s. Abbildung 10.2) und feine Mechanismen zur gezielten Beeinflussung des Charakters der interpolierten Oberfläche aus. Dabei kommen ein Spannungs- (Tension) und Glättungsparameter (Smoothing) zum Einsatz. Eine höhere Spannung reduziert den Einfluss, den jeder einzelne gegebene Datenpunkt auf das Resultat der Interpolation hat und umgekehrt. So kann man sich eine Oberfläche mit extrem hohem Spannungswert wie eine dünne Membran aus Gummi vorstellen, die sich leicht über jede beliebig geformte Oberfläche passen lässt, jedoch von lokalen Ausreißern stark beeinträchtigt wird, während eine Oberfläche mit extrem niedrigem Spannungs-Parameter eher wie eine steife Blechplatte wirkt, die nur den größten Trend

im Oberflächenverlauf nachempfindet.

Eine Implementation von RST als Computerprogramm (s. `surf.rst`, Beschreibung s. Mitas et al. 2002) steht als Teil des GRASS GIS zur Verfügung.

11 Quantifizierung der Modellfaktoren

Richtung und Stärke der Bodenerosion sind von zahlreichen Faktoren abhängig. So nennen beispielsweise Bork (1988) und Scheffer/Schachtschabel (1989) als relevante Parameter:

1. Energie des Regens
2. Bodeneigenschaften
3. Hangneigung
4. Hanglänge
5. Bodenbedeckung
6. Bodenbearbeitung
7. Rauigkeit der Oberfläche (Mikrorelief)

Im Detail betrachtet, zeigt sich die Komplexität dieser Parameter. Bork (1988) konkretisiert etwa den zweiten Punkt, die Bodeneigenschaften. Folgende Faktoren beeinflussen demnach Stabilität und somit Erodierbarkeit des Bodens sowie den Anteil des Niederschlags, der oberflächlich abfließt, maßgeblich:

1. Korngrößenzusammensetzung
2. Kationenaustauschkapazität
3. Gehalt an organischer Substanz
4. mikrobielle Aktivität
5. Größe der Bodenaggregate
6. Grobporenvolumen der Aggregate
7. Kontinuität der Aggregatporen

8. Wasserspannung in den Aggregaten

Aus der Zahl und Komplexität dieser Parameter wird deutlich, dass eine annähernd perfekte Modellierung der Bodenerosion im Sinne einer vollständigen und präzisen Erfassung unter Einbeziehung aller beteiligten Parameter für große Räume nur über eine sehr zeit-, arbeits- und kostenintensive Datenerhebung durchzuführen ist. Die Übertragbarkeit der Laboranalysen auf repräsentative Bodeneinheiten ist ein weiteres Problem. Für praktische Anwendungszwecke ist es daher notwendig, sich vom Mikromaßstab eines bodenkundlich geprägten Vorgehens zu lösen. Stattdessen sollen die benötigten Faktoren im folgenden aus großmaßstäbig vorhandenen Informationen so genau wie möglich geschätzt werden.

11.1 LS-Faktor – Topographie

Betrachtet man Bodenerosion als einen Massefluss in der Landschaft, so gewinnt bei großräumiger Betrachtung (Zepp 2002, 129) die Geländegeometrie (Hangform) stark an Bedeutung. Bodenerosion fördernde Reliefeigenschaften (lt. „Regel zur reliefbeeinflussten Bodenerosion KB3“ bei Bork et al. 1998, 24) sind ausgedehnte Einzugsgebiete auf Hängen (auf denen große Wassermengen sich sammeln und abfließen können), konvergierende Hangformen (Konzentration des oberflächlich abfließenden Wassers), lange Hänge (hangabwärts sammeln sich große Mengen oberflächlich abfließenden Wassers), starke Hangneigung oder geringe Oberflächenrauigkeit (Beide Faktoren erhöhen die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses). Diese Zusammenhänge finden sich bei den empirischen Modellen (R)USLE und USPED als LS-Faktor (etwa „Hanglängen- und Steilheitsfaktor“) wieder. Obwohl der LS-Faktor von komplexen topographischen Eigenschaften abhängig ist, ist seine adäquate Berechnung, sobald ein Höhenmodell von ausreichender Qualität vorliegt, vergleichsweise unproblematisch.

11.1.1 Höhe

Die Grundlage für die Einbeziehung der geometrisch-topographischen Landschaftseigenschaften in das Erosionsmodell bildet ein vollständiges, zentimetergenaues digitales Geländemodell (DGM; Bartelme 1995, 126). Dieses weist jeder Zelle des Datenmodells einen eindeutigen und absoluten Höhenwert zu (eine Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften von DGMs unter archäologischen Gesichtspunkten findet sich bei Forte 2000). Die Berechnung des DGM auf Grundlage der Konturlinien der topographischen Karte im Maßstab 1:50.000 geschieht mittels Höhenwert-Interpolation nach der RST-Methode (s. Abschnitt 10.2 auf Seite 49).

Die Berechnung eines präzisen, natürlich wirkenden DGMs ist bei flachem, wenig reliefiertem Gelände nicht trivial. Probleme ergeben sich vor allem aus den in weiten Bereichen sehr großen Abständen

der Konturlinien. Für das Testgebiet 2 (Havelland) konnte eine sehr natürlich wirkende Modellierung durch schrittweise Verbesserung der Spannungs- und Glättungs-Parameter des RST-Algorithmus erreicht werden (Abb. 11.1; zur Erklärung s. Abschnitt 10.2 auf Seite 49). Um die Korrektheit des Resultats zu prüfen, wurde das interpolierte Modell an den gegebenen Punkten mit den Höhenlinien der topographischen Karte verglichen und die Abweichung berechnet. Die beste Übereinstimmung ergab sich bei einem herabgesetzten Spannungswert von $S = 20$ (Standardwert $S = 40$) und einem erhöhten Glättungswert von $G = 0.8$ (Standardwert $G = 0.1$). Die Abweichung von den Höhenlinien der topographischen Karte betrug dann maximal 10-20 cm. Aus dem DGM lassen sich die wichtigsten topographischen Faktoren, welche den Massefluss – den Transport der abgelösten Bodenpartike im oberflächlich abfließenden Wasser – in Richtung und Stärke bestimmen, herleiten. Diese sind (nach Mitášová/Mitáš 1998, in Klammern die originalen Bezeichnungen im Programm): Hangneigung (Slope), Hangrichtung (Aspect), Profilkrümmung (Profile curvature) und Tangentialkrümmung (Tangential curvature).

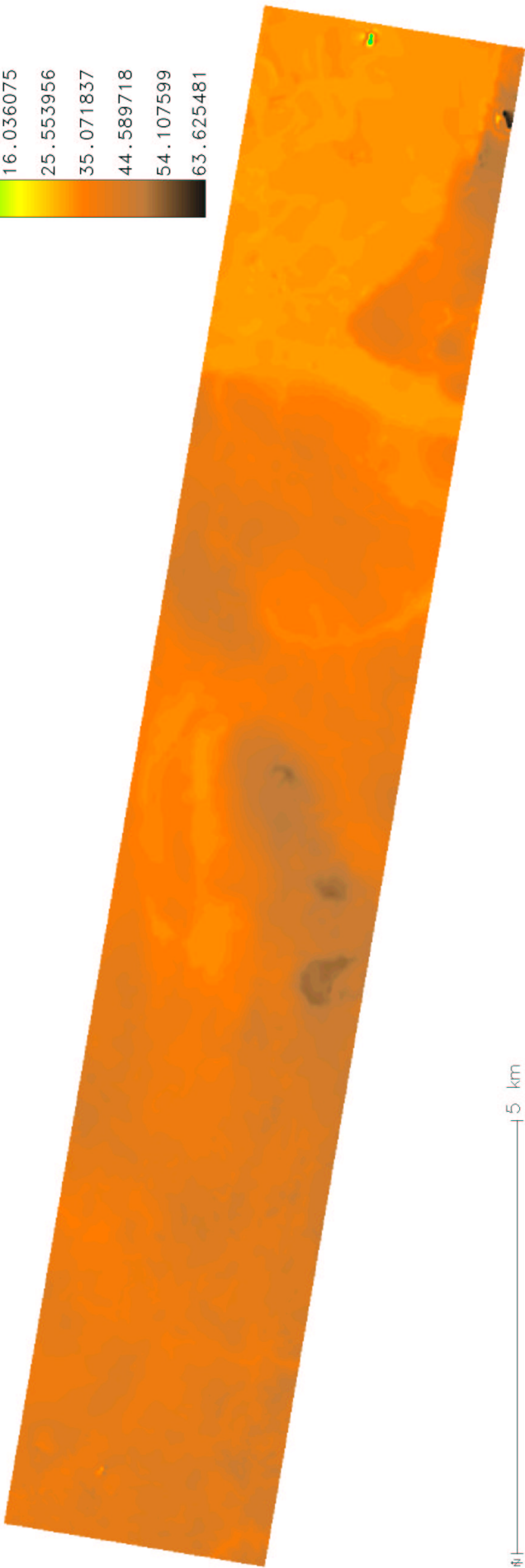
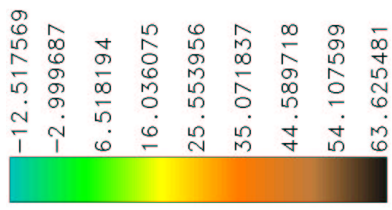
Abb. 11.1 (nächste Seite) Testgebiet 2 (Havelland): Digitales Höhenmodell. Aus den Höhenlinien der Topographischen Karte (1:50.000) abgeleitet und mit dem RST-Algorithmus nach Mitášová/Mitáš (1998) interpoliert.

Testgebiet 2 (Havel land) – absolute Hoehe in Metern

N = 5830500.00 S = 5822500.00

W = 4550500.00 O = 4570500.00

Aufloesung N-S = 10 m, W-O = 10 m



5 km

11.1.2 Hangneigung

Die Hangneigung ist ein Maß für die „Steilheit“ des Geländeverlaufs an einer bestimmten Stelle (gemessen in Grad mit einem Wertebereich von 0-90). Es leuchtet ein, dass die Hangneigung einen starken Einfluss auf Stärke und Richtung der Bodenerosion hat. Bereits Zing (1941) konnte zeigen, dass der Bodenabtrag exponentiell mit dem Gefälle steigt. Allerdings tritt starke Erosion, wie die Erfahrung zeigt, auch in flachem Gelände, auf wenig geneigten Hängen, auf (z.B. Sahel Zone, Europäische Ebenen, s. Fournier 1967). Da Hänge unregelmäßig geformt sind und mehr oder weniger stark von der idealen Form einer schiefen Ebene abweichen, erscheint der Oberflächenabfluss als ein Geflecht von mehr oder weniger parallel verlaufenden Rillen und Rinnen, die insgesamt eine Abtragung des Hanges bewirken (Zepp 2002, 129). Die Stärke der Hangneigung ist entscheidender als die Hanglänge, deren Einfluss auf Transportprozesse stark von den Eigenschaften des Bodens (Rauhigkeit des Mikroreliefs) abhängt. Oberflächenabfluss von kaum geneigten, breiten Hängen kann, wenn der Boden agrartechnisch bearbeitet ist, stärker sein als an steilen Hängen, die durch dichten Pflanzenbewuchs gefestigt sind (Roose 1996, 13).

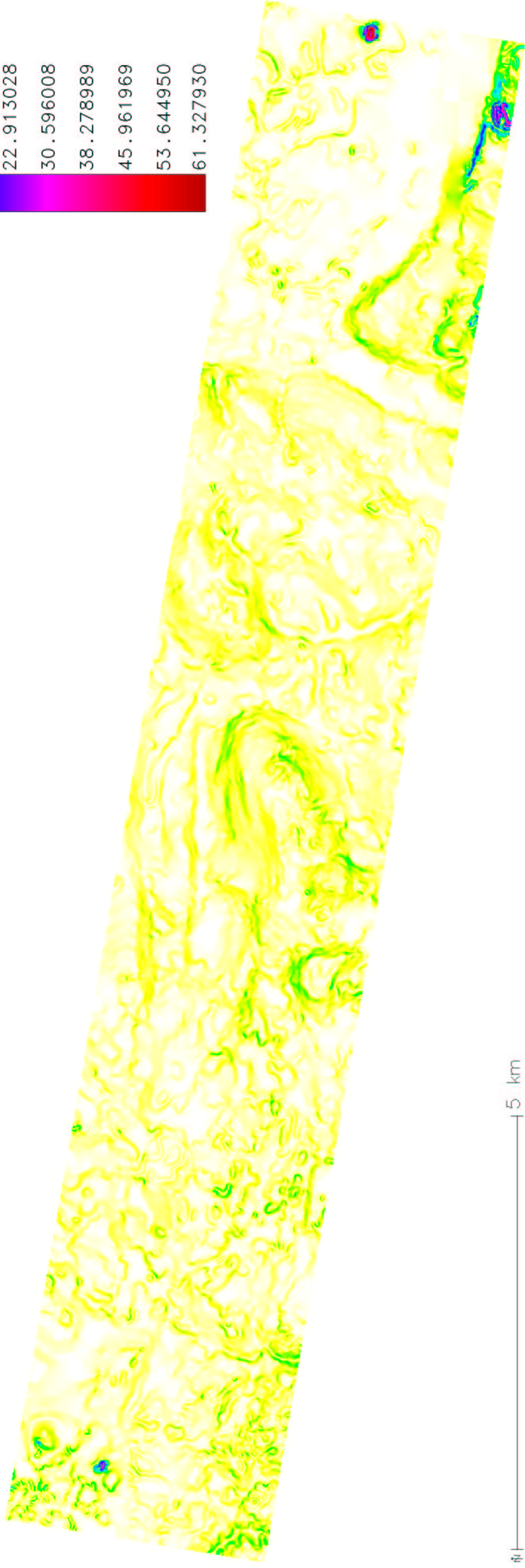
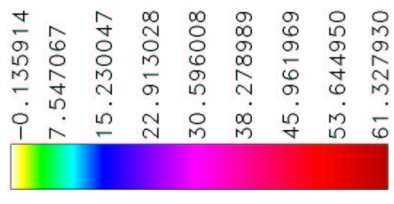
Abb. 11.2 (nächste Seite) Testgebiet 2 (Havelland): Digitales Modell der Hangneigung. Berechnet mit dem RST-Algorithmus nach Mitášová/Mitáš (1998).

Testgebiet 2 (Havel land) – Hangneigung in Grad (0–90)

N = 5830500.00 S = 5822500.00

W = 4550500.00 O = 4570500.00

Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



5 km

11.1.3 Hangrichtung

Die Hangrichtung, gemessen in Grad (0-360), gibt an, in welche Richtung das Gelände an einem Punkt steigt oder abfällt. Dieser Parameter dient zur Berechnung der Richtung von Transportprozessen und der Flussdivergenzen (s. Erläuterungen zum USPED-Modell in Abschnitt 8.1.2 auf Seite 41). Er ermöglicht es, die räumliche Verteilung von Erosions- und Akkumulationszonen präzise zu bestimmen.

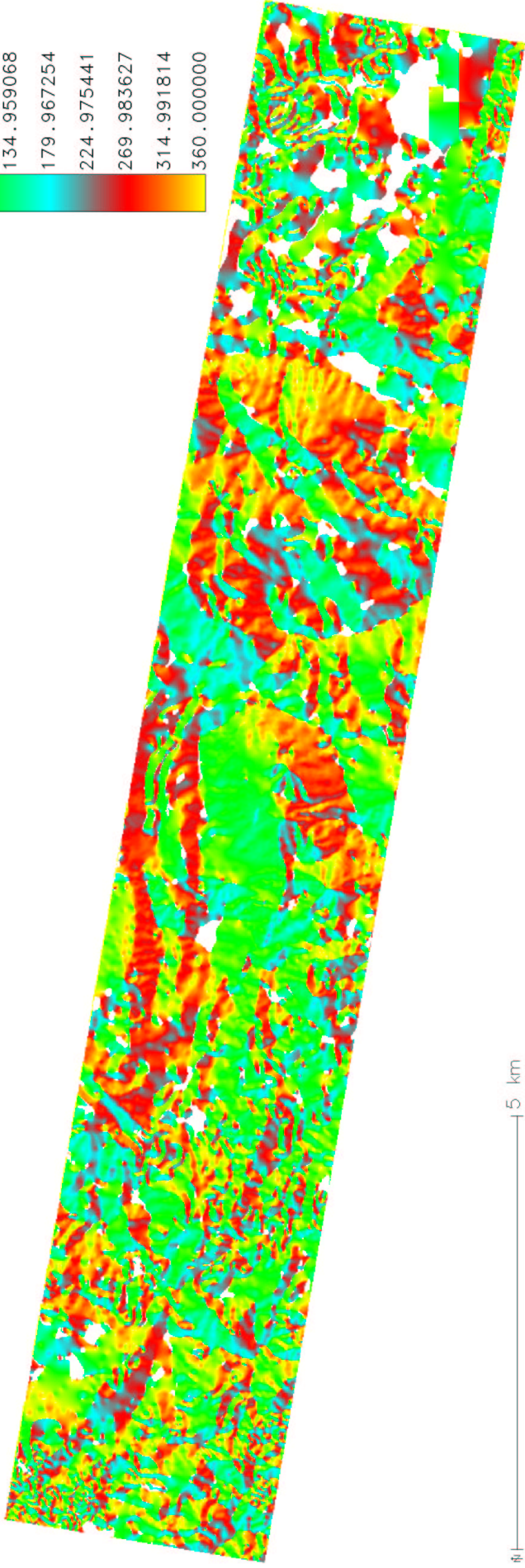
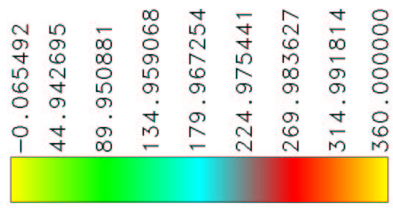
Abb. 11.3 (nächste Seite) Testgebiet 2 (Havelland): Digitales Modell der Hangrichtung. Berechnet mit dem RST-Algorithmus nach Mitášová/Mitáš (1998).

Testgebiet 2 (Havel land) – Hangrichtung in Grad (0–360)

N = 5830500.00 S = 5822500.00

W = 4550500.00 O = 4570500.00

Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



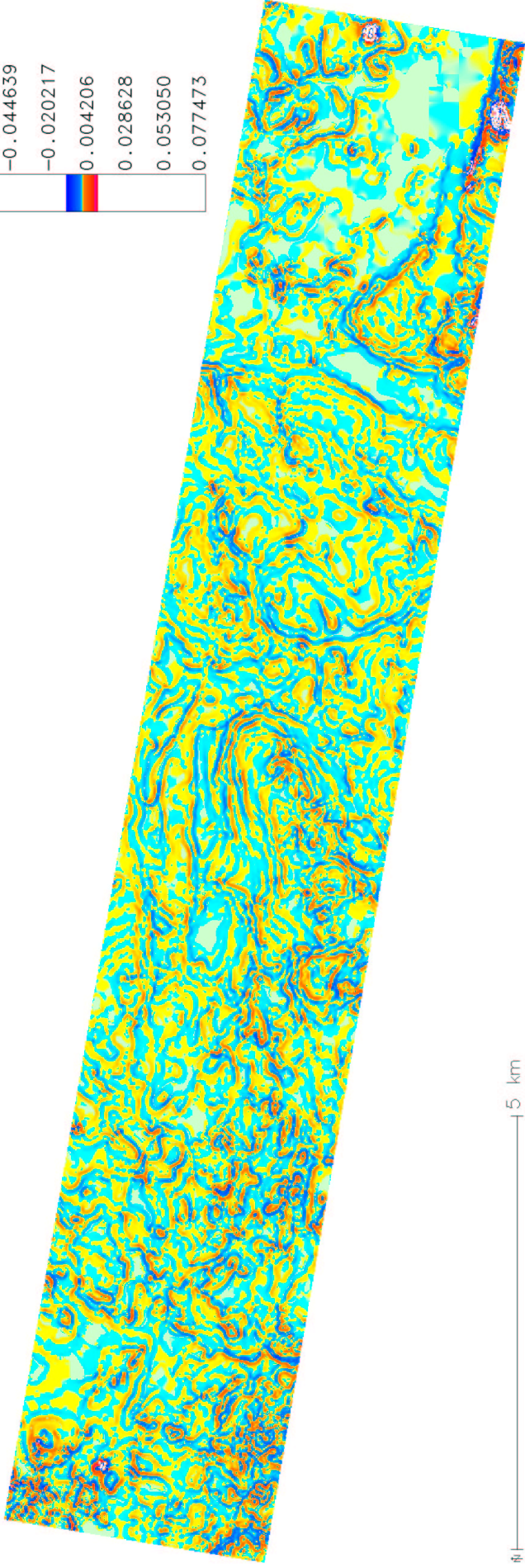
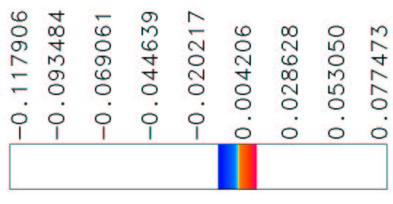
5 km

11.1.4 Profil- und Tangentialkrümmung

Laut Wischmeier (1974) wird der Sedimenttransport bei stetigem Gefälle auf konkaven oder gekrümmten Hängen reduziert (aufgrund lokaler Akkumulation), auf konvexen Hängen jedoch verstärkt (aufgrund des Gradienten im steilsten Abschnitt). Das Vorhandensein konkaver Hänge in einer Landschaft deutet demnach darauf hin, dass in den Tälern „gefangene“ Sedimente in Form kolluvialer Ablagerungen vorhanden sein müssen. Der Einfluss von konkaven und konvexen Abschnitten eines Hangprofils auf die am Hang ablaufenden Transportprozesse ist jedoch im Detail sehr diffizil (Roose 1996). Zur Überprüfung der richtigen Arbeitsweise eines Erosionsmodells ist es deshalb hilfreich, ein Maß zur Verfügung zu haben, mit dem sich Bereiche beschleunigter und verlangsamter Transportprozesse einfach identifizieren lassen. Hierzu dienen zwei Krümmungsmaße, deren Berechnung von Mitášová/Hofierka (1993) ausführlich erläutert wird. Die Profilkrümmung wird in Richtung der steilsten Hangneigung gemessen und dient dazu, Bereiche mit beschleunigten (konvexe Abschnitte) und verlangsamten (konkave Abschnitte) Transportprozessen zu identifizieren. Die Tangentialkrümmung wird orthogonal zur Profilkrümmung gemessen. Sie repräsentiert Bereiche mit konvergierenden (konkave Abschnitte) und divergierenden (konvexe Abschnitte) Transportprozessen.

Abb. 11.4 (nächste Seiten) Testgebiet 2 (Havelland): Digitale Modelle der Gelände­krümmung. Profil- (nächste Seite) und Tangentialkrümmung (übernächste Seite), berechnet mit dem RST-Algorithmus nach Mitášová/Mitáš (1998).

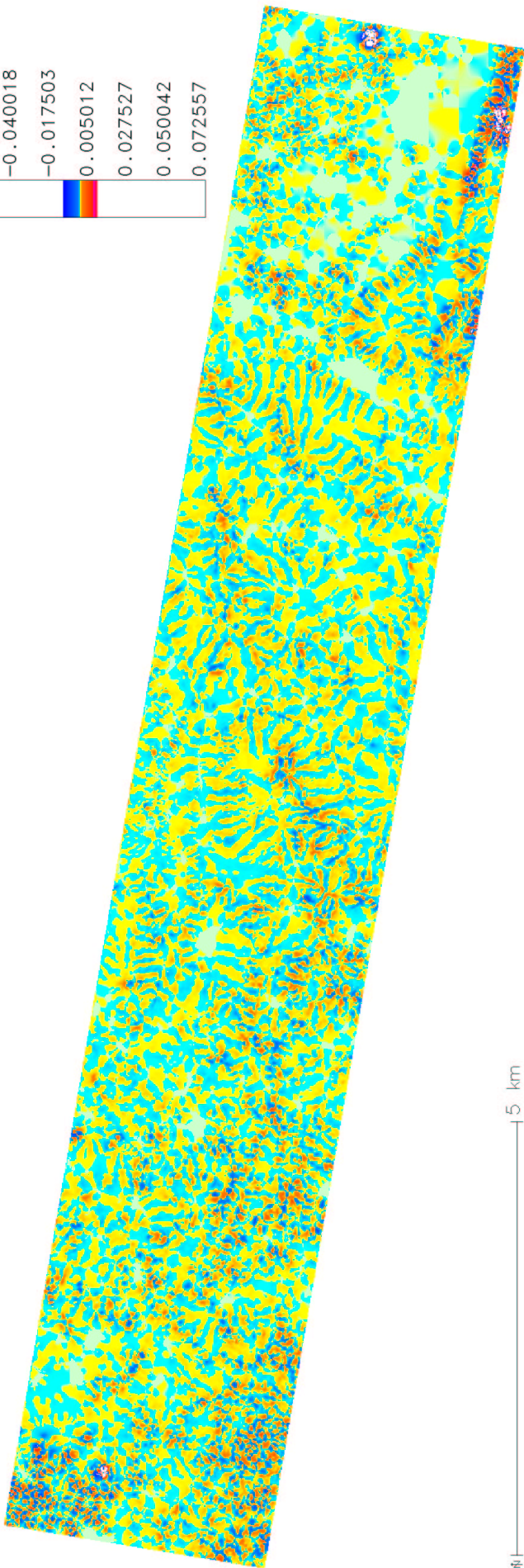
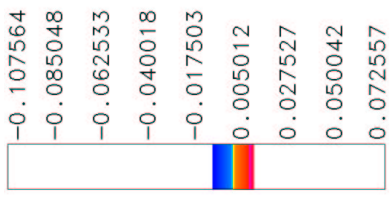
Testgebiet 2 (Havel land) – Profilkruemmung
N = 5830500.00 S = 5822500.00
W = 4550500.00 O = 4570500.00
Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



5 km

Testgebiet 2 (Havel land) – Tangentialkruemmung

N = 5830500.00 S = 5822500.00
W = 4550500.00 O = 4570500.00
Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



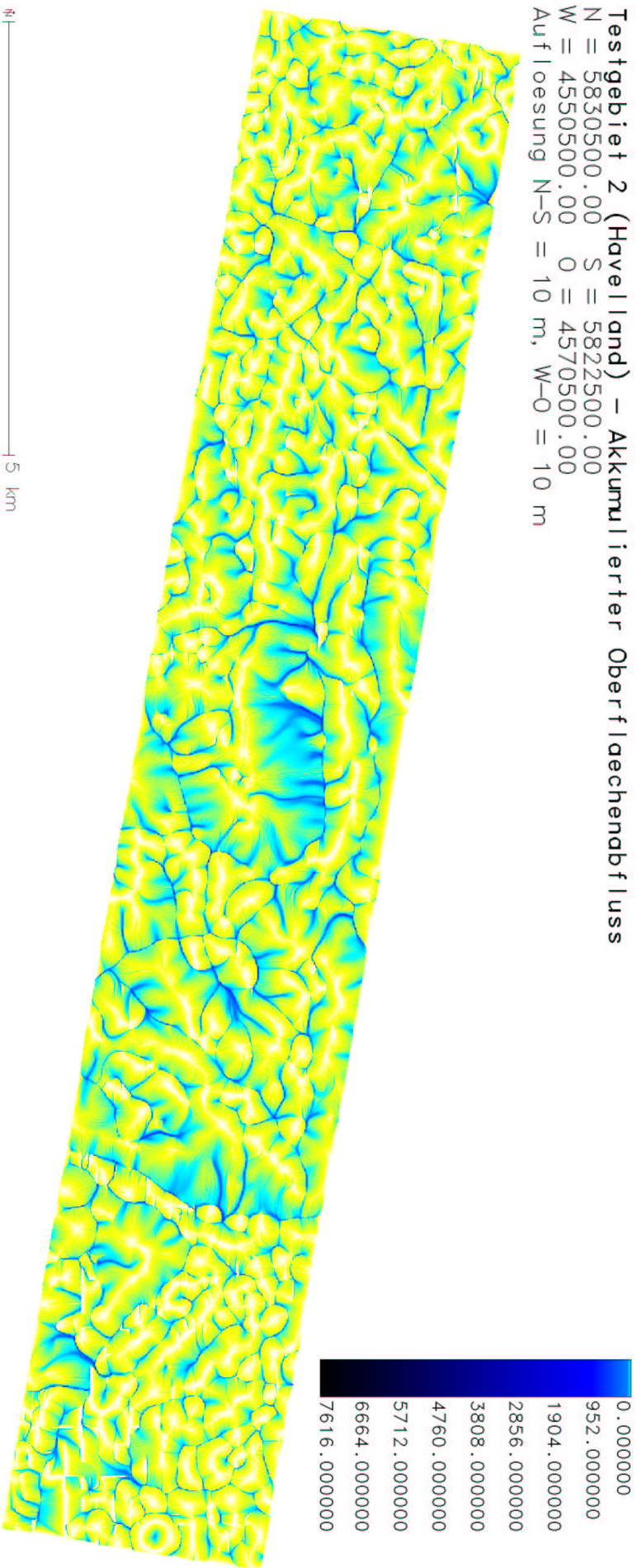
0 |-----| 5 km

11.1.5 Fließlinien

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Parameter kann nun für jede einzelne Zelle berechnet werden, wie groß der Oberflächenabfluß dort ist. Dazu werden Fließlinien von jeder einzelnen Zelle hangaufwärts zum Einzugsgebiet berechnet. In GRASS GIS dient hierzu das Modul `r.flow` (Mitášová/Hofierka 1993; www2.gis.uiuc.edu/modviz/viz/rflowman.html). Die Stärke des Oberflächenabflusses auf einer bestimmten Zelle entspricht dann dem akkumulierten Oberflächenabfluss aller Fließlinien, die diese Zelle durchqueren (Abb. 11.5).

Abb. 11.5 (nächste Seite) Testgebiet 2 (Havelland): Modell des Oberflächenabflusses. Akkumulierter Oberflächenabfluss, berechnet mit `r.flow` nach Mitášová et al. (1995).

Testgebiet 2 (Havelland) – Akkumulierter Oberflächenabfluss
N = 5830500.00 S = 5822500.00
W = 4550500.00 O = 4570500.00
Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



11.2 R-Faktor – Regenerosivität

Intensive Starkregenereignisse und schnell abtauende Schneedecken fördern den Oberflächenabfluß und somit die Boderosion („Regel zur Klima- und geogen beeinflussten Abflußbildung KA1“ bei Bork et al. 1998, 24). In (R)USLE- (bzw. ABAG-) und USPED-basierten Modellen wird die erodierende Wirkung des Niederschlags mit dem R-Faktor, dem Maß für die durchschnittliche Energie erosiver Niederschläge, quantifiziert. Dieser ist normalerweise keine räumlich verteilte Variable, sondern ein über das Untersuchungsgebiet konstanter Wert. Um eine grobe Quantifizierung des R-Faktors zu erhalten, ist zunächst eine Einschätzung der Menge der Niederschläge im Untersuchungsgebiet nötig. Systematische und kohärente Quellen zur Niederschlagsmessung liegen aus Mitteleuropa erst seit der Mitte des 19. Jh. vor (Bork et al. 1998, 47). Die dem Untersuchungsgebiet zugeordnete Wetterstation Potsdam führt standardisierte Messungen seit 1921 durch (Tab. 11.1).

| Monat | Jan | Feb | Mär | Apr | Mai | Jun | Jul | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez | Jahr |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| mm | 44.6 | 36.6 | 34.1 | 43.7 | 51.2 | 67.2 | 65.9 | 64.9 | 44.9 | 43.2 | 46.3 | 46.7 | 590.2 |

Tab. 11.1 Testgebiet 2 (Havelland): Mittlere Niederschlagsmengen. Gemittelte Niederschlagsmengen aus 69 Jahren lt. Messungen der Wetterstation Potsdam seit 1921 (Quelle: GHCN1 1990).

Brandenburg ist neben Sachsen-Anhalt die Region mit den geringsten Niederschlagsmengen in Deutschland. Die mittlere Niederschlagsmenge in Brandenburg lag zwischen 1961 und 1990 mit 615 mm/a Jahr unterhalb des Durchschnittswertes für Deutschland (790 mm/a). Davon kommen im Mittel 105 mm/a zum Abfluss und 510 mm/a verdunsten, während im bundesdeutschen Durchschnitt nur 299 mm/a verdunsten. (Quelle der Daten: Informationsangebot des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung Brandenburg. Stand 27.11.01. <http://www.brandenburg.de/land/mlur/index.htm>).

Niederschläge gelten erst dann als erosiv (Starkregenereignis), wenn sie eine bestimmte Menge bzw. Intensität überschreiten. Für Deutschland gelten als Grenzwerte 10 mm Niederschlagsmenge bzw. 10 mm/h als Intensität (diese Informationen, ebenso wie die Anleitung zur Berechnung des R-Wertes sind Meyer (2001, Kap. 9) und Haider (1995, 39 f.) entnommen). Der R-Faktor ist die Summe der maximalen 30-Minuten-Intensitäten ($I_{30,mm/h}$) einzelner Starkregenereignisse (R_e), und wird mittels Formel 11.1 berechnet.

* 11.1 Berechnung des R-Faktors:

$$R_e = E_e \cdot I_{30}, \text{ mit } E_e = \text{kinetische Energie (kJ/m}^2\text{)}.$$

$$E_e = (11,89 + 8,73 \cdot \log I_i) \cdot (N_i), \text{ mit } I_i = \text{Intensität und } N_i = \text{Niederschlagsmenge des Niederschlagsabschnitts } i.$$

$$R = E_e \cdot I_{30} = N/h.$$

Der R-Faktor ist also nicht direkt von der absoluten Niederschlagsmenge, sondern von der Intensität der einzelnen Niederschlagsereignisse abhängig. Die Erosivität des Winterniederschlags und der Schneeschmelze wird derzeit deutschlandweit durch einen pauschalen Zuschlag von 10 % berücksichtigt (Frielinghaus 2000, 34). In Brandenburg werden alle Niederschläge über 7,5 mm/H als erosive Ereignisse gewertet. Auf dieser Grundlage ergeben sich für einen Zeitraum von 15 Jahren 16 bis 26 erosive Niederschläge pro Jahr. Die Sommerniederschläge sind in der Regel weniger intensiv als in den südlichen Bundesländern, die Winterniederschläge aber in vielen Jahren sehr ergiebig. „Da sie zum Ende des Winters vielfach auf wassergesättigte und ungenügend bedeckte Böden auftreffen, wirken sie in vielen Jahren sehr erosiv. Dadurch rechtfertigt sich ein Zuschlag von 20 %“ (Frielinghaus 2000, 35). Aus diesen Ausführungen deutet sich an, dass eine präzise Einschätzung der zeitlichen Dynamik des R-Faktors für einen größeren zeitlichen Maßstab kaum zu leisten ist (Verhagen 1996, 320). Es muss daher mit aktuell zur Verfügung stehenden Werten gerechnet und evtl. Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden. Der R-Faktor kann empirisch ermittelt werden, indem man eine Testfläche künstlichem Starkregen aussetzt. Ein einfacher korrelativer Zusammenhang zwischen einzelnen Jahres-R-Werten und den dazugehörigen Jahresniederschlägen ist leider nicht nachweisbar (Rogler 1981). Für die Schätzung großer Flächen kann er aber mit ausreichender Genauigkeit aus den mittleren Sommerniederschlägen (N_s =Niederschlag zwischen dem 1.5. und dem 31.10.) über eine Regressionsgleichung berechnet werden (Formel 11.2 nach Haider 1995, 39).

* 11.2 Schätzung des R-Faktors aus N_s :

$$R = -5 + 0.15 \cdot N_s \text{ mit } r^2 = 0.69, n = 116.$$

Diese Gleichung wurde aus den Daten von Wetterstationen aus verschiedenen Teilen Deutschlands, der Schweiz und Österreichs abgeleitet und erlaubt mindestens für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland eine „ausreichend gute“ Schätzung des R-Faktors (Haider 1995, 39).

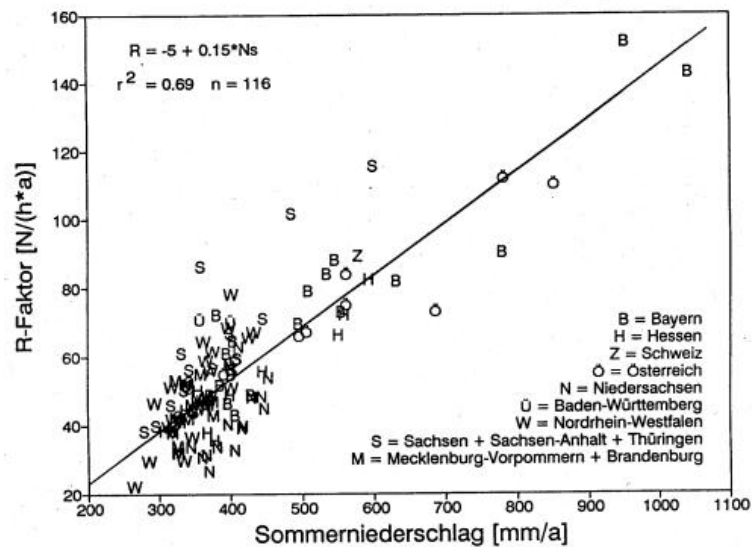


Abb. 11.6 Regression zur Berechnung von R. Herleitung aus dem mittleren Sommer-niederschlag für die einzelnen Bundesländer (Quelle: Umweltamt Baden-Württemberg; Auerswald, unveröffentlicht).

Demnach ergibt sich für Brandenburg ein Wert von $R = 40$ bis $R = 50$ (Abb. 11.6). Zum Vergleich: Werte für Schleswig-Holstein aus den letzten 30 Jahren liegen etwa zwischen $R = 50$ bis $R = 60$ (Sauerborn 1994). Auf dem hier benutzten Maßstab ist es noch ausreichend, den R-Faktor als eine konstante Variable zu betrachten. Bei Anwendungen auf größerem Maßstab müsste die räumliche Variabilität der Niederschlagserosivität berücksichtigt werden.

11.3 C-Faktor – Bedeckung

Auch die Landnutzung hat einen Einfluss auf die Stärke der Bodenerosion („Regel zur landnutzungs-beinfluften Abflußbildung VA1“ bei Bork et al. 1998, 23: „Das Auftreten von Abfluß auf der Bo-denoberfläche wird vom Grad der Vegetationsbedeckung, dem Vegetationstyp und [...] der Intensität anthropogener Eingriffe entscheidend beeinflusst.“). Der Berechnung des C-Faktors liegt eine einfache Formel (11.3) zugrunde, die allerdings nur schwer zu parametrisieren ist.

* **11.3** Berechnung des C-Faktors:

$$C = \sum_{i=1}^{n-6} \frac{(RBA_i \cdot RRA_i)}{n}, \text{ mit}$$

RBA_i =relativer Bodenabtrag für Kulturperiode i ,

RRA_i =relativer Anteil der Periode i am Jahres-R-Faktor,

n =Zahl der Jahre, die eine Rotation umfasst.

Zur präzisen Ermittlung des C-Faktors einer einzelnen Fläche bedarf es einer Reihe empirisch zu ermittelnder Parameter, die starken räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen sind. Eine präzise Einschätzung des C-Faktors auf einem sehr großen zeitlichen Maßstab ist daher nicht zu leisten (Verhagen 1996, 20). Die in Tabelle 11.3 angegebenen Schätzwerte für den C-Faktor sind Mitasova et al. 2001a entnommen.

11.4 K-Faktor – Bodenerodierbarkeit

Das Bodensubstrat kann, da es die Wasseraufnahmekapazität bestimmt, je nach spezifischen Eigenschaften (besonders Wasserleitfähigkeit), ebenso wie das Relief hemmend oder fördernd auf die Bodenerosion wirken. Fördernd wirken geringe Porenvolumina, geringe hydraulische Leitfähigkeit und hohe Aggregationsfähigkeit, die eine geringe Infiltrationskapazität bewirken (Regel zur Substrat- und bodenbeeinflussten Bodenerosion KB2 bei Bork et al. 1998, 24). Der sogenannte K-Faktor (s. Beschreibung der (R)USLE und USPED Gleichungen in Abschnitt) gibt die physikalisch-chemischen Eigenschaften, welche die spezifische Erosionsgefährdung des Bodens beschreiben, wieder. Er entspricht dem Bodenabtrag pro R-Faktor-Einheit für eine standardisierte Parzelle (22,1 m Länge, 9 % Gefälle, langjähriges Saatbeet, s. Haider 1995, 40). Die Erosionsgefährdung von Böden läßt sich mit fünf Bodeneigenschaften hinreichend gut quantifizieren (Wischmeier/Smith 1978, Schwertmann et al. 1987):

1. prozentualer Gehalt an Schluff + Feinstsand (Korngröße 0,002-0,1 mm),
2. prozentualer Gehalt an Sand - Feinstsand (Korngröße 0,1-2 mm),
3. prozentualer Humusgehalt,
4. Aggregatklasse
5. Durchlässigkeitsklasse

Der Boden ist nach der USLE erosionsanfälliger bei:

1. zunehmendem Schluff- und Feinstsandgehalt,
2. abnehmendem Tongehalt,
3. abnehmendem Anteil organischer Substanz,
4. größeren Aggregaten und
5. abnehmender Permeabilität.

Die fünf genannten Bodeneigenschaften werden mit Hilfe von Formel 11.4 zum K-Faktor verrechnet (Schwertmann et al. 1987). Die demnach zu ermittelnden Größen sind $M = (\% \text{ Schluff} + \% \text{ Feinstsand}) \cdot (\% \text{ Schluff} + \% \text{ Sand} - \% \text{ Feinstsand})$, $OS = \% \text{ organische Substanz}$; $A = \text{Aggregatklasse}$ und $K3D = \text{Durchlässigkeitsklasse}$.

*** 11.4 Berechnung des K-Faktors:**

$$K = 2.77 \cdot 10^{-6} \cdot M \cdot 1.14 \cdot (12 - OS) + 0.043 \cdot (A - 2) + 0.033 \cdot (4 - D)(7 - 6)$$

Für eine Quantifizierung auf Landschaftsmaßstab muss natürlich eine vereinfachte Ermittlung erfolgen. Dies ist durch Herleitung aus dem Klassenbeschrieb der Bodenschätzungskarten möglich (Haider 1995, 41, Meyer 2001, Kap. 9; zum allgemeinen Vorgehen s. auch Fleck (1995)). Diese vereinfachte Ermittlung ist nur für Acker- und Grünlandstandorte zulässig. Den Waldstandorten können direkt keine K-Faktoren zugeordnet werden, da die Bodenschätzungskarten hier keine Informationen aufweisen (Schwertmann et al. 1987).

| Bodenart | K-Faktor | bis |
|--------------------------|----------|-------|
| Sand (S) | 0,100 | |
| Anlehmiger Sand (Sl) | 0,150 | |
| lehmiger Sand (IS) | 0,200 | |
| stark lehmiger Sand (SL) | 0,300 | 0,250 |
| sandiger Lehm (sL) | 0,400 | |
| Lehm (L) | 0,500 | |
| Lehmiger Ton (LT) | 0,400 | 0,350 |
| Ton (T) | 0,300 | |
| Moor (Mo) | 0,020 | |

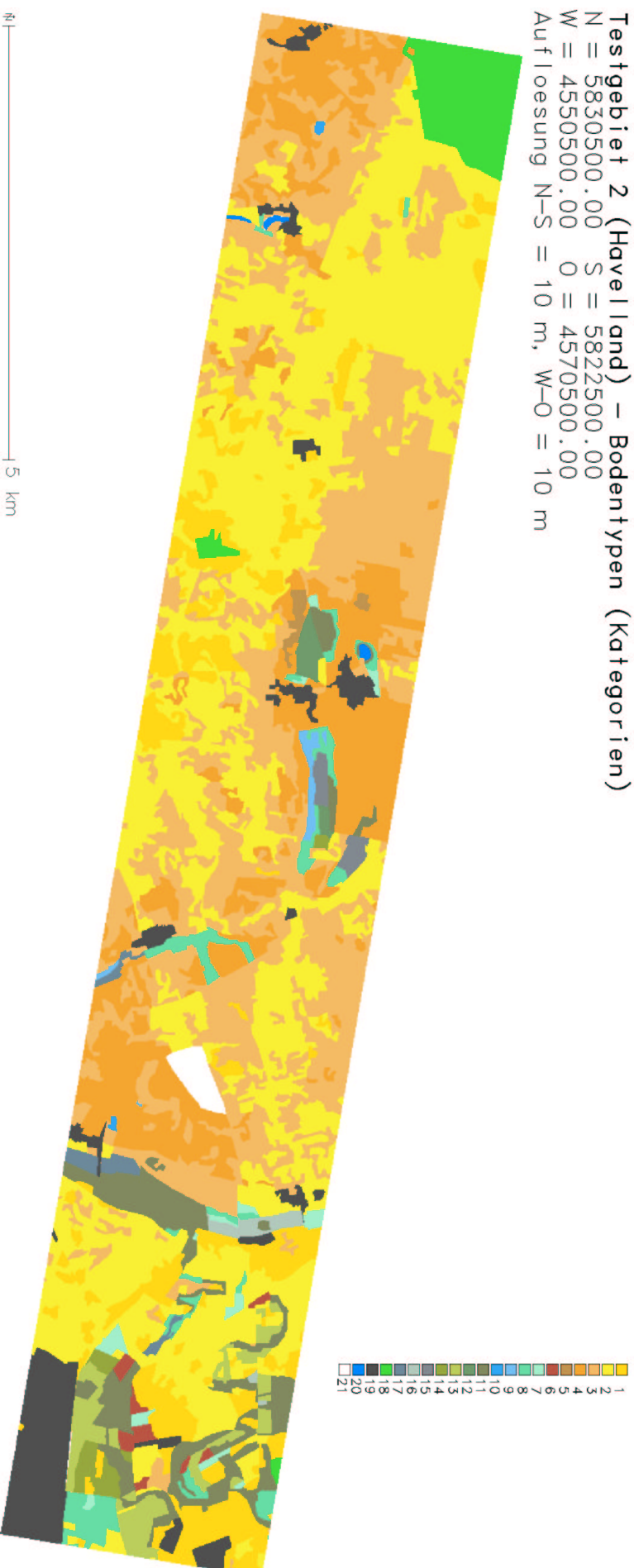
Tab. 11.2 Mittlere K-Faktoren der Ackerbeschriebe der Bodenschätzung.Quelle: Schwertmann et al. 1987.

Die Daten der Bodenschätzung bilden die einzige Bodeninformationsebene, die für alle landwirtschaftlichen Nutzflächen im Untersuchungsgebiet vorhanden ist. Unbefriedigend ist, dass Waldstandorte nur durch Rückgriff auf die Beschriebe angrenzender Ackerflächen eine Wertzuweisung erhalten können. Der auf diese Weise geschätzte K-Faktor ist für Einzelflächen u.U. mit einem Fehler von >01 % behaftet. Bei der Schätzung großer Flächen gleichen sich die Einzelfehler aber weitgehend aus (Haider 1995, 41). Tabelle 11.3 und Abbildung 11.7 zeigen die Quantifizierung des K- und C-Faktors für alle im Testgebiet 2 (Havelland) vertretenen Bodentypen.

Abb. 11.7 (nächste Seite) Testgebiet 2 (Havelland): Bodentypen. Die Kategoriennummern in der Legende entsprechen Tab. 11.3.

Testgebiet 2 (Havelland) – Bodentypen (Kategorien)

N = 5830500.00 S = 5822500.00
W = 4550500.00 O = 4570500.00
Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



| Bodentyp | Nutzung | Substrat | Schichtwechsel | K | C |
|----------|----------|------------|----------------|-------|--------|
| 1 | Ackerbau | S | / | 0,100 | 0,400 |
| 2 | | Sl | / | 0,150 | 0,400 |
| 3 | | lS | / | 0,200 | 0,400 |
| 4 | | SL | / | 0,300 | 0,400 |
| 5 | | sL | / | 0,400 | 0,400 |
| 6 | | Mo | / | 0,020 | 0,400 |
| 7 | Grünland | S | / | 0,100 | 0,004 |
| 8 | | lS | / | 0,200 | 0,004 |
| 9 | | L | / | 0,500 | 0,004 |
| 10 | | T | / | 0,300 | 0,004 |
| 11 | | Mo | / | 0,020 | 0,004 |
| 12 | | lS | lS/Mo | 0,020 | 0,004 |
| 13 | | Mo | Mo/S | 0,100 | 0,004 |
| 14 | | Mo | Mo/lS | 0,200 | 0,004 |
| 15 | | Mo | Mo/T | 0,300 | 0,004 |
| 16 | | S, Mo | (Übergang) | 0,100 | 0,004 |
| 17 | L, Mo | (Übergang) | 0,500 | 0,004 | |
| 18 | Forst | ? | ? | 0 | 0,0005 |
| 19 | Bauland | ? | ? | 0 | 0 |
| 20 | Wasser | / | / | 0 | 0 |
| 21 | k.A. | ? | ? | 1 | 1 |

Tab. 11.3 Testgebiet 2 (Havelland): Schätzungen der K-, und C-Faktoren. Schlüssel: S=Sand, Sl=anlehmiger Sand, lS=lehmiger Sand, SL=stark lehmiger Sand, sL=sandiger Lehm, L=Lehm, T=Ton, Mo=Moor (Quelle: Schwertmann et al. 1987).

12 Anwendung des Erosionsmodells

Auf Grundlage der besprochenen Quantifizierungen kann nun ein USPED-basiertes Erosionsmodell für das Testgebiet 2 (Havelland) berechnet werden. Das Ergebnis, das nach Anleitung von Mitasova/Mitas (1999b) mit GRASS GIS berechnet wurde, findet sich in Abbildung 12.1. Die Akkumulationszonen (blau) befinden sich deutlich sichtbar an den Unterhängen, während die Oberhänge – erwartungsgemäß von Erosionszonen besetzt sind (rot). Weite Teile der Landschaft, darunter die Niederungen der alten und modernen Gewässer, sind so plan, dass sie nicht von Bodenerosion betroffen sind. Das Bild wird nur durch einige linienförmige Strukturen gestört, entlang derer sich Erosions- und Akkumulationszellen in zufällig scheinender Folge abwechseln. Hierbei handelt es sich vermutlich um Bereiche mit mangelhaften Daten, die bereits im interpolierten Geländemodell ihren Ursprung haben, dort aber nicht visuell markant in Erscheinung treten. Sie ließen sich durch Verwendung eines besseren Geländemodells, das nicht aus Höhenlinien, sondern dichten, gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilten Höhenwerten, interpoliert werden sollte, vermeiden.

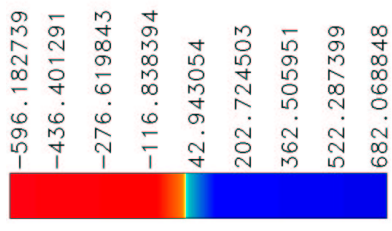
Abb. 12.1 (nächste Seite) Testgebiet 2 (Havelland): Ergebniswerte des USPED-basierten Erosionsmodells. Berechnet nach Mitasova/Mitas (1999b).

Testgebiet 2 (Havel land) – Erosion und Akkumulation

N = 5830500.00 S = 5822500.00

W = 4550500.00 O = 4570500.00

Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



Die räumliche Verteilung der Erosions- und Akkumulationszonen wird von der Topographie des Geländes bestimmt. Dies erklärt sich aus dem Aufbau des USPED-Modells, welches die (von der Topographie bestimmten) geometrischen Eigenschaften des Geländes heranzieht, um Zonen mit hoher (Akkumulation) und niedriger (Erosion) Abflussdivergenz zu identifizieren. Alle weiteren in das USPED-Modell eingehenden Parameter dienen der kleinräumigen Differenzierung der Stärke der jeweiligen Erosions- oder Akkumulationsvorgänge.

Es ist somit möglich, auch bei einem über das gesamte Untersuchungsgebiet konstant gehaltenem K- und C-Faktor zu einem aussagekräftigen Ergebnis zu kommen, insofern der Untersuchungsmaßstab es zulässt, lokale Variabilitäten in Substrat- und Bodennutzungsfaktoren zu vernachlässigen (Abb. ??). Bei der Modellierung großräumiger Zusammenhänge ist häufig auch gar nicht so sehr die präzise absolute Quantifizierung, sondern vielmehr der relative Vergleich unterschiedlicher Landschaften interessant. So ist im Rahmen des Projektes Archäoprognose Brandenburg eine Modellierung für die Gesamtfläche Brandenburgs in der abschließenden Projektphase vorgesehen.

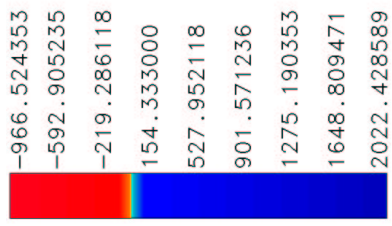
Abb. 12.2 (nächste Seiten) Testgebiet 2 (Havelland): Ergebniswerte des Erosionsmodells für konstante K- und C-Faktoren. Nächste Abbildung: K-Faktor konstant. Folgende Abbildung: C-Faktor konstant. Letzte Abbildung: K- und C-Faktoren konstant.

Testgebiet 2 (Havel land) – Erosion und Akkumulation (K=1)

N = 5830500.00 S = 5822500.00

W = 4550500.00 O = 4570500.00

Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



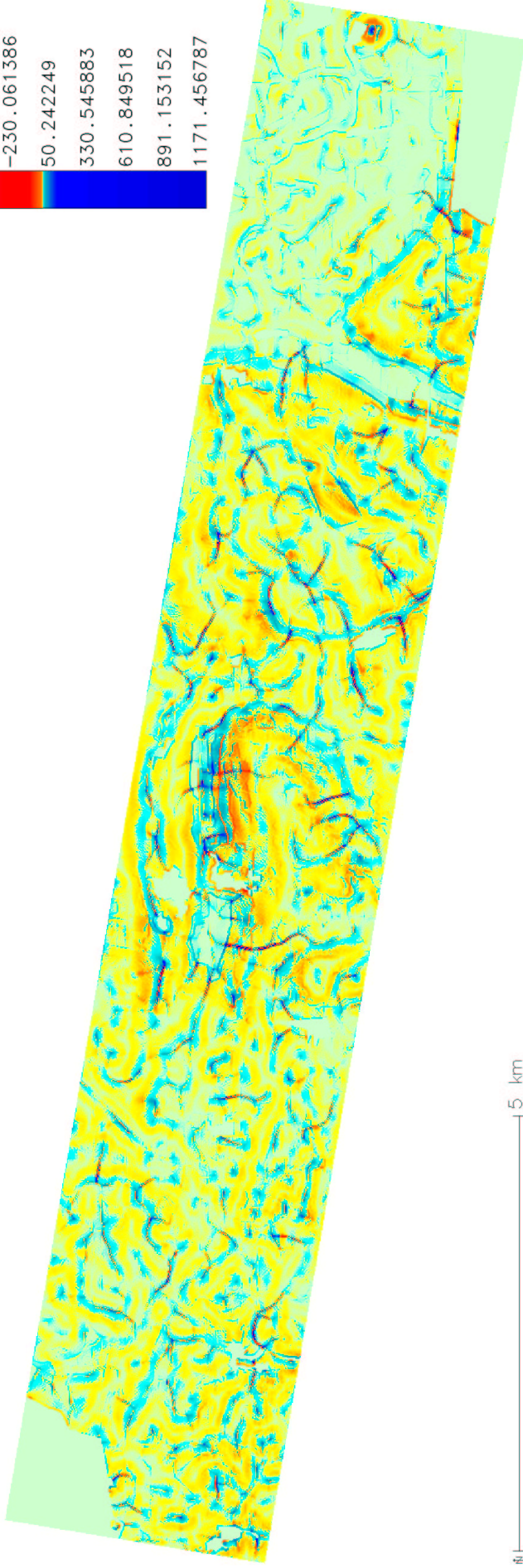
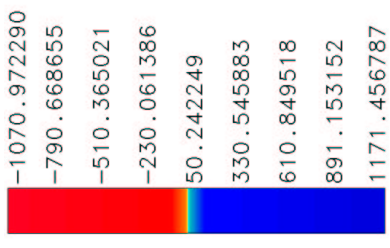
5 km

Testgebiet 2 (Havel land) – Erosion und Akkumulation (C=1)

N = 5830500.00 S = 5822500.00

W = 4550500.00 O = 4570500.00

Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



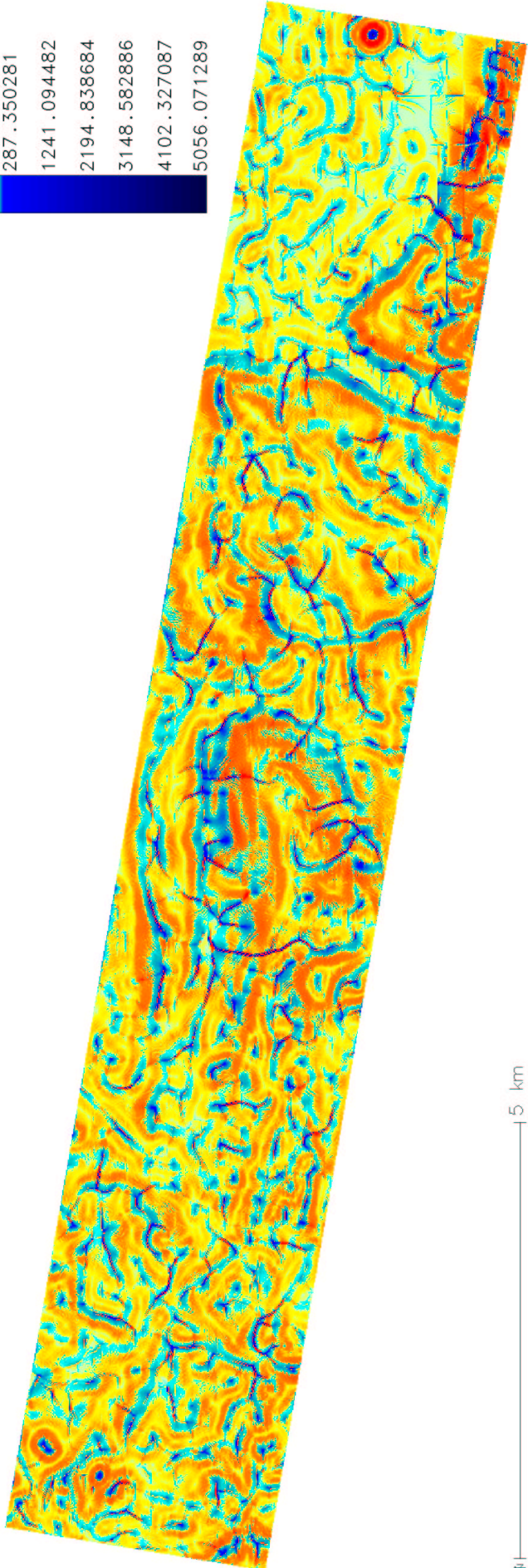
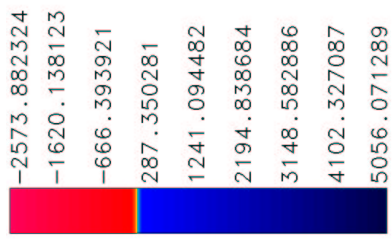
15 km

Testgebiet 2 (Havel land) – Erosion und Akkumulation (K=C=1)

N = 5830500.00 S = 5822500.00

W = 4550500.00 O = 4570500.00

Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



Als einziger der behandelten Parameter ist der R-Faktor (Niederschlagsintensität) ein über das gesamte Testgebiet konstanter Faktor. Eine räumliche Differenzierung würde hier nur bei einem sehr großmaßstäbigen Vergleich über mehrere Wetterzonen Sinn machen. Die Abbildung 12.3 zeigt das Ergebnis der Modellrechnung mit einem zehnfach gesteigerten R-Faktor von 400. Es ist erkennbar, dass sich die Erosionsraten – entsprechend der höheren Erosivität der Niederschläge – drastisch gesteigert haben, die räumliche Verteilung von Erosions- und Akkumulationsflächen davon jedoch unberührt bleibt.

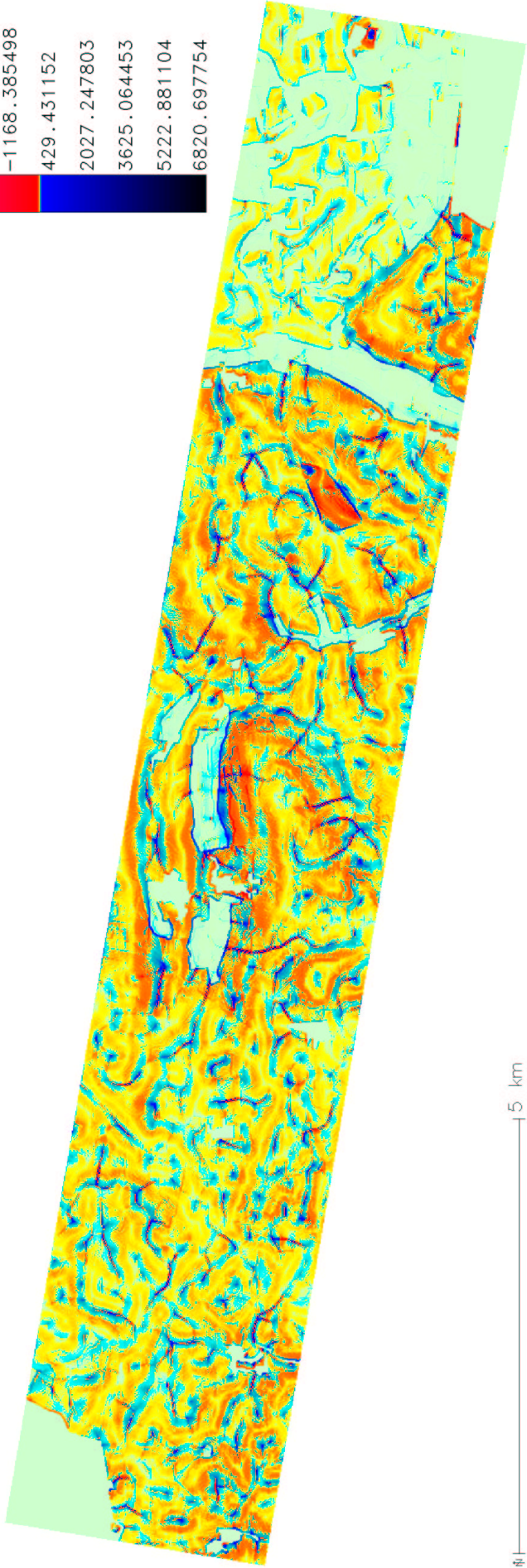
Abb. 12.3 (nächste Seite) Testgebiet 2 (Havelland): Ergebniswerte des Erosionsmodells für $R = 400$.

Testgebiet 2 (Havel land) – Erosion und Akkumulation (R=400)

N = 5830500.00 S = 5822500.00

W = 4550500.00 O = 4570500.00

Auflösung N-S = 10 m, W-O = 10 m



5 km

An dieser Stelle ist es wichtig, zu betonen, dass die wesentliche, im Rahmen dieser Arbeit angestrebte Aufgabe, von einem USPED-basierten Modell gelöst werden kann, auch wenn die Quantifizierung einzelner Faktoren nur sehr grob zu leisten ist. Dies wäre auch mit einem nur auf den topographischen Daten beruhenden Modell möglich (Abb. 12.2). Allerdings würden dann lokale Besonderheiten übergangen, welche im Rahmen einer konkreten Entscheidungshilfe potentiell von Bedeutung sind. Unter Einbeziehung der R-, K- und C-Faktoren kann eine räumlich differenziertere, präzisere Einschätzung v.a. des Erosionsrisikos gewonnen werden.

Mit der Frage, inwiefern die hier abgebildeten Ergebnisse, die ja aus modernen Daten gewonnen wurden, auf die antike Stratigraphie prähistorischer Fundstellen übertragbar sind, befasst sich der letzte Teil dieser Arbeit.

Teil III

Modell-Verifizierung am Fundplatz Dyrotz

37

Belege zur Erosion und Akkumulation an einem archäologischen Fundplatz

Die einfachste Möglichkeit, den Ergebnissen des im vorigen Teil der Arbeit entwickelten Erosionsmodells Plausibilität zu verleihen, besteht im Vergleich mit der Stratigraphie bereits dokumentierter Fundstellen. Hierzu wird die Vorhersage des Modells für eine Fläche herangezogen und mit der Stratigraphie einer bekannten Fundstelle verglichen. War das Modell an dieser Stelle ausreichend genau, so sollten sich großmaßstäbig erkannte Erosions- und Akkumulationszonen in der Stratigraphie in Form von erodierten bzw. akkumulierten Befunden und Bodenhorizonten wiederfinden. Innerhalb des Testgebietes 2 (Havelland) wurde die Fundstelle Dyrotz 37 ausgewählt, da sie über eine dokumentierte Schichtenfolge verfügt, die Zeitabschnitte vom Frühneolithikum bis zum hohen Mittelalter repräsentiert und zudem innerhalb eines geomorphologisch „interessanten“ Bereiches liegt, der von differenzierten Erosions- und Akkumulationsprozessen geprägt ist.

13 Die Fundstelle Dyrotz 37

Die Fundstelle Dyrotz 37 liegt innerhalb der sogenannten „Wublitzrinne“, welche sich etwa in N-S-Richtung zwischen den Dörfern Bredow und Alt Töplitz/Golm auf einer Länge von 20 km erstreckt (May 2001b, 543). Die Wublitzrinne ist ein ehemaliger, durch subglazialen Schmelzwasserabfluss entstandener, Rinnensee. Sie gilt als das in prähistorischer Zeit am dichtesten besiedelte und zugleich am besten erforschte Areal im Havelland (May 2000a; May 2001b, 543), was bis zum Bau des großen Güterverkehrszentrums bei Wustermark (s.u.) vor allem der Tätigkeit ehrenamtlicher Denkmalpfleger zu verdanken war (Geisler 1964). An mehreren Stellen in der Nachbarschaft von Dyrotz 37 waren bereits Bodendenkmale registriert wurden.

Im Vorfeld der großflächigen Bauvorhaben am Verkehrsknotenpunkt Wustermark wurden archäologische Prospektionen durchgeführt (May 2000a, 197). Dabei wurde auch auf dem Gelände des

geplanten Güterverkehrszentrums bei Dyrotz, an der Auffahrtsrampe 34/35 zur Ortsumgehung B 5n, archäologisches Material festgestellt. Der Fundplatz befindet sich etwa 1,0 bis 1,5 km nordnordöstlich des Ortes Dyrotz im Landkreis Havelland. Östlich des Havelkanals gelegen, wird er im Süden von der Trasse der Ortsumgehung B 5n durchschnitten. Diese erfasst einen als Bodendenkmal-Verdachtsfläche geltenden Bereich entlang der Ostseite der Wublitzrinne (heutiger Bereich des Havelkanals). Der Fundplatz bekam die Bezeichnung Dyrotz 37 und ist damit eine von insgesamt 22 archäologischen Grabungsstellen östlich des Havelkanals, die in Begleitung des Schnellbahntrassenbaus Berlin-Hannover (May 2001a) und der Entwicklung des Güterverkehrszentrums Wustermark dokumentiert wurden. Diese Maßnahmen führten zu einer großen Verdichtung des Datenbestandes zur urgeschichtlichen Besiedlung im Havelland (z.B. Beilke-Voigt 1996; Beran 2000; Stapelfeldt 2000; Schwarzländer 2001).



Tab. 13.1 Dyrotz 37: Lage des Grabungsplatzes. Quelle: LAND GmbH

Eine erste Prospektion (Oberflächenbegehung) auf dem Areal des späteren Grabungsplatzes war bereits 1992/3 durchgeführt worden (May 2000a, 198). Die archäologische Einschätzung des Fundplatzes vor Beginn der ersten Grabungsarbeiten stützte sich auf die Ergebnisse dieser Prospektion, die in Form von neun prähistorischen und 22 slawischen Keramikfragmenten vorlagen. Die topographische Lage des Fundplatzes am Übergang von der Grundmoräne zur Niederung der Wublitzrinne führte zur Annahme, es handele sich um durch rezente Erosion aus dem Einzugsgebiet herantransportierte Funde. Das eigentliche archäologische Potential der Fundstelle wurde zu diesem Zeitpunkt nicht erkannt.

Im Juli und August 1998 fand dann eine Voruntersuchung mit Kleinsondagen statt. Dabei wurde festgestellt, dass am Rand der Niederung der Wublitzrinne mehrere Torfschichten über dem anstehenden Substrat lagerten. Im Unterhang wurden vier kolluvial gebildete Sedimentkörper erkannt. Nachdem diese archäologische Befunde ergeben hatten, wurden zunächst vier weitere Grabungsschnitte im Rahmen einer vertiefenden Voruntersuchung gelegt (Februar und März 1999), die das Relief vom Hangbereich bis in die Niederung aufschließen sollten.

Diese wurden schließlich zu den Schnitten der Hauptuntersuchung erweitert, welche von Anfang Juni bis Ende Juli 1999 an insgesamt 48 Arbeitstagen stattfand. Dabei wurden in wechselnder Zusammensetzung sechs Archäologen, sieben Grabungstechniker und 81 Grabungshelfer eingesetzt, um über 13.000 m² Fläche aufzudecken und insgesamt 450 Befunde zu dokumentieren. Träger und Auftraggeber der archäologischen Arbeiten war das Brandenburgische Straßenbauamt Potsdam (Hr. Reinhardt), als Vertreter der Bodendenkmalpflege war J. May zuständig. Mit der Durchführung der archäologischen Arbeiten wurde im Mai 1999 die Firma „Landschafts-Archäologie: Naturraum und Denkmalpflege GmbH“ (LAND) betraut, die jedoch Anfang 2001 in Konkurs ging. Die Aufarbeitung der teilweise noch unvollständigen Dokumentation und Verfassung des Grabungsberichts oblag K. Babel (Babel 2002). Für die Überlassung der von ihr erarbeiteten Unterlagen sei ihr an dieser Stelle noch einmal herzlich gedankt.

14 Prähistorische Besiedlungsphasen von Dyrotz 37

Bei der Fundstelle Dyrotz 37 handelt es sich um einen mehrphasigen Fundplatz. In einem Zeitraum von rund 6500 Jahren wurde dieselbe Stelle mindestens viermal neu besiedelt. Damit ist der Fundplatz potentiell geeignet, um festzustellen, inwieweit die auf unterschiedlichen kulturellen und technologischen Voraussetzungen bauenden Landnutzungsphasen sich mit den Ergebnissen des Erosionsmodells in Einklang bringen lassen. Dazu müssen die unterschiedlichen Besiedlungsphasen allerdings zunächst einmal mittels datierbarer Artefakte oder naturwissenschaftlicher Daten identifiziert und mit der Stratigraphie des Fundplatzes in Verbindung gebracht werden.

14.1 Die Besiedlungsphasen

Auf dem Fundplatz Dyrotz 37 wurden insgesamt 610 Objekte vermeintlich anthropogenen Ursprungs erkannt und mit Stellennummern versehen (s. Grabungsplan, Beilage 1). Die Grabungsschnitte erhielten die (technischen) Stellennummern 100 bis 900 (100-400 für die Grabungsschnitte der vertiefenden Voruntersuchung) und 2000 bis 9000. Von den insgesamt 610 Stellen können aufgrund von fehlendem oder nicht datierbarem Fundgut rund zwei Drittel zeitlich nicht genau eingeordnet werden. Von den 172 Stellen mit Fundgut enthielten 84 Keramik, die verbleibenden lediglich Silextrümmer- und abschläge, Knochen, Rotlehm und Steine. 28 der 84 Stellen mit Keramik enthalten für eine Datierung zu stark fragmentiertes oder unspezifisches Material. Weitere 114 Stellen sind durch Analogieschluss oder durch Lagebezug datierbar. Davon gehören 112 zur Holzwandkonstruktion (statistische Angaben nach Babel 2002, 40-43). Anhand des datierbaren keramischen Materials lassen sich fünf Besiedlungsphasen auf dem Fundplatz identifizieren. Davon fallen zwei ins Neolithikum (Rössener Kultur und ältere Trichterbecherkultur; Wetzel 2000), eine in die jüngere Bronzezeit (Elb-Havel-Gruppe; Buck 2000a), eine weitere in die vorrömische Eisenzeit (Buck 2000b) und die jüngste in einen späten Abschnitt der römischen Kaiserzeit (s. Tab. 14.1; May 2000b). Unter den schützenden Kolluvien im Unterhang- und Niederungsbereich erhielten sich einige archäologische Reste dieser Phasen. Die früheste neolithische Besiedlungsphase (Rössener Kultur) ist mit einem gut erhaltenen Röhrenbrunnen vertreten (May 2000a, 201), aus der Zeit der Elb-Havel-Gruppe der späten Bronzezeit stammt eine Holzwandkonstruktion im Niederungsbereich (May 2000a, 202) und ein Grubenhaus mit reichem Fundmaterial datiert in die späte römische Kaiserzeit. Insgesamt ist die Zahl der datierbaren Siedlungsbefunde aber gering. Mit Sicherheit erfassen die Grabungsmaßnahmen nicht die gesamte Ausdehnung des ursprünglichen Siedlungsareals (Babel 2002, 56; s. auch den Verlauf der Grabungsgrenze auf Beilage 1). Insbesondere die neolithischen Befunde dürften nur Ausläufer einer ehemals weiter hangaufwärts gelegenen Siedlung darstellen.

| Siedlungsphase | Zeitstellung | Epoche | Kulturbezeichnung |
|----------------|---------------------|---|-----------------------------|
| 1 | ca. 4600-4300 BC | Frühneolithikum | Rössener Kultur |
| 2 | ca. 3500-3100 BC | frühes Mittelneolithikum | ältere Trichterbecherkultur |
| 3 | ca. 1300-550 BC | jüngere Bronzezeit | Elb-Havel-Gruppe |
| 4 | ca. 550 BC bis 0 AD | vorrömische Eisenzeit | / |
| 5 | 3.-6. Jh. n.Chr. | späte römische Kaiserzeit und Völkerwanderungszeit | / |

Tab. 14.1 Prähistorische Besiedlungsphasen der Fundstelle Dyrotz 37. Von oben nach unten mit abnehmendem Alter.

14.2 Zur Datierung der Besiedlungsphasen

Lediglich für die bronzezeitlichen Holzwandkonstruktion existiert eine naturwissenschaftliche Datierung, alle übrigen Befunde müssen über die enthaltenen Artefakte datiert werden. Bei der Datierung der keramischen Artefakte konnte auf den Rat von Dr. G. Wetzel und Dr. W.-D. Buck (beide Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum, Wünsdorf) zurückgegriffen werden.

Bei den Artefakten aus Silex handelt es sich fast ausschließlich um Herstellungsabfälle und chronologisch nicht aussagekräftige, einfache Werkzeuge wie Klingen und Schaber bzw. Kratzer. Ein vollständig erhaltener, trapezförmiger Mikrolith (Querschneider) stammt aus Abfallgrube 9021, die nicht datiert werden kann. Eine flächig retuschierte Pfeilspitze mit gerader Basis stammt aus Stelle 5045 und datiert somit in die jüngere Bronzezeit. Die insgesamt über 650 Silexartefakte sind alle aus lokalem Material, dem nordischen Feuerstein, hergestellt (Babiel 2002, 48).

Unter den geborgenen Artefakten aus anderem Gestein befinden sich mehrere Reibsteine aus Granit (z.B. Stelle 7005), ein vermutliches Steinbeil aus der Grube mit Stellennummer 6009 und mehrere Axtbruchstücke aus der Brunnenverfüllung (9345) aus fein gebändertem Kieselschiefer (Amphibolit). Letztere gehören verm. zu einer Hammeraxt mit abgerundeten Schmalseiten und planen Lochseiten (Kirsch 1994). Ein Steinbeil aus vulkanischem Material stammt aus einer Pfostengrube der bronzezeitlichen Holzwandkonstruktion (Stelle 9044).

Die Artefakte aus Eisen sind aufgrund fortgeschrittener Korrosion in den meisten Fällen nicht mehr erkennbar. Eine Ausnahme bildet eine korrodierte Messerklinge mit schwach gebogenem Rücken, gerader Schneide und leicht abgesetzter Griffangel. Sie stammt aus dem Grabungsschnitt mit Stellennummer 7000, ist jedoch mit keinem datierbaren Befund in Zusammenhang zu bringen, so dass eine prähistorische Zeitstellung für das Objekt nicht sicher ist.

Im Niederungsbereich haben sich unter den günstigen Erhaltungsbedingungen auch einige Artefakte aus Holz erhalten. Mehrere Fragmente, die vermutlich zu einer Holzschale gehören, stammen aus der Grube mit Stellennummer 9155. Die Schale war wohl ursprünglich etwa 10,5 cm hoch und aus einem Stück geschnitzt. Die Grube, aus der die Schale stammt, ist nicht über Befunde datierbar, das Objekt selbst stark fragmentiert. Naturwissenschaftliche Datierungen wurden nicht vorgenommen. Die Lage der Grube dicht bei der bronzezeitlichen Holzkonstruktion und das Höhenniveau des Befundes machen eine zeitliche Gleichstellung aber wahrscheinlich (Babiel 2002, 53). Aus einer weiteren Grube in der Nähe (Stelle 9150) stammen ein kleines längliches Holzstück mit ovalem Querschnitt (11,3 cm lang; 1,4 × 1,0 cm breit) und ein sechskantiges längliches Holzstück (19,2 cm lang, 2,7 cm breit). Bei dem kleineren Stück, das zum einen Ende hin abgeflacht ist, handelt es sich evtl. um einen Splint, der als Verbindungselement einer Holzkonstruktion Verwendung fand (Babiel 2002, 54).

Damit bleiben im wesentlichen die keramischen Artefakte für eine genauere Datierung der Befun-

de. Die präzise Datierung der Siedlungsbefunde über die enthaltene Keramik gestaltet sich allerdings schwierig, da die prähistorische Siedlungskeramik des Havellandes bislang wenig erforscht ist. Die aus den Befunden geborgenen Artefakte zeichnen sich zudem durch chronologisch geringe Aussagekraft aus. Die Keramik von Dyrotz 37 ist zum größten Teil stark fragmentiert, was die Datierung nochmals entsprechend erschwert. Lediglich die vier Gefäße aus dem Rössener Brunnen sind vollständig erhalten geblieben. Um die vier in Tabelle 14.1 aufgeführten, grob zeitlich differenzierten Besiedlungsphasen belegen und nach Möglichkeit mit der Stratigraphie der Fundstelle in Verbindung bringen zu können, werden im folgenden die Grabungsbefunde mit dem stilistisch eindeutigsten keramischen Inventar dokumentiert und entsprechend ihrem Inhalt datiert. Die stilistische Ansprache von Formen und Verzierungen der Keramik erfolgt nach den Empfehlungen von Barthel et al. (1972) und Breddin et al. (1980).

14.3 Neolithikum

Die nur durch wenige datierbare Befunde nachgewiesene neolithische Besiedlung wird vor allem durch den hervorragend erhaltenen Röhrenbrunnen (s. 14.3.3 auf der nächsten Seite, Babel 2002, 32-39) der Rössener Kultur repräsentiert. Daneben wurden zwei weitere Gruben mit Keramik, die wahrscheinlich der älteren Trichterbecherkultur und somit einer zweiten, zeitlich jüngeren, neolithischen Besiedlungsphase zuzuordnen sind sowie der vermeintliche Rest eines weiteren Brunnens, dessen neolithische Zeitstellung allerdings nicht als sicher gelten kann, entdeckt. Die Keramik des Neolithikums ist entsprechend spärlich, dafür aber mit erstaunlich gut erhaltenen Gefäßen vertreten.

14.3.1 Siedlungsgrube 2002

Am östlichen Rand des Oberhangs befindet sich eine Gruppe von vier Gruben. Eine davon, eine ca. 1,30 × 1,20 m messende, kreisförmige Verfärbung mit einem unregelmäßig beutelförmigen Profil, kann aufgrund der enthaltenen Keramikfragmente in die ältere Trichterbecherkultur des Neolithikums datiert werden, welche im Havelland bereits durch mehrere aussagekräftige Fundkomplexe belegt ist (Kirsch/Uhl 1990, 57).

Die keramischen Fragmente gehören zu einem amphorenartigen, unverzierten Gefäß aus dunkelgrauer bis schwarzer Keramik. Eine genauere Datierung des Gefäßes ist schwierig, da es sich um eine sehr langlebige, chronologisch unspezifische, Form handelt, die in Siedlungskomplexen zudem selten vorkommt (Kirsch 1994, 21 u. 22, 24). Das Gefäß war leider unauffindbar und kann daher nicht abgebildet werden.

14.3.2 Siedlungsgrube 6027

Die unregelmäßig runde Verfärbung (Ausdehnung im Planum etwa $2,30 \times 1,95$ m) besitzt ein wannenförmiges Profil. Aus dem Befund stammt eine auffällige Wandscherbe aus brauner Keramik. Sie trägt ein flächiges, gut erhaltenes Ornament aus einem Bündel vertikaler, tief eingeritzter Linien, die parallel laufen (Fransenbündel; Abb. 14.3). Daneben läuft eine Linie kurzer Einstiche, darüber, vcm. auf dem ehemaligen Halsansatz, eine weitere Reihe kurzer Einstiche. Bei dem Fragment handelt es sich vermutlich um das Schulterteil eines Trichterbeckers bzw. einer Trichterrandschüssel, wie es Kirsch (1994, Abb. 166, 690) bei einem Befund aus Prenzlau abbildet, der in die ältere Trichterbecherkultur datiert. Die Datierung des Befundes ins frühe Mittelneolithikum aufgrund eines einzigen Gefäßfragmentes ist natürlich unsicher, liegt durch die Datierung von Stelle 2002 aber im Bereich des Möglichen.

14.3.3 Röhrenbrunnen 9345, 9382

Bei dem Befund handelt es sich um einen aus einem ausgehöhlten Baumstamm gearbeiteten Röhrenbrunnen von maximal 77 cm Durchmesser (Babiel 2002, 32-38). Das Objekt war durch die schützenden Kolluvien im Unterhangbereich gut konserviert worden (Abb. 14.1). Die Brunnenröhre war dadurch auf einer Länge von 1,20 m erhalten geblieben (85 cm davon unterhalb des Grundwasserspiegels bei 28,88 mHN). Oberhalb des erhaltenen Restes war die ehemalige Brunnenröhre bis zur Geländeoberkante (Planum bei 30,31 mHN) auf weiteren 1,08 m als dunkle, röhrenförmige Verfärbung im Boden erkennbar. Die Außenseite des Stammes war mit Hilfe einer Axt entrindet worden. Spuren der Axthiebe haben sich als drei bis neun Millimeter breite Kerben erhalten (Babiel 2002, 32; Abb. 14.1). Auf der Sohle des Brunnens (bei 28,03 mHN) kamen mehrere, zum Teil vollständig erhaltene Keramikgefäße zutage (Abb. 14.1, oben rechts). Darüber befand sich eine dünne Lage aus Borke und weiterem, verkohltem organischem Material, das die Reste eines Rindengefäßes darstellen könnte. Als weiteres Artefakt fand sich in der Brunnenfüllung das Fragment eines Steinbeiles aus gebändertem Amphibolit (Babiel 2002, 49). Bei dem Befund mit der Stelle 9382 handelt es sich um einen Teil der Baugrube des Brunnens, welche in ihren Dimensionen fast exakt den Abmessungen der Brunnenröhre entspricht. Zur Geländeroberkante hin erweitert sie sich trichterförmig bis auf ca. 1,70 m (Abb. 14.1, oben links).

Da eine naturwissenschaftliche Datierung derzeit noch aussteht, kann der Brunnen lediglich typologisch, anhand der enthaltenen Gefäße, datiert werden. Die Typologie der Gefäße (Form, Verzierungsart und -muster) stellt diese in die Rössener Kultur des Neolithikums. Als bisher einziger gesicherter Brunnenbefund im Verbreitungsgebiet der Rössener Kultur kommt dem Objekt besondere Bedeutung zu (Babiel 2002, 42). Die frühesten Beispiele für Brunnen dieser Bauart stammten bislang aus dem Bereich der Trichterbecherkultur (Stäuble/Campen 1998, 62). Der Brunnen aus Dyrotz 37 ist somit

derzeit das älteste erhaltene Exemplar seiner Bauart.

Die Gefäße aus dem Röhrenbrunnen besitzen die Form von Kugelbechern, eines die Form einer Kugelflasche (mit dichter Ornamentik). Die Gefäße mit starker Profilierung und spärlicher Verzierung datieren eher in die jüngere Phase der Rössener Kultur (Erhardt 1994, 69 f.; Kirsch/Uhl 1990, 61). Aus dem Havelland fehlen jedoch aussagekräftige Vergleichsstücke, da von hier bislang lediglich Gefäßbruchstücke, bestenfalls in Form von Scherbenansammlungen, der Rössener Kultur publiziert worden sind (Geisler 1964; Kirsch/Uhl 1990, 57; Wetzel 2000).

Stelle 5345



1:2



Abb. 14.1 Dyrotz 37: Brunnen der Rössener Kultur (Neolithikum). Quelle der Abbildungen: LAND GmbH.

Stelle 5345

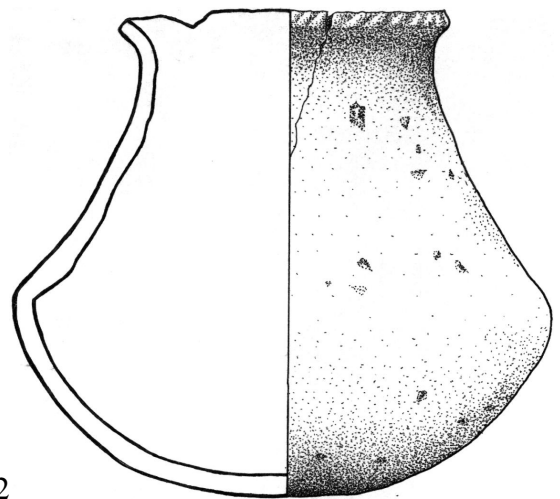
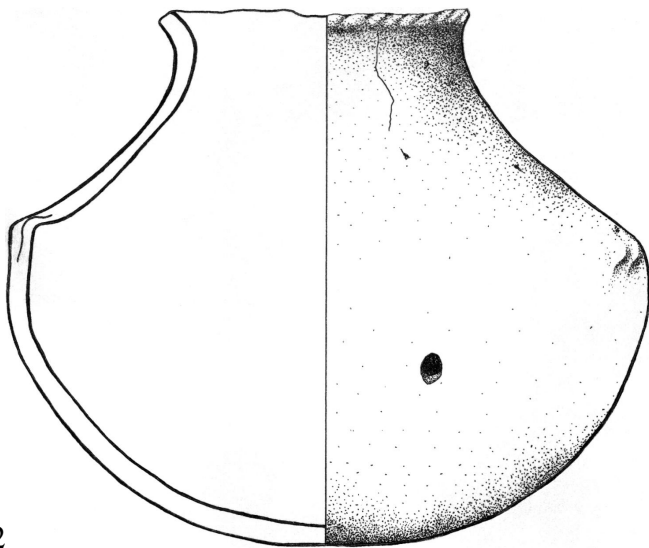
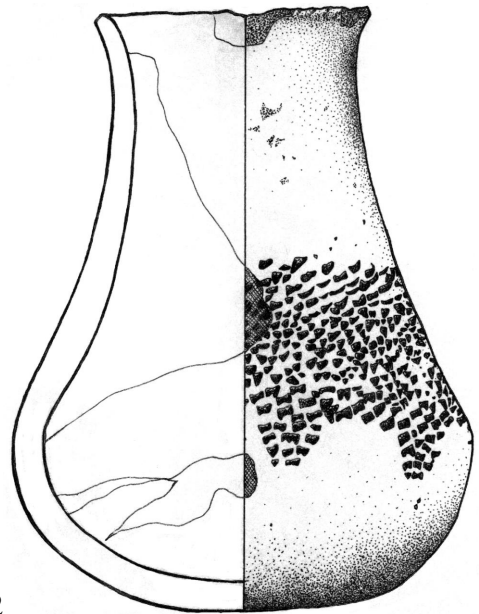
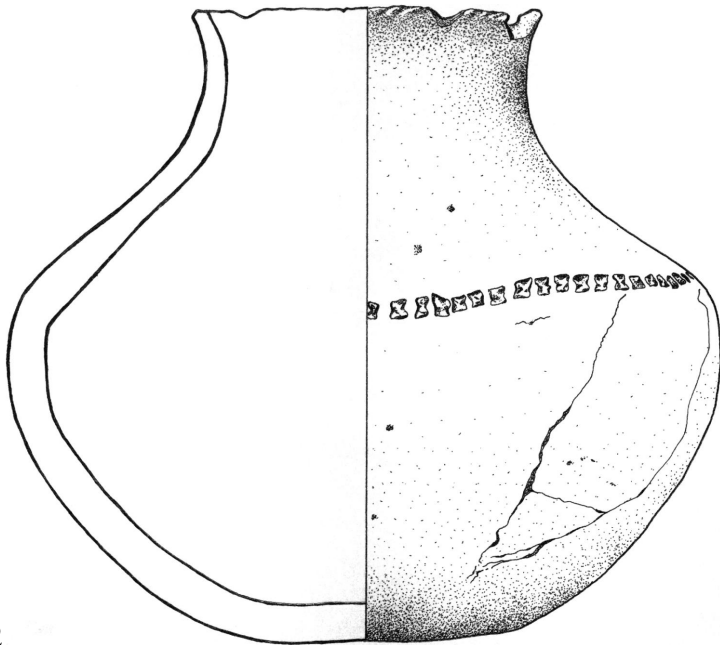


Abb. 14.2 Dyrotz 37: Keramik der Rössener Kultur (Neolithikum). Alle Zeichnungen angefertigt von LAND GmbH

Stelle 9371, Stelle 6027

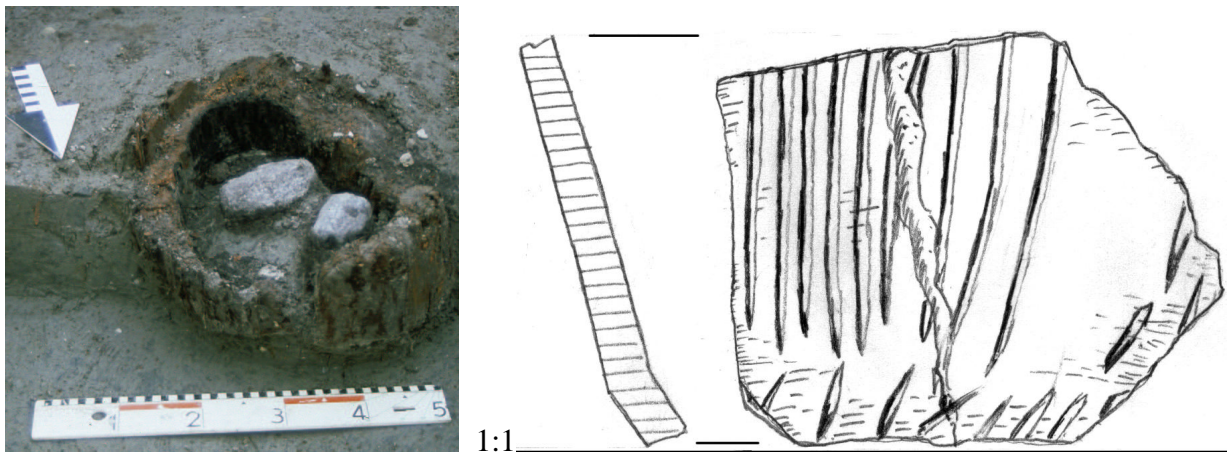


Abb. 14.3 Dyrotz 37: Funde des Neolithikums. Vermutlicher Rest eines neolithischen Brunnens und Fragment eines Gefäßes der älteren Trichterbecherkultur (Foto: LAND GmbH).

14.3.4 Rest eines Röhrenbrunnens 9371

Bei diesem Befund, einem ovalen Holzring, könnte es sich um den untersten Rest eines zweiten, schmaleren Röhrenbrunnens handeln (Babiel 2002, 38; auf Beilage 1 am Südenende von Stelle 9038, dem Graben der Holzwandkonstruktion). Der Befund, der ebenfalls aus dem Unterhangbereich stammt, hatte einen Durchmesser von nur 37-42 cm und war auf einer Höhe von 20 cm erhalten (Abb. 14.3). Die Deutung als Brunnen ist aufgrund des Erhaltungszustandes nicht zweifelsfrei. Die Zeitstellung ist ebenfalls unklar, da keine datierbaren Artefakte aus dem Befund geborgen werden konnten. Stratigraphisch datiert das Objekt aber vor die Anlage der bronzezeitlichen Holzwand, da es von dem vorgelagerten Pfostengraben (Stelle 9038) gekappt wird (Babiel 2002, 39).

14.4 Bronzezeit

Das keramische Fundmaterial der bronzezeitlichen Besiedlungsphase von Dyrotz 37 datiert in die jüngere Urnenfelderzeit (Elb-Havel-Gruppe). Die typologische Datierung gelingt über einige charakteristisch geformte Fragmente und ein gut rekonstruierbares Gefäß (Stelle 5003 bzw. 5045, Abb. 14.5).

Das Farbspektrum der Keramik umfasst v.a. dezente ocker-braune und grau-schwarze bis schwarze Farbtöne. Die Keramik fühlt sich meist glatt an und besitzt eine matte, oft auch eine polierte Oberfläche. Auf den größeren Vorratsgefäßen findet sich auch Schlickrauhung mit Fingerstrichglättung und Kammstrich.

Der Formenschatz der zahlreichen, chronologisch unspezifischen Keramikfragmente repräsentiert weich profilierte, kugelige Gefäße mit rundem Bauchumbruch, zylindrische und konische Gefäße mit zylindrischen Rändern, Trichterrändern oder geraden Rändern. Die Randlippen sind halbrund, lippenförmig, beidseitig verdickt, gerade oder nach innen abgestrichen. Die Gefäße besitzen Standböden, die manchmal auch abgesetzt sind.

Charakteristische, besser datierbare Formen sind zweigliedrige, tonnenförmige Gefäße, die sogenannten „Eitöpfe“, Schalen, kumpfförmige Gefäße, konische Gefäße mit Zylinderhalsrand und Schlickverzierung und der Doppelkonus. Das Spektrum der typischen Verzierungen umfasst vor allem breite Kanneluren, die häufig auch schräg stehen (14.5) . Eingetiefte Ornamente sind Ritzlinien auf der Gefäßschulter (14.5).

Allgemein ist auffällig, dass das keramische Material nach seiner typologischen Datierung (vgl. etwa Buck 2000a, 62 mit den Gefäßen aus Stelle 5045) eigentlich um wenigstens 100 Jahre jünger ist als die durch eine ¹⁴C-Probe absolut datierte Holzwandkonstruktion (s. 14.4.4 auf der nächsten Seite). Allerdings ist z.Z. noch eine dendrochronologische Datierung der Holzwand in Arbeit, die hierzu genauere Erkenntnisse bringen wird.

14.4.1 Siedlungsgrube 3016

Das Objekt wurde nicht im Planum dokumentiert. Das Profil ist annähernd kastenförmig. Die keramischen Fragmente zeigen als Verzierungsmotive ein horizontales Band von sparrenartigen Rillen, ein scharfkantiges Gurtband und eine horizontale, breite Facettierung, welche die Datierung in die jüngere Bronzezeit nahelegt. Unter den Randscherben findet sich ein eingezogener Rand mit lippenförmiger Randlippe (Abb. 14.5).

14.4.2 Grubenkomplex 5003 bzw. Stelle 5045

Zum Grubenkomplex 5003 (s. 14.6.2) gehört auch die Stelle 5045, die den Südteil des Befundes umfasst und vermischtes Material aus verschiedenen Zeitstufen (jüngere Bronzezeit, vorrömische Eisenzeit, römische Kaiserzeit) umfasst. Die Stelle erbrachte die Reste eines gut rekonstruierbaren Gefäßes der Elb-Havel-Gruppe der jüngeren Bronzezeit. Es handelt sich um ein zu etwa 40 % erhaltenes, zweigliedriges, linsenförmiges Gefäß mit weiter Mündung und deutlichem Profil aus schwarz-grauer bis schwarz-brauner Keramik. Es besitzt einen konischen, mit zwei umlaufenden Rillen abgesetzten Hals mit trichterförmig ausgebogenem Rand und gerader Randlippe. Die Schulter ist mit Schrägkanneluren verziert (ursprüngliche Höhe etwa 20-22 cm, Durchmesser des Bodens etwa 12-13 cm, Bauchdurchmesser etwa 32 cm, Durchmesser der Mündung 29 cm).

14.4.3 Grubenkomplex 6010

Es handelt sich um eine unregelmäßige, ovale Verfärbung (ca. $9,50 \times 5,50$ m Ausdehnung im Planum), die Objekte der jüngeren Bronzezeit und römischen Kaiserzeit enthielt. Da der Grubenkomplex sich im erodierten Teil des Mittelhangbereichs befand, ist die genaue Trennung zwischen Befunden der unterschiedlichen Zeitstufen schwierig.

Zur Elb-Havel-Gruppe der späten Bronzezeit gehören das Fragment eines Gefäßes mit vertikalen Kanneluren und die Reste eines konischen Zylinderhalsgefäßes mit Schlicküberzug und Fingerstrichglättung (Abb. 14.5).

14.4.4 Holzwandkonstruktion 9037-9362

Im Niederungsbereich blieb, dank des hohen Grundwasserspiegels, das wohl spektakulärste Objekt der Grabung erhalten. Es handelt sich um die Reste einer Holzwandkonstruktion, die in Nord-Süd-Richtung verlief. Der Konstruktion war an ihrer Westseite ein Graben vorgelagert. Bei ihrer Freilegung wurden insgesamt 93 Einzelbefunde dokumentiert (82 davon Pfostengruben und Pfähle). Die Befunde waren allesamt in das anstehende Substrat eingetieft und von einer Torschicht überdeckt.

Die eigentliche Holzwand, die insgesamt auf einer Länge von 40 m freigelegt und dokumentiert wurde, bestand aus Eichenpfosten (insgesamt 82), die in Abständen von 10-50 cm in Pfostengruben (27) oder schmalen Gräbchen (49) eingesetzt oder eingeschlagenen (sechs) worden waren. Viele Pfostengruben enthielten noch den Pfostenstumpf oder zumindest einige Reste davon. Mehrere Pfostenstümpfe weisen ein Nut auf, die längs durch den Pfosten verläuft. Diese war zur Aufnahme der horizontalen Bretter bestimmt, welche die eigentliche Wand bildeten und teilweise noch bei einer erhaltenen Länge von über 2 m in situ lagerten (Stellen 9089, 9093, 9195, dabei handelt es sich jeweils um das unterste Brett).

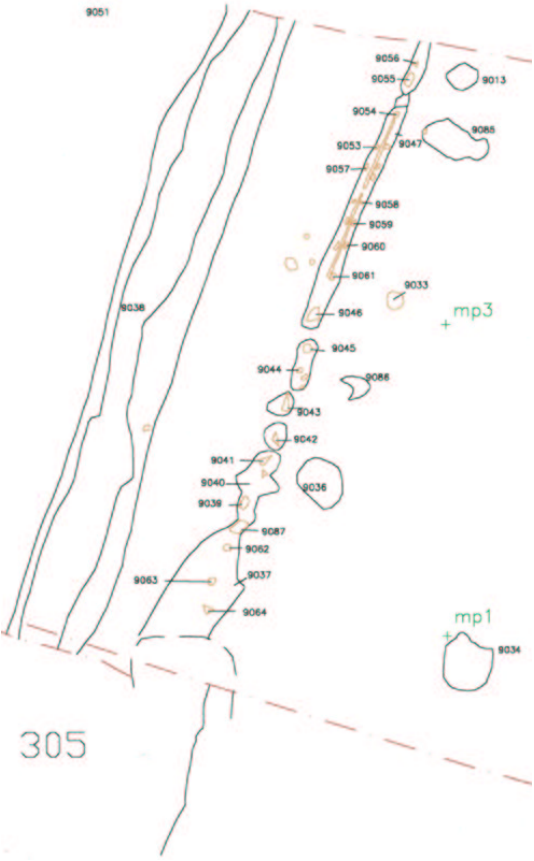
In einem Abstand von durchschnittlich 1,50 m verlief ein westlich vorgelagerter Graben (ca. 1,10 m breit und etwa 0,5 m tief erhalten, mit v-förmigem bis wannenförmigem Profil) parallel zur Pfostenreihe. Zwischen dem Graben und der Holzwand aufgehöhte Sedimente sind offenbar Aushub aus dem Graben und könnten zu einer Aufschüttung gehören, die ursprünglich zwischen Graben und Holzwand angelegt worden war (s. Abschnitt 15 auf Seite 112 und Abb. 15.1).

Die Funktion der Holzwand muss vorerst ungeklärt bleiben. Prähistorische Holzkonstruktionen mit Befestigungscharakter sind aus Brandenburg zwar bekannt, jedoch gleicht keines der veröffentlichten Exemplare (Herrmann 1969; Buck 1984) der Konstruktion von Dyrotz 37. Zudem sind die bislang publizierten Objekte jünger als die Konstruktion von Dyrotz 37 (s.u.). Aufgrund der uferparallelen Ausrichtung der Konstruktion sowie der Tatsache, dass der Grabungsbefund auf eine für Verteidigungszwecke zu wenig massive Konstruktion schließen lässt, wurde auch schon an eine wasserbauli-

che Maßnahme (Spundwand) gedacht (Babiel 2002, 26). Allerdings wäre eine geringmächtige Konstruktion in Verbindung mit dem ursprünglich davor liegenden Wasserkörper durchaus eine wirksame Schutzmaßnahme. Rückschlüsse darauf, inwiefern massivere Palisaden den hinteren Bereich der Siedlung vielleicht einst geschützt haben mögen, lässt die zu geringe Ausdehnung der Grabungsfläche nicht zu.

Zwar wurden keine dendrochronologischen Altersbestimmungen vorgenommen, eine ¹⁴C-Datierung für die Holzwandkonstruktion (Labor für Alterbestimmung und Isotopenforschung der Christian-Albrechts-Universität Kiel; Pfosten aus Stelle 9056 am nördlichen Ende der ergrabenen Konstruktion) ergab aber ein Alter von 1373-1125 CalBC, also den Beginn der jüngeren Bronzezeit. Zur typologischen Altersbestimmung verwendbare Artefakte konnten aus keiner mit der Holzwandkonstruktion assoziierten Stelle geborgen werden (auch nicht aus dem vorgelagerten Graben).

Stelle 9000



Stelle 9047

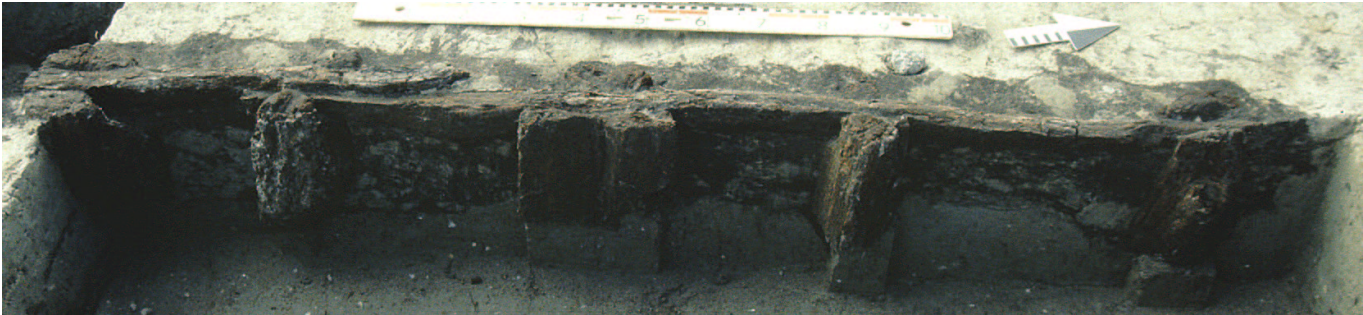
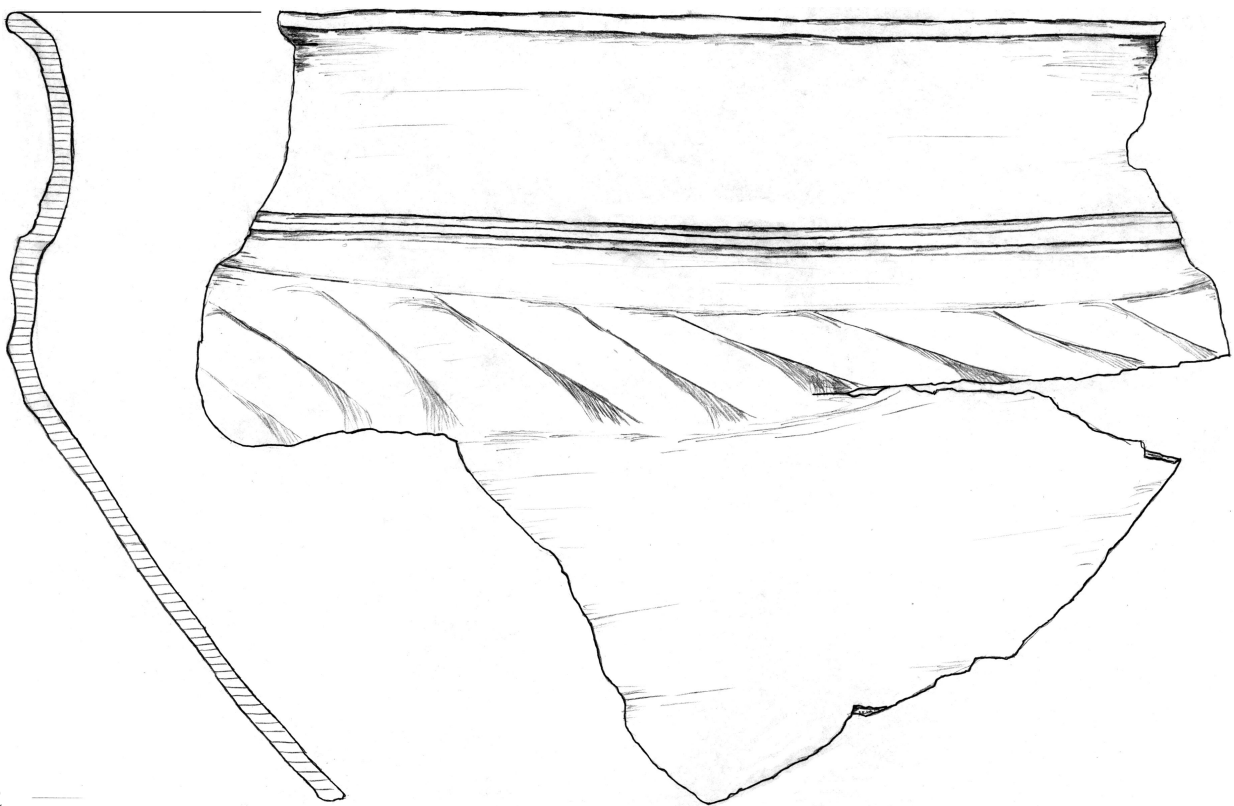


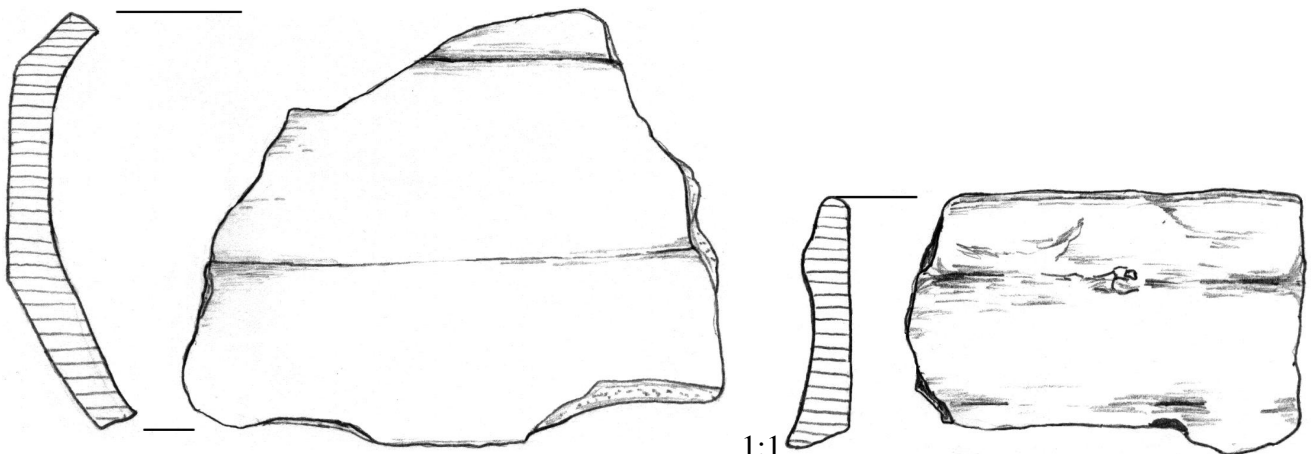
Abb. 14.4 Dyrotz 37: Bronzezeitliche Holzwandkonstruktion. Fotos: LAND GmbH.

Stelle 5003 (5045)



1:2

Stelle 3016, 6010



1:1

1:1

Abb. 14.5 Dyrotz 37: Keramik der Bronzezeit.

14.5 Vorrömische Eisenzeit

Für den Zeitabschnitt der vorrömischen Eisenzeit fehlen ähnlich aussagekräftige Befunde, wie für die übrigen Besiedlungsphasen. Die Zahl der Befunde und der charakteristischen Formen im keramischen Fundinventar von Dyrotz 37 sind aber ausreichend, um die Existenz einer Besiedlungsphase in der vorrömischen Eisenzeit zu belegen.

14.5.1 Siedlungsgrube 211

Die Grube, eine im Planum runde Verfärbung (Durchmesser 1,35 m, erhaltene Tiefe 48 cm), mit kastenförmiger Kontur, enthielt das Fragment eines profilierten Gefäßes mit abgesetzten Glättstreifen und Gurtbandornament, das in die vorrömische Eisenzeit datiert (14.6).

14.5.2 Mulde im Kolluvium (4012 u. 4013)

Bei den benachbarten Stellen mit der Nummer 4012 und 4013 handelt es sich nicht um einen archäologischen Befund im engeren Sinne, sondern um den Rest eines Kolluviums im Übergang vom Akkumulations- zum Erosionsbereich, der sich hier in einem kurzen konkaven Abschnitt erhalten hatte. Dabei handelt es sich um die einzige Stelle, an der datierbares Fundgut direkt mit einem der Kolluvien in Verbindung gebracht werden kann. Leider wurde während der Grabung die Entscheidung gefällt, die Stellen nicht mittels Zeichnungen und Fotos zu dokumentieren, so dass sich Rückschlüsse auf die stratigraphischen Verhältnisse lediglich auf Beschreibungen und Skizzen im Grabungstagebuch sowie die absolute räumliche Lage der Stellen stützen können.

Die Keramik zeigt eine orange-braune Farbe und eingezogene Ränder mit lippenförmiger Randlippe. Die meisten Fragmente gehören vermutlich zu einem großen, dickwandigen Vorratsgefäß (Abb. 14.6). Dabei handelt es sich um ein zweigliedriges, tonnenförmiges Gefäß (Wandstärke bis 1,5 cm, Durchmesser der Mündung ca. 30 cm) mit weichem Profil und zylindrischem Rand mit lippenförmiger Randlippe. Auf seiner Oberfläche besitzt es eine Schlickrauhung mit Fingerstrichglättung, die bis zur Schulter reicht. Ein Fragment eines weiteren Gefäßes zeigt als Verzierung ein dichtes Ornament aus feinen horizontalen und vertikalen Ritzlinien (Abb. 14.6). Das Ornament und die Formen der Fragmente machen eine Datierung in die vorrömische Eisenzeit wahrscheinlich. Gute Entsprechungen finden sich auf dem havelländischen Brandgräberfeld der vorrömischen Eisenzeit von Geltow-Wildpark (Seyer 1969, dort z.B. Abb. 16, 90a und 130a).

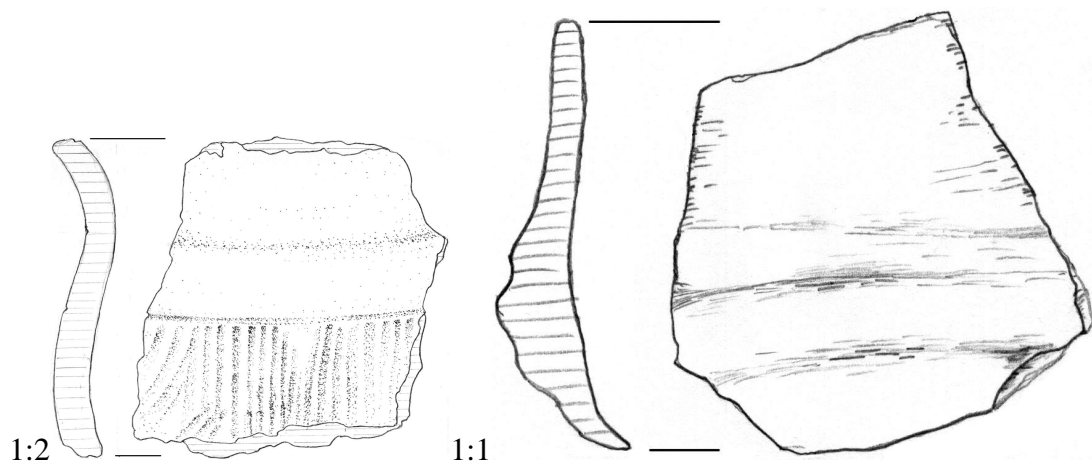
14.5.3 Grubenkomplex 5003 bzw. Stelle 5045

Innerhalb des Komplexes mit Material verschiedener Zeitstellungen finden sich auch größere Fragmente eines Gefäßes der vorrömischen Eisenzeit. Es handelt sich um ein zweigliedriges, kugeliges Gefäß mit zylindrisch nach außen gewölbtem, verdicktem Halsrand mit halbrunder Randlippe aus ocker-brauner bis schwarz-brauner Keramik (ursprüngliche Höhe etwa 20-25 cm, Durchmesser des Bodens ca. 13 cm, Durchmesser der Mündung 15,5 cm). Es weist auf dem Bauch eine flächige Schlickrauhung mit Kammstrichglättung auf (Abb. 14.7).

14.5.4 Siedlungsgrube 5005

Bei dem Objekt handelt es sich um eine im Planum runde Verfärbung (Durchmesser etwa 1,20 m) mit annähernd wannenförmigem Profil. Unter den geborgenen Artefakten befinden sich einige auffällige Keramikfragmente mit polierter, grau-brauner Oberfläche. Sie tragen flache Kanneluren in einem breiten, horizontal und einem vertikalen darunter verlaufenden Band, die an Verzierungsmotive der – allerdings nicht im Untersuchungsgebiet vertretenen – Billendorfer Gruppe der frühen Eisenzeit erinnern (Abb. 14.6). Weiterhin fand sich das Fragment eines Quellrandbodens (Durchmesser ca. 15 cm). Bei den sonstigen Fragmenten handelt es sich um die Reste einer zu drei Vierteln erhaltenen Schale (Durchmesser des Bodens 4,8 cm, Durchmesser der Mündung 13,8 cm, Höhe 6,6 cm) mit leicht abgesetztem Standboden, geradem Rand mit lippenförmig verdickter Randlippe und einem kleinen, randständigen Henkel am Randknick (Abb. 14.6) sowie eines weich profilierten, tonnenförmigen Vorratsgefäßes (sog. „Eitopf“) mit leicht abgesetztem Standboden und fast vollständig mit Schlickrauhung versehener Oberfläche, dessen Größe sich aus den erhaltenen Fragmenten nicht präzise rekonstruieren ließ.

Stelle 211, 5003

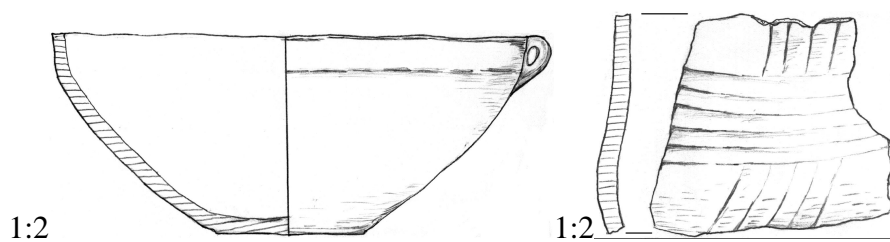


Stelle 4012/4013



Abb. 14.6 Dyrotz 37: Keramik der vorrömischen Eisenzeit.

Stelle 5005



Stelle 5045

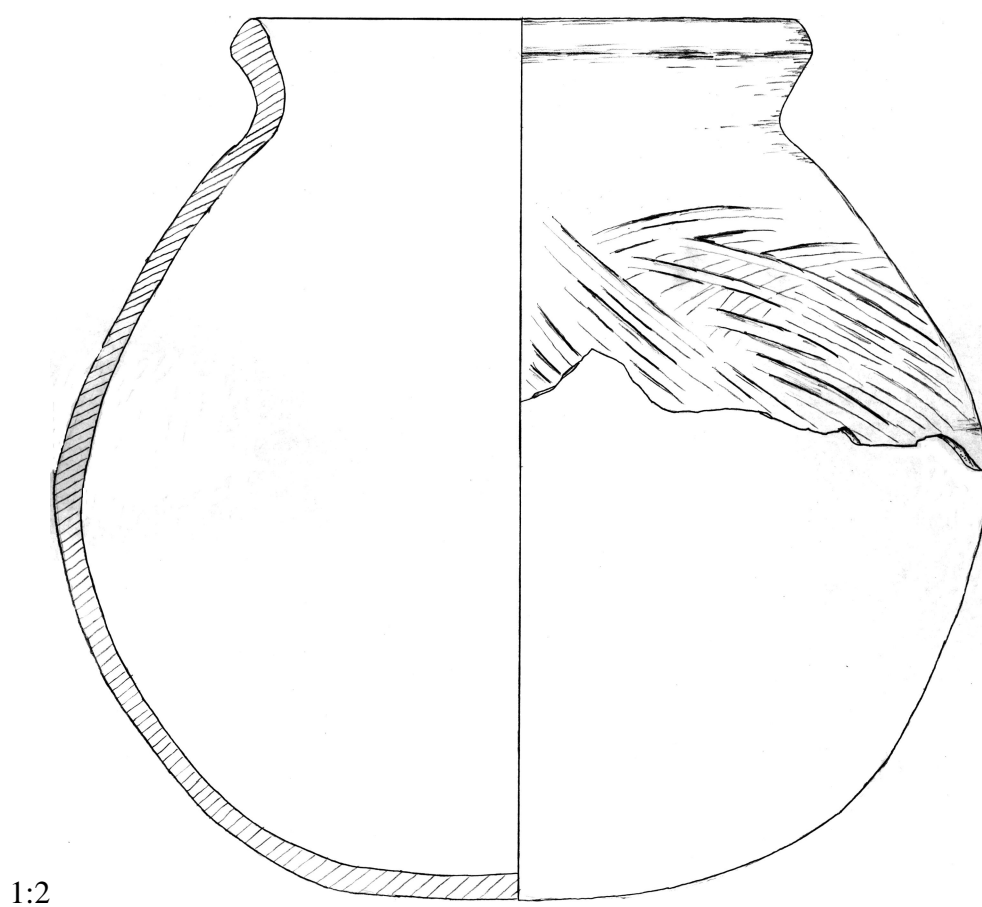


Abb. 14.7 Dyrotz 37: Weitere Keramik der vorrömischen Eisenzeit.

14.6 Römische Kaiserzeit

Die meisten der datierbaren Befunde von Dyrotz 37 lassen sich einer Siedlung der römischen Kaiserzeit (50 v. Chr. bis 400 n. Chr.) zuweisen. Unter den Funden aus dem Havelland hat die Keramik von Dyrotz 37 z.B. Parallelen zu von Grünewald (1998, 34-39) veröffentlichtem Material, welches aus drei dendrochronologisch ans Ende des 4. Jhd. bzw. den Anfang des 5. Jhd. datierten Brunnen (377, 400 und 432 v. Chr.) stammt. Es ist anzunehmen, dass die kaiserzeitliche Siedlungsphase von Dyrotz 37 ebenfalls ans Ende der römischen Kaiserzeit bzw. in die beginnende Völkerwanderungszeit datiert (vgl. auch Leube 1995, Abb. 18 und 19). Diese Annahme wird durch den Fund einer völkerwanderungszeitlichen Scherbe (Stelle 5013) und die Keramik aus dem Grubenhaus (Stelle 101) bestätigt. Leider sind die Funde aus den spätkaiserzeitlichen Siedlungen Brandenburgs kaum publiziert, so dass Vergleichsmaterial für die Datierung fehlt (Schmidt 1968, 68). Besonders das reichhaltige Material aus den Altgrabungen ist in privaten Sammlungen verschwunden, ohne wissenschaftlich bearbeitet und veröffentlicht zu werden (Felsberg 1925, 123; Geisler 2000, 25), so dass die Publikationen mit der Menge des Materials aus Siedlungsgrabungen „von anfang an nicht Schritt halten“ (Leube 1971, 57) konnten.

Ein großer Teil der typologisch datierbaren Keramik aus dieser Siedlungsphase stammt aus einem als Grubenhaus zu deutenden Befund (s. Abschnitt 14.6.1 auf der nächsten Seite). Die Keramik der kaiserzeitlichen Siedlungsphase hat oft eine charakteristische, rot- oder orange-braune bis satt-braune, manchmal auch grau-braune oder ocker-gelbe Farbe. Daneben existiert eine schwarz glänzende Feinkeramik (z.B. Stelle 5004, 5006, 6013). Die Oberfläche ist meist matt und fühlt sich kreidig an, bei der Feinkeramik ist sie aber auch glänzend poliert, manchmal sogar auf der Innenseite. Schlickrauhung, auch mit Fingerstrichglättung, kommt ebenfalls häufig vor. Die Keramik ist meist locker und grobsandig gemagert, so dass die Magerungspartikel mit bloßem Auge gut zu erkennen sind. Häufig fällt auch ein Glimmeranteil auf.

Typische Formen der kaiserzeitlichen Siedlungsware sind kleine Kämpfe aus brauner Keramik mit nach innen einziehenden Rändern. Ein häufiger Typ der Feinkeramik ist das dünnwandige Gefäß aus schwarz polierter Keramik mit ausladendem Rand und zwei Rillen am Schulter-Hals-Umbruch sowie schrägen Kanneluren und nach innen abgescrägter Randlippe. Ferner treten zweigliedrige, kugelige Gefäße mit weichem Bauchumbruch und sackförmige Gefäße auf. Die Gefäßränder sind zylindrisch oder eingezogen und haben gerade, nach innen abgestrichene), halbrunde oder lippenförmig verdickte Randlippen. Die Gefäße besitzen Standböden, die auch abgesetzt sein können.

Zur typischen Verzierung gehört die Kammstrichverzierung. In Form mehrerer konzentrischer Bögen tritt diese auf den Gefäßen aus den Stellen 7008, 6003, 5003 (14.13) auf. Charakteristisch sind auch flächenfüllende Motive aus breiten, weichkantigen Gurtbändern, die parallel und horizontal, schräg oder auch in wechselnden Richtungen laufen (Abb. 14.9 und 14.11). Mit den Fingern in den wei-

chen Ton eingedrückte Verzierungen erscheinen als Bänder aus Fingerkuppeneindrücken, die auch in parallelen, vertikalen Reihen laufen und langgezogen oder schräggestellt sein können oder Fingernageleindrücke (Abb. 14.9 und 14.11). Plastische Verzierungen treten in Form von runden oder abgeplatteten Knubben am Bauchumbruch auf (Abb. 14.11). Daneben kommen plastische Rippen vor.

Ebenfalls häufig sind Rillen, parallel oder einzeln und scharfkantig und Ritzlinien direkt oberhalb des Bauchumbruchs (Abb. 14.12). Auffallend sind ferner horizontale, in regelmäßigen Abständen verlaufende Kanneluren auf dem Bauchumbruch (Abb. 14.11).

14.6.1 Grubenhaus (Stellen 101, 112-115, 118,119)

Das als Grubenhaus zu deutende Objekt wurde im Mittelhangbereich freigelegt (Abb. 14.8). Es war auf einer Grundfläche von ca. 4,20 × 3,60 m unter das Oberflächenniveau eingetieft worden, im Profil wannenförmig und bis maximal 30 cm Tiefe erhalten. An den Schmalseiten im Osten und Westen des Hauses wurden die Gruben von sechs Pfosten nachgewiesen, die ehemals das tragende Gerüst gebildet hatten (Stellen 112-115, 118 u. 119). Dieser Bautyp ist charakteristisch für Speicher- und Nebengebäude auf Gehöften der römischen Kaiserzeit (Gustavs 1998, 46; Hauptmann 1998, 70; Schöneburg 1998, 127; Vogt 1998, 137). Entlang der Nordseite des Hauses fanden sich sechs gut erhaltene Webgewichte (Abb. 14.11) und weitere Bruchstücke, die von einem dort angelehnten Webstuhl stammen dürften. Sonstige Hinweise zur Nutzung des Objektes fehlen.

Das Spektrum der keramischen Funde umfasst, neben einigen gut datierbaren, in charakteristischer Weise verzierten Gefäßen (Abb. 14.11, 14.9 und 14.11), mehrere gut erhaltene, pyramidenstumpfförmige Webgewichte aus orange- bis ockerfarbener Keramik. Eine gute typologische Entsprechung stellen Gefäße aus den großen kaiserzeitlichen Gräberfeldern des Havellandes Garlitz, Ketzür und Butzow (Material publiziert bei Felsberg (1925), dort v.a. Tafel 16, Gefäße a, n, o und p und Schmidt (1968)) dar, welche ebenfalls in die späte römische Kaiserzeit zu datieren sind (Felsberg 1925, 154).

14.6.2 Grubenkomplex 5003

Bei dieser Stelle handelt es sich um einen ausgedehnten Komplex (maximal 40,8 × 14,4 m) von benachbarten Siedlungsgruben (Stellen 5012-5014, 5016-5019, 5021, 5024, 5027-5032, 5035, 5050), die überwiegend in die römische Kaiserzeit datieren. Es fanden sich jedoch auch die Sohlen älterer, bronzezeitlicher Gruben mit entsprechend datiertem Material, deren erhaltene Oberkanten dasselbe Höhenniveau besaßen. Der Grubenkomplex ist somit ein gutes Beispiel für Auswirkungen von Erosionsprozessen auf die Stratigraphie archäologischer Grabungen.

Das reichhaltige keramische Material der römischen Kaiserzeit umfasst Gefäße von braun-grauer bis orange-brauner Farbe mit den bereits oben genannten Formen und Verzierungsmotiven und das Fragment eines Gefäßes mit Hohlboden. Zum keramischen Inventar der Grube mit Stellennummer 5016 gehört ferner das Fragment eines charakteristischen Gefäßes der Siedlungsware der römischen Kaiserzeit: es handelt sich um den Rest eines kumpfartigen Gefäßes mit einzelner, abgeplatteter Knubbe auf dem Bauch und mit Besenstrich gerauhtem Unterteil (Abb. 14.11).

Aus dem Komplex stammt außerdem ein rundovales, flaches Bronzeplättchen (ca. $1,3 \times 1,2$ cm bei einer Breite von 0,1 cm; Babel 2002, 50) mit Durchlochung. Das Stück geht in einen 0,8 cm langen, nadelartigen Fortsatz mit rundem Querschnitt über. Möglicherweise handelt es sich um das Fragment einer Gürtelöse, wie sie aus der römischen Kaiserzeit bekannt sind (Geisler 1974, T. 86, 825; Babel 2002, 50).

14.6.3 Grubenkomplex 5003 bzw. 5045

Aus dem südlichen Teil des Grubenkomplexes 5003, der in der Grabungsdokumentation unter der Befundnummer 5045 läuft, stammen die Reste von drei charakteristischen Gefäßen der römischen Kaiserzeit: (1) Zu etwa 50 % erhaltene Schale aus grau-brauner Keramik mit abgesetztem Standboden und halbrunder Randlippe (Höhe 6 cm, Durchmesser des Bodens etwa 4 cm, Mündungsdurchmesser 16 cm; Abb. 14.13). (2) Ein zweigliedriges, kugeliges Gefäß aus orange-brauner bis grau-schwarzer Keramik. Standboden, leicht ausladender Rand mit halbrunder Randlippe. Eine runde Knubbe befand sich vermutlich auf dem Bauchumbruch. (3) Eine Schale aus grau-schwarzer Keramik mit Standboden und gerader Randlippe (ursprüngliche Höhe etwa 10 cm, Durchmesser der Mündung etwa 20 cm; Abb. 14.13).

14.6.4 Siedlungsgruben 5004, 5006, 5013

Es handelt sich um drei im Planum unregelmäßig-oval geformte Befunde mit einem wannenförmigen Profil. Alle drei Gruben erbrachten Beispiele von Feinkeramik der römischen Kaiserzeit in Form von Fragmenten eines Gefäßes aus schwarzer, polierter Keramik mit eingezogenem Rand und nach innen abgestrichener Randlippe. Weiterhin ein ungewöhnlich verziertes Fragment mit vertikalen, dichten Fingerkniffen (Abb. 14.12). Aus der Grube 5013 stammt ein Fragment mit Schrägkanneluren, das in die frühe Völkerwanderungszeit datiert (Abb. 14.11; ein Vergleichsstück aus Butzow findet sich bei Schmidt (1968, Tafel 8, 118)).

14.6.5 Siedlungsgrube 6003

Die annähernd ovale Verfärbung erstreckte sich im Planum auf einer Fläche von ca. 1,70 × 1,30 m. Sie besaß ein kastenförmiges Profil. Im Befund fanden sich mehrere Fragmente eines kugeligen Gefäßes mit Trichterhalsrand aus brauner Keramik (Abb. 14.13). Es trägt ein sehr charakteristisches Ornament aus horizontalen Rillen mit dazwischen liegenden zonalen Motiven aus Ritzlinien in Form von konzentrischen Halbkreisen, wie es auch vom Gräberfeld Garlitz aus der späten römischen Kaiserzeit bekannt ist (Felsberg 1925, Tafel 16). Desweiteren Fragmente eines linsenförmigen Gefäßes mit weiter Mündung aus polierter, schwarzer Keramik mit breiten, flachen Schrägkanneluren über dem Bauchumbruch (Abb. 14.11). Ebenfalls in die späte römische Kaiserzeit (oder in die beginnende Völkerwanderungszeit) datiert das Fragment einer schwarz polierten Schale mit Doppelrille am unteren Rand des Gefäßhalses und schrägen, länglichen Dellen auf der Schulter (Babiel 2002, 47).

Eine dunkelblaue, melonenförmige Perle aus Glas (Maße: 0,8 cm hoch, 2,2 cm Durchmesser, 0,7 cm Lochdurchmesser), offenbar ein Importstück aus dem römischen Reichsgebiet, mit weißem umlaufendem Zickzackornament (Tempelmann-Maczyńska 1985, T.3) stammt aus dem gleichen Befund (Abb. 14.12).

14.6.6 Grubenkomplex 6010

Bei dieser Stelle handelt es sich, analog zu Stelle 5003, um einen weiteren Komplex aus dem Oberhangbereich, der Funde der römischen Kaiserzeit und der Bronzezeit enthielt (s. 14.6.6). In die römische Kaiserzeit datiert ein Fragment eines oberständigen Gefäßes mit scharfem Bauchumbruch und konkavem Unterteil (sog. Terrine).

14.6.7 Siedlungsgrube 7008

Es handelt sich um eine runde Verfärbung (Durchmesser ca. 1,20 m) mit kastenförmigem Profil. Der Befund enthielt keramische Fragmente von vier charakteristischen Gefäßen: (1) Ein dickwandiges Vorratsgefäß aus grau-brauner Keramik; tonnenförmig, mit kurzem, konzentrischem Hals und ausladender, weiter Mündung mit lippenförmig verdickter Randlippe. Die Schulter trägt eine plastische Wulst mit Fingerkuppeneindrücken. Der Körper des Gefäßes ist unterhalb der Wulst schlickgerauht und trägt wirren Besenstrich (Abb. 14.12). (2) Ein relativ dünnwandiges Gefäß aus schwarzer, glatt polierter Keramik (innen wie außen) mit leicht ausladendem Halsrand. Die Randlippe ist schräg nach innen abgestrichen. (3) Weitere Fragmente eines tonnenförmiges Gefäß mit geradem Standboden (Durchmesser ca. 15 cm) und geradem Halsrand mit halbrunder Randlippe aus rot-grauer Keramik. Es trägt eine sehr charakteristische Verzierung mit Motiven aus konzentrischen, eingeritzten Halbkreisen (s. Stelle 6003, Abb. 14.13). Die bei jedem Einzelmotiv gleiche Anzahl der Ritzlinien und ihr

konstanter Abstand deuten daraufhin, dass ein kammähnliches Werkzeug mit neun Zinken zur Verzierung benutzt wurde. (4) Ein kleines, kumpfartiges Gefäß aus brauner Keramik mit gerader Randlippe.

Stelle 101

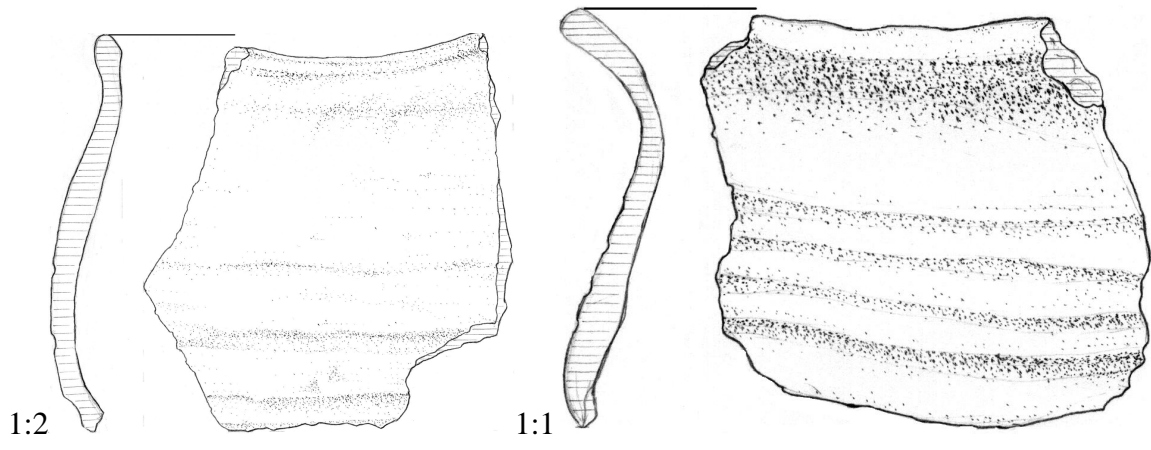
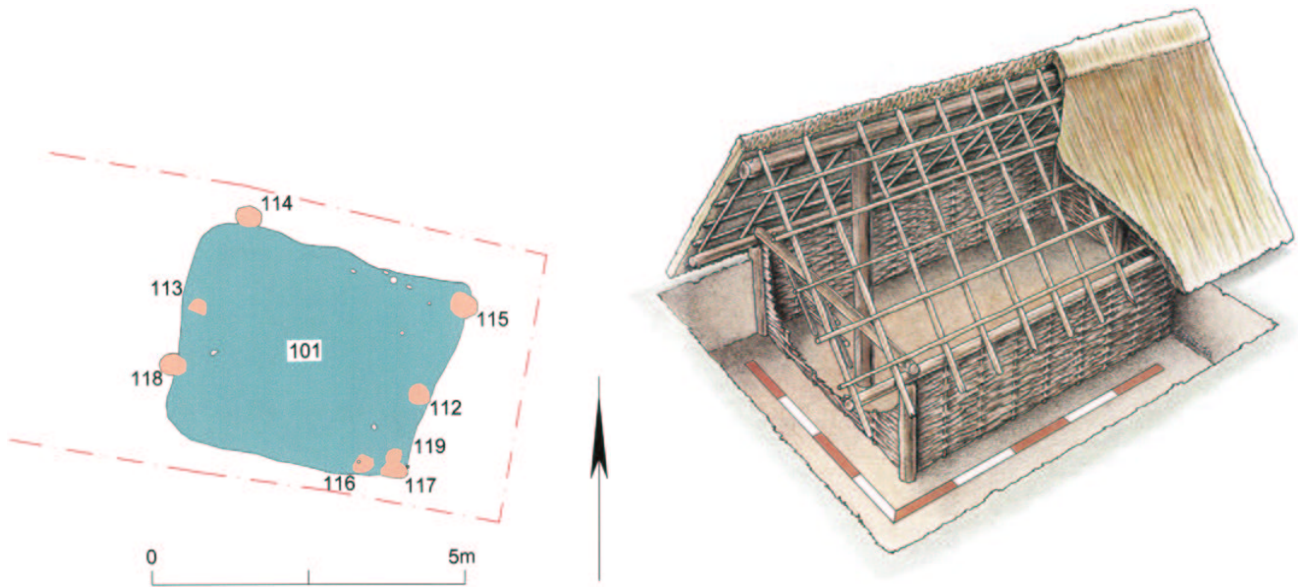


Abb. 14.8 Dyrotz 37: Grubenhaus der römischen Kaiserzeit. Rekonstruktion: BLDAM; Zeichnungen: U. Lieberwirth.

Stelle 101

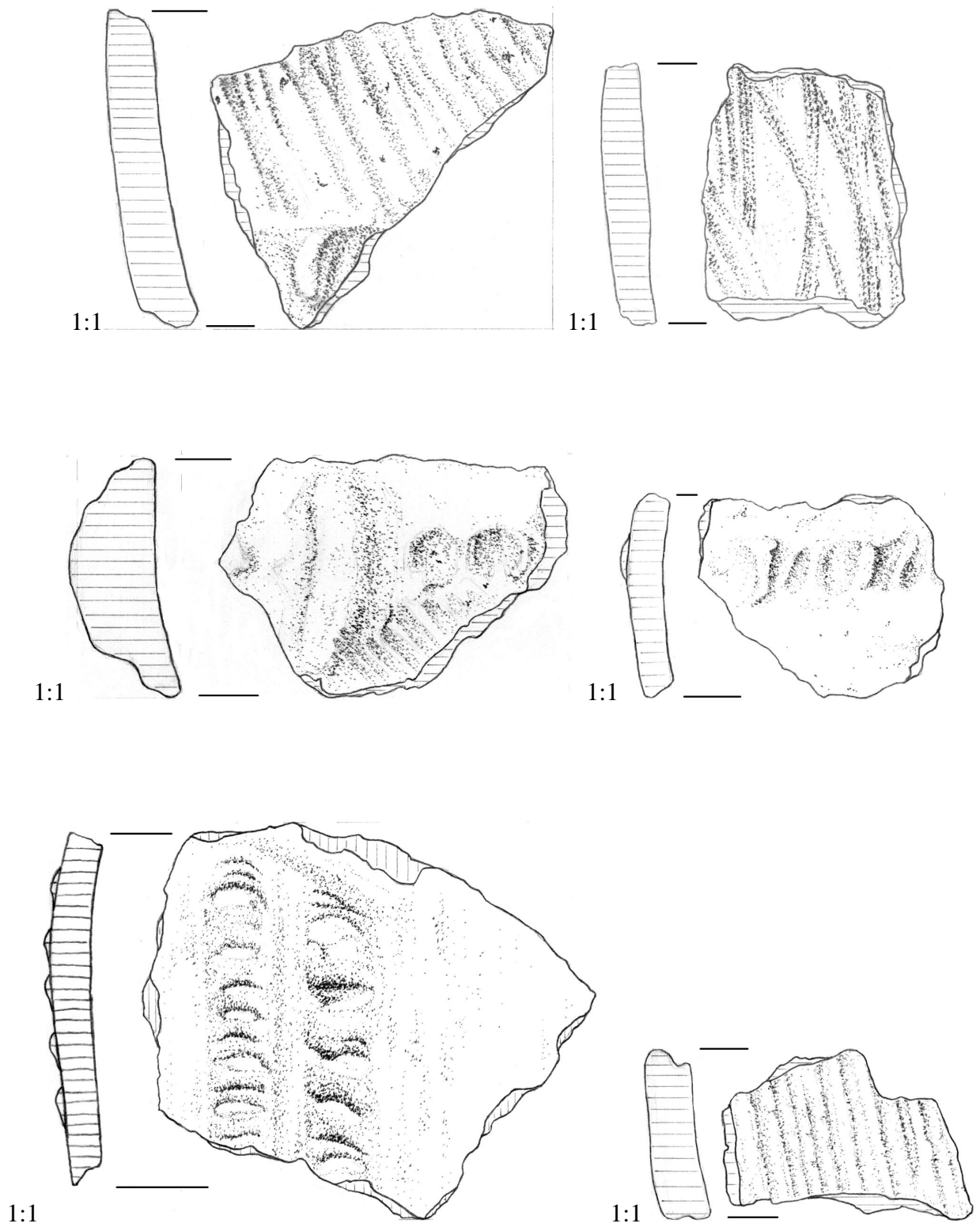


Abb. 14.9 Dyrotz 37: Keramik aus dem Grubenhaus (röm. Kaiserzeit). Zeichnungen: U. Lieberwirth

Stelle 101

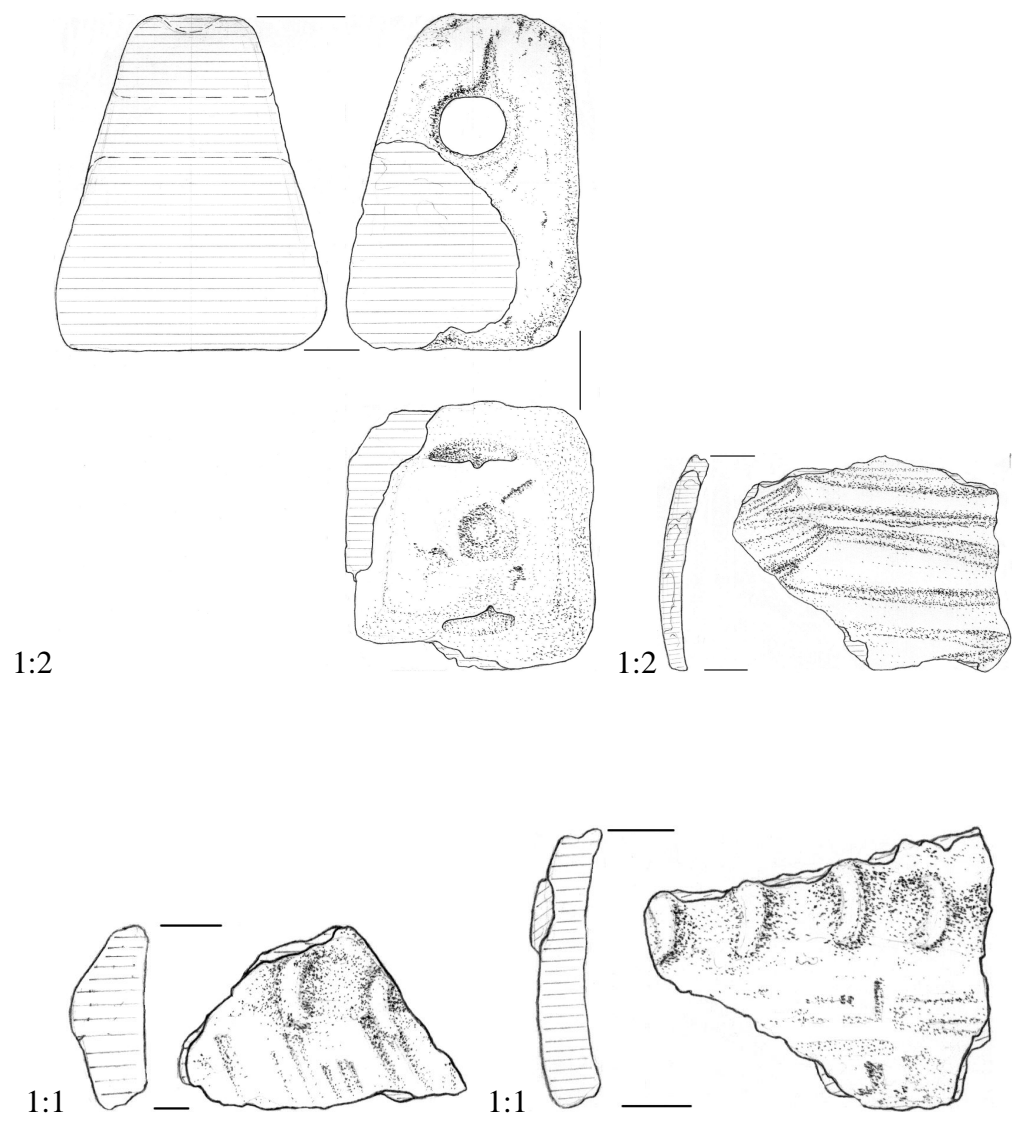
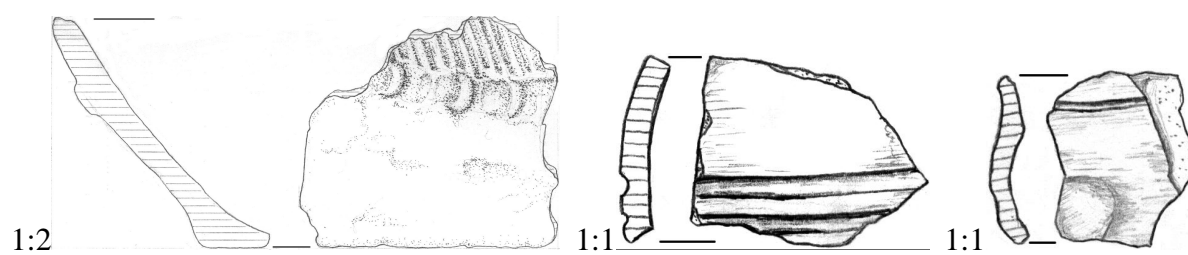


Abb. 14.10 Dyrotz 37: Weitere Keramik aus dem Grubenhaus (röm. Kaiserzeit). Zeichnungen: U. Lieberwirth.

Stelle 100, 5004, 5013



Stelle 5016, 6003

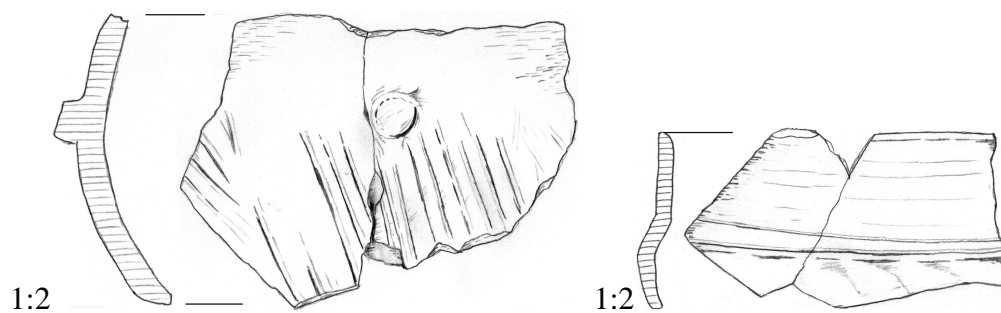
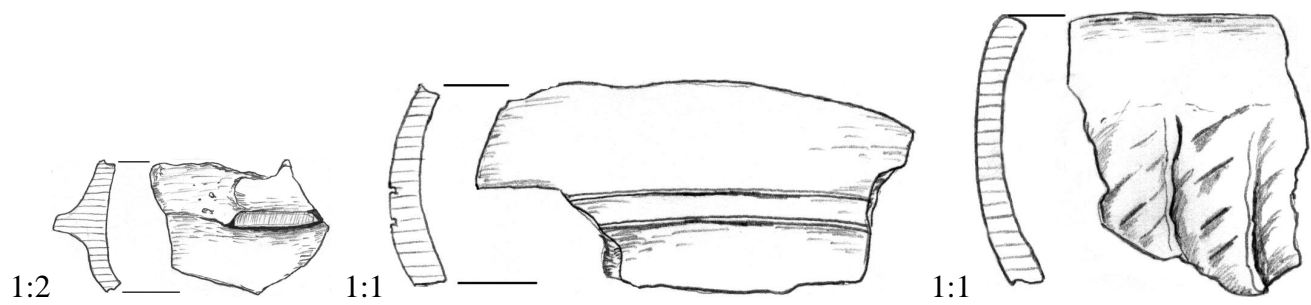
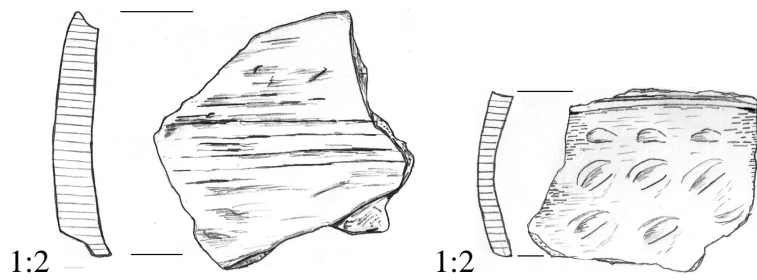


Abb. 14.11 Dyrotz 37: Keramik der römischen Kaiserzeit). Zeichnung für Stelle 100: U. Lieberwirth.

Stelle 5003, 5051 (letzte)



Stelle 7008, 6003 (Perle)

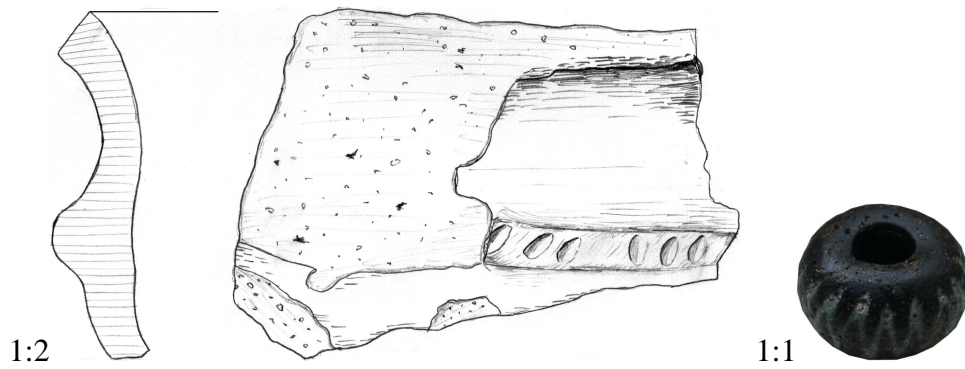
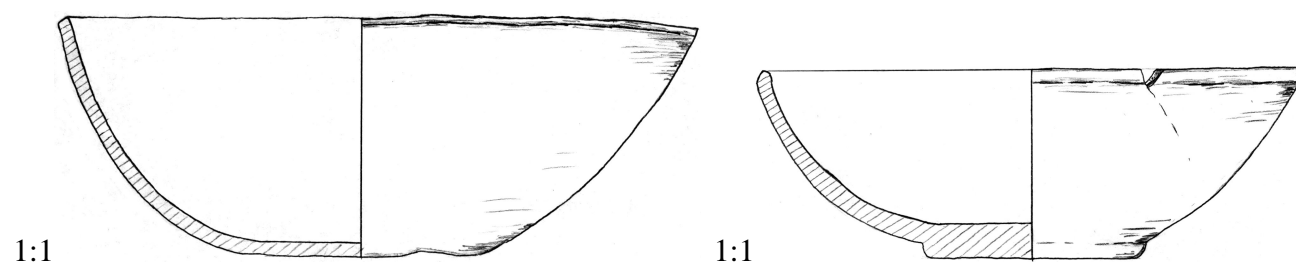


Abb. 14.12 Dyrotz 37: Weitere Funde der römischen Kaiserzeit). Zeichnung für Stelle 100: U. Lieberwirth.

Stelle 5045



Stelle 6003

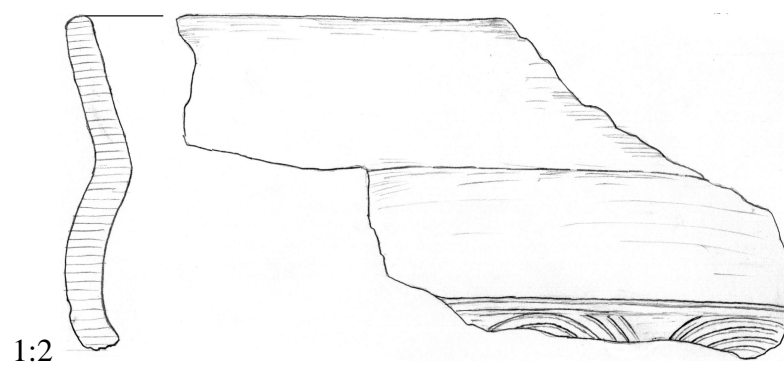


Abb. 14.13 Dyrotz 37: Weitere Keramik der römischen Kaiserzeit).

15 Stratigraphie der Fundstelle Dyrotz 37

„Landschaftsgenetische Analysen liefern detaillierte Informationen zur Entwicklung eines Landschaftsausschnittes. Im Vordergrund sollte eine ausgedehnte Grabung stehen, bevorzugt ein Schnitt, der an einem Hang in Gefällsrichtung von der Wasserscheide zur Tiefenlinie verläuft und eine Catena offenlegt.“ (Bork et al. 1998, 39).

Die als Zeichnungen und Fotografien vorliegende Profildokumentation der Grabung Dyrotz 37 entspricht der Forderung von Bork et al. (1998, 40) nach „besonders ausgedehnte[n] Aufschlüsse[n]“, die „so detailliert wie möglich“ aufzunehmen seien. Tatsächlich erfüllt der großangelegte archäologische Aufschluss allgemein die Anforderungen für eine Nutzung als landschaftsgenetische Quelle im Hinblick auf Lage, Größe und Tiefe besser als die unter Geologen, Pedologen und Palynologen verbreiteten flachen Profile, Bohrungen und Sondagen (Bork 1998, 45). Darüber hinaus lässt die Dokumentation der archäologischen Befunde eine klare Trennung zwischen natürlichen und anthropogen bedingten Befunden zu (Bork 1998, 48).

| Schicht | Genese | mögliche Datierung |
|---------|---|--|
| A | moderner Pflughorizont | modern |
| B | Bodenbildungshorizont über dem jüngsten Kolluvium | Mittelalter bis Neuzeit |
| C | jüngstes Kolluvium | Mittelalter bis Neuzeit |
| D | Bodenbildungshorizont über jüngerem Kolluvium | Völkerwanderungszeit |
| E | jüngeres Kolluvium | vorrömische Eisenzeit bis Völkerwanderungszeit |
| F | Bodenbildungshorizont über älterem Kolluvium | Neolithikum bis Bronzezeit |
| G | älteres Kolluvium | Neolithikum |
| H | anstehendes Sediment | Weichselkaltzeit |
| I1-I4 | Torfschichten | Holozän |

Tab. 15.1 Bodenhorizonte in der Stratigraphie der Fundstelle Dyrotz 37.

Die Stratigraphie der Fundstelle (Beilage 2) wurde über drei von West nach Ost verlaufende Profile P1 bis P3 erschlossen, deren Verlauf im Übersichtsplan der Grabung mit blauen, gestrichelten Linien gekennzeichnet ist (s. Beilage 1). Es handelt sich dabei im wesentlichen um Ergänzungen der Grabungsschnitte 100, 200 und 300 aus der Voruntersuchung, welche die am vollständigsten und einheitlichsten dokumentierten Abschnitte der Grabung darstellen. Entlang der gedachten Linien wurden

die Profile aller dokumentierten Befunde digitalisiert und zu einem Gesamtprofil zusammengefügt. Dabei blieben Teilstrecken offen, die von der Grabungsdokumentation nicht abgedeckt werden. An diesen Stellen musste der Verlauf der Bodenhorizonte geschätzt werden (gestrichelte Linien).

Das Relief der Grabungsfläche fällt von Osten nach Westen auf einer Strecke von 190 Metern um acht Höhenmeter von 38 auf 30 m HN ab (s. Beilage 1). Die Ausgrabungsfläche lässt sich topographisch von Ost nach West in vier Bereiche gliedern. Die Ober- und Mittelhangbereiche umfassen den von Erosion betroffenen Reliefabschnitt. Der Mittelhangbereich endet ca. zwischen der 33 und der 32 m Isohypse. Der Niederungsbereich mit seinen Torfschichten ist nur im nördlichsten Profilschnitt P1 erfasst. Die Mittel- und Oberhangbereiche werden vom südlichsten Gesamtprofil aufgeschlossen (P3). Unvollständige Aufnahmen in der Grabungsdokumentation lassen den Verlauf des ältesten Kolluviums (Bodenhorizont G, s.u.) hier leider nur erahnen. Die Voraussetzungen zum Nachweis eines Erosionsereignisses bei ackerbaulich genutzter Fläche sind laut Schatz 2000, 5-6:

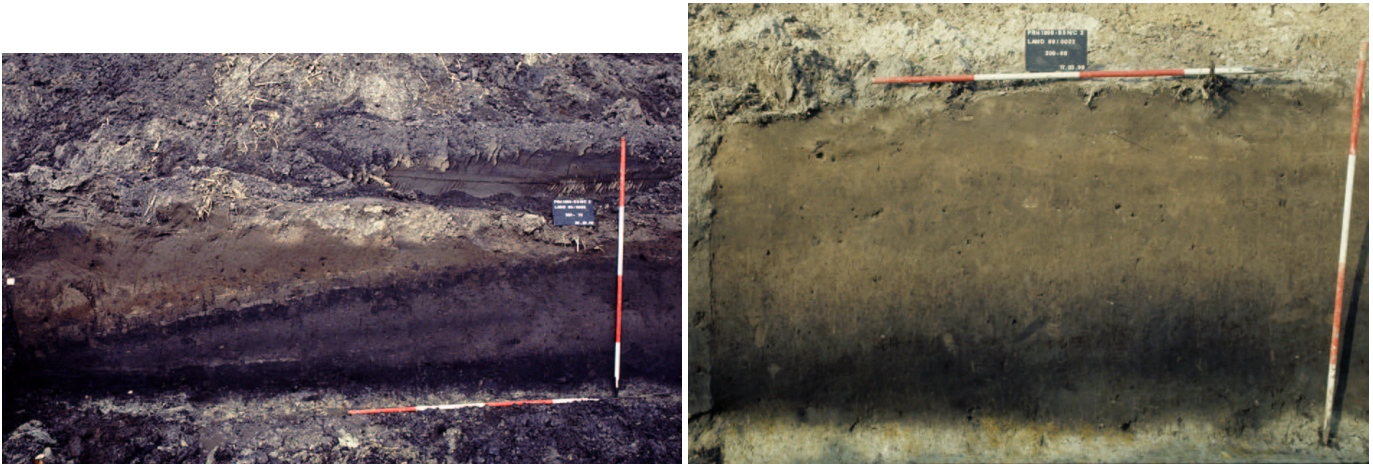
1. Es muss sich um ein starkes Erosionsereignis handeln, d.h. das Kolluvium muss mächtiger sein als die Bearbeitungstiefe.
2. Das Substrat des im Einzugsgebiet abgetragenen Materials muss heterogen genug sein, um eine Differenzierung zu erlauben.

Demnach stellt sich die stratigraphische Situation der Fundstelle Dyrotz 37, Vom untersten zum obersten Bodenhorizont und vom Hangfuß zum Oberhangbereich betrachtet, folgendermaßen dar (in Klammern die Bezeichnungen der Bodenhorizonte gemäß Beilage 2 und Tabelle 15.1):

Niederung Am Hangfuß besteht das anstehende Sediment (Bodenhorizont H) aus einem sandigen Lehm grünlicher bis hellgrauer Färbung. Darüber lagert ein Paket aus mehreren Torfschichten von insgesamt 1,5 m (Horizonte I1-I4). Die älteste Torfschicht, I4, läuft am weitesten westlich aus. Die später gebildeten Torfpakete werden mächtiger und wachsen weiter den Hang hinauf. Im Unterhangbereich von Profil 1 (s. Beilage 2) ist ein in I3 und bis in das anstehende Sediment (H) eingetiefter Pfosten zu erkennen. Dieser gehört zur bronzezeitlichen Holzwandkonstruktion (s. 14.4.4 auf Seite 93), deren vorgelagerter Graben weiter westlich leider nicht mehr im Profil erfasst wurde. Daraus ergibt sich eine Datierung der Torfschichten I4 und I3 noch vor den Bau der Holzwandkonstruktion. Das folgende, mächtige Torfpaket I2 verfüllt die Reste der Konstruktion (s. auch Bemerkungen zu Stelle 9038 in weiter unten in diesem Abschnitt).

Über dem Torfpaket befinden sich die insgesamt noch bis zu 0,7 m mächtigen Ausläufer der kolluvialen Sequenz aus tonigem bis lehmigem Schluff (Horizonte E, D, C). Darüber liegt ein bis zu 0,4 m mächtiger Bodenbildungshorizont aus humosem, schluffigem Feinsand (B), der vom rezenten Ackerhumus (A) überlagert wird. Der Übergangsbereich zwischen Hangfuß und

Mittelhangbereich ist in den Grabungsunterlagen leider nur unzureichend dokumentiert. Insbesondere Aussagen über die Sequenz aus Kolluvien und Bodenbildungshorizonten (E-B) und deren stratigraphisches Verhältnis zum Torfschichtpaket müssen so unpräzise bleiben.



Tab. 15.2 Dyrotz 37: stratigraphische Situation. die Fotos zeigen den westlichsten Abschnitt (links) sowie Meter 9-12 (rechts) von Profil 2 (Blick nach Norden; s. Beilage 2).

Unterhang Hangaufwärts schließt sich der von Kolluvien überdeckte Unterhangbereich an (Abb. 15.2). Die Grenze zwischen dem untersten Bodenhorizont, dem anstehenden Substrat (H) und dem Verbraunungshorizont, der die erste holozäne, noch nicht anthropogen beeinflusste Bodenbildung darstellt, ist fließend und in den Grabungsprofilen nur unzureichend dokumentiert, weshalb dieser Horizont mit dem anstehenden Substrat zusammen als Bodenhorizont H ausgewiesen wird. Darüber lagert eine Sequenz aus drei Kolluvien (G, E, C) und dazwischen liegenden Bodenbildungshorizonten (F, D, B), die zusammen eine Mächtigkeit von bis zu 1,3 m erreichen. Es handelt es sich um ein älteres (G), jüngeres (E) und ein jüngstes (C) Kolluvium, die jeweils von einem Bodenbildungshorizont aus schwach humosem, schluffigem Sand überlagert werden. Das ältere Kolluvium besteht aus schwach humosem, schluffigem Feinsand, die beiden anderen aus lehmigem Feinsand. Direkt über dem jüngsten Kolluvium lagert der rezente Ackerhumus (A). Der Unterhang reicht etwa bis zur 31 m Isohypse.

Ober- und Mittelhang Im anschließenden Ober- und Mittelhangbereich befinden sich die Reste des Verbraunungshorizontes und Geschiebemergel (leicht lehmiger Sand bis sandiger Lehm, teilweise mit Kieselanteil) als anstehendes Sediment (Bodenhorizont H) unmittelbar unter dem rezenten Ackerhorizont (A).

Die Datierung der Kolluvien erwies sich als schwierig, da im Profil dokumentierte, datierbare Befunde aus dem Akkumulationsbereich in den Unterlagen kaum vorhanden sind (eine Ausnahme ist

ein Schnitt durch den der bronzezeitlichen Holzwand vorgelagerten Graben an Stelle 9038, s.u.). Die datierbaren Befunde befanden sich zumeist im erodierten, oberen Hangbereich (kaiserzeitliches Grubenhaus, bronzezeitliche Gruben, Baalberger Keramik). Prähistorische Funde in den Kolluvien besitzen den Wert von Leitfossilien. Bei der chronologischen Verknüpfung mit den eigentlich interessierenden Siedlungsbefunden ist zu beachten, dass die Kolluvien auch durch umgelagertes, älteres Material fehldatiert werden können. Zur Datierung darf also nur das zeitlich jüngste Material herangezogen werden (Ložek 1996, 47). Die Funde aus den drei großen Schnitten der Voruntersuchung wurden unglücklicherweise nicht stratigraphisch getrennt, so dass eine Zuordnung zu einem der Kolluvien im nachhinein nicht mehr möglich war. Lediglich die Stellen 4012 und 4013 erbrachten direkt aus einem Kolluvium stammendes Material. Da aber keine zeichnerische und photographische Dokumentation dieser Stellen vorgenommen wurde, lässt sich nur aus den Notizen im Grabungstagebuch und der ungefähr bekannten Lage der Stellen (in der Nähe der Stellen 4001-4010) auf der Grabungsfläche schließen, dass die Funde mit dem dort auslaufenden Kolluvium E in Zusammenhang stehen. Da die vom akkumulierten Sediment an dieser Stelle überdeckten Gefäße typologisch in die vorrömische Eisenzeit datieren, ergibt sich eine Datierung des Kolluviums E in den folgenden Zeitraum. Nach den archäologischen Befunden wäre eine Datierung der mächtigen Struktur in die späte römische Kaiserzeit, einen Zeitabschnitt mit erhöhter Siedlungsaktivität und Landesausbau im Havelland (Leube 1995), denkbar. Dazu würde auch der ausgeprägte Bodenbildungshorizont D oberhalb des Kolluviums passen, der mit dem weiträumigen Siedlungsabbruch in der folgenden Völkerwanderungszeit in Verbindung gebracht werden könnte.

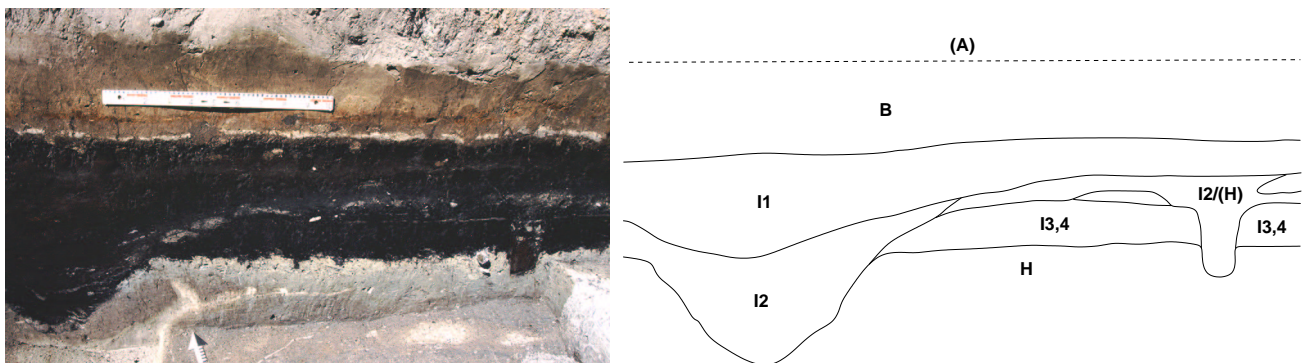


Abb. 15.1 Dyrotz 37: Profilschnitt durch die bronzezeitliche Holzwandkonstruktion. Die Bezeichnung der Bodenhorizonte im Schema rechts entspricht Beilage 2 und Tabelle 15.1.

Als noch schwieriger erweist sich die Datierung des ältesten Kolluviums G, die nur aufgrund relativ-stratigraphischer Schlussfolgerungen vorgenommen werden kann. Aufgrund der im archäologischen Material nachweisbaren Siedlungsphasen kommen eine Datierung in die jüngere Bronzezeit oder eine der neolithischen Besiedlungsphasen in Betracht.

Einen Hinweis gibt ein am nördlichen Ende von Stelle 9038 vorgenommene Schnitt durch den Graben der bronzezeitlichen Holzwandkonstruktion (Abb. 15.1), der sich mit dem nördlichsten Gesamtprofil P1 (Beilage 2, oben) in Verbindung bringen lässt. Unglücklicherweise wurde der Graben nicht im Profil der Schnitte der Voruntersuchung dokumentiert. Ebenso wenig wurden die Torfschichten in der westlichen Verlängerung der Hauptuntersuchung (Schnitte 600, 500 und 800) bis zum anstehenden Sediment verfolgt. Nach den zur Verfügung stehenden Informationen schneidet der Graben der Konstruktion in ein direkt über dem anstehenden Boden liegendes Paket von Torfschichten (I4 und I3, Mächtigkeit ca. 40 cm) und bis in das anstehende Substrat (H) ein. Das dabei ausgehobene Substrat wurde östlich neben dem Graben deponiert (erkennbar als helle, grobkörnige Schicht), vielleicht in Form eines Walles aufgehäuft. Der Graben wird von einer weiteren, 20-60 cm mächtigen Torfschicht (I2) verfüllt. Weiter östlich findet sich eine Pfostengrube der eigentlichen Wandkonstruktion. Nach dem Verfall der Konstruktion wurde das Pfostenloch von oben mit dem Substrat aus dem Graben verfüllt. Darüber lagert wieder die Torfschicht I2. Im Gesamtprofil P1 ist zu erkennen, dass das älteste Kolluvium G von den Ausläufern der untersten Torfschichten (I4 und I3) überdeckt wird. Da diese beim Eintiefen des Grabens bereits bestanden haben, muss dieses älteste Kolluvium offensichtlich vor die Anlage der Holzwand datieren. Die Mächtigkeit der vom Graben geschnittenen Torfschichten lässt darauf schließen, dass zwischen der Entstehung von Kolluvium G und dem Anlegen des Grabens ein größerer Zeitraum liegt. Es ist also möglich, die Entstehung von Kolluvium G bereits in der ersten nachgewiesenen Siedlungsphase, im Frühneolithikum, anzusetzen. Die erwähnten Mängel in der Grabungsdokumentation lassen aber eine endgültige Schlussfolgerung nicht zu. Zusammenfassend können die Kolluvien E (das für die gute Erhaltung der Befunde im Unterhangbereich verantwortlich zeichnet) und G somit immerhin als gesichert prähistorisch gelten. Kolluvium C, welches durch rezente Erosion v.a. im südlichen Hangbereich stark gekappt ist, könnte ebensogut mittelalterlicher oder neuzeitlicher Entstehung sein.

Teil IV

Auswertungsteil

Geomorphologie und archäologische Fundstellen im Havelland

Im vorigen Teil der Arbeit wurden bereits zahlreiche Aspekte berührt, welche die Aussagefähigkeit des USPED-basierten Modells betreffen. Im abschließenden Teil der Arbeit sollen diese noch einmal systematisch diskutiert werden. Dabei wird auch auf die konkrete Bedeutung der bislang gemachten Beobachtungen für die Feldforschung bzw. Bodendenkmalpflege eingegangen.

16 Zur Aussagefähigkeit des Modells

Grundlage der Quantifizierungen der Erosionsfaktoren sind Informationen aus modernen Kartenwerken. Diese sind zum Teil auf die Vergangenheit bis ans Ende der letzten natürlichen geomorphologischen Aktivitätsphase (Weichsel-Kaltzeit) übertragbar, wie etwa die grundlegende Topographie und die grobe räumliche Verteilung der Bodensubstrate. Zum Teil ist die Übertragbarkeit aber auch nur bis zu einem bestimmten Punkt oder gar nicht gegeben, wie im Falle der Variablen Bodennutzung, Vegetation und Wetter. So dürfte die Nutzung der Landschaft im Untersuchungsgebiet nach den prozentualen Anteilen von Acker- Wald- und Wiesenflächen seit dem Mittelalter in etwa vergleichbar gewesen sein (s. Abschnitt 6.2 auf Seite 28). Über die Vergleichbarkeit anderer Parameter, wie der Niederschlagsintensitäten, kann hingegen keine Aussage gemacht werden. Die Abbildung 16.1 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus dem Testgebiet 2 (Havelland) mit den Ergebnissen der Erosionsmodellierung im unmittelbaren Umfeld der Grabung Dyrotz 37. Deutlich erkennbar ist der Bereich der Akkumulation im westlichen Drittel der Grabungsfläche. Noch weiter westlich schließt sich der plane Bereich der Niederung an, der von anderen, torfbildenden Prozessen dominiert wird.

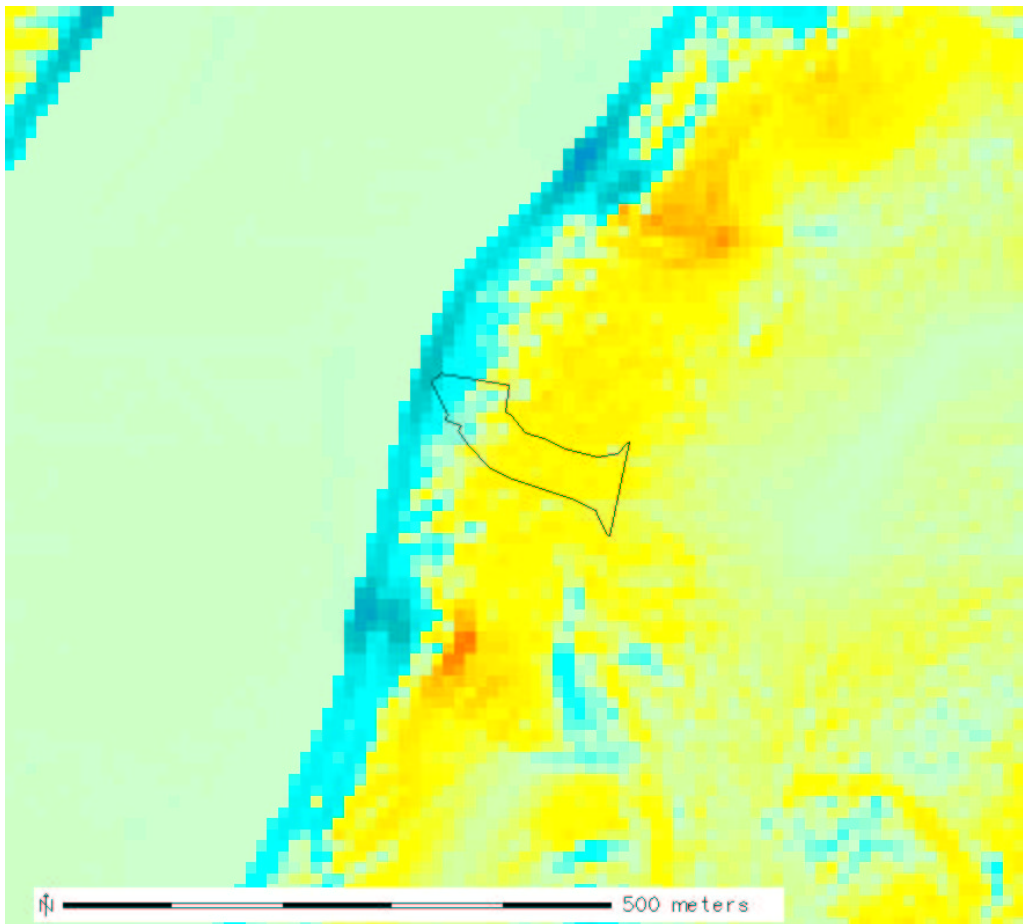


Abb. 16.1 Dyrotz 37: Ergebnisse des USPED-basierten Erosionsmodells. Modellwerte im Umfeld der Grabung Dyrotz 37 (rot=Erosion, blau=Akkumulation).

Die vom Modell vorhergesagte Ausdehnung der Kolluvien entspricht im Rahmen der Genauigkeit (10 m Auflösung) exakt den Befunden der Ausgrabung. Die auf der modernen Oberfläche berechneten Prozesse sind also offenbar auch geeignet, prähistorische Erosions- und Akkumulationsverhältnisse zu modellieren, obwohl die prähistorische Oberfläche nicht in das Modell einging. Diese Beobachtung bekräftigt die im Einführungsteil dieser Arbeit aufgestellten Annahmen zur zeitlichen und räumlichen Kontinuität der modellierten Prozesse (s. Abschnitt 3 auf Seite 15). Der Grund hierfür liegt darin, dass sich die geometrischen Eigenschaften des Geländes großmaßstäbig nicht geändert haben. Konvexe Abschnitte blieben über die Zeit konvex, konkave konkav. Anthropogene Umgestaltungen auf kleinem Maßstab wurden wieder ausgeglichen. Auch Jäger (1996, 30), sieht im Faktor Relief eine im wesentlichen bis zurück ins Neolithikum unveränderliche Konstante.

Ähnliche Aussagen gelten für die Quantifizierung des R-Faktors mit Hilfe moderner Bodenschätzungskarten. Bei dem Substrat handelt es sich schließlich um das Ausgangsmaterial der bodenbildenden Prozesse, das in seiner Entstehung und spezifische Beschaffenheit auf langfristig wirksame, geologische Ursachen zurückzuführen ist (Jäger 1996, 30). Jäger (1996, 30 f.) urteilt hierzu eindeu-

tig: “Da es sich aber bei dem Bodensubstrat um einen Teil der gesteinsabhängigen und somit schwer veränderlichen, relativ stabilen Merkmale naturräumlicher Ausstattung handelt, dürfen im Regelfall auch die gegenwärtigen Verhältnisse unbedenklich auf das Neolithikum zurückprojiziert werden, was besagt zugleich besagt, dass auch zur Ermittlung der Bodenartenverteilung im Neolithikum moderne geologische Karten (einschließlich großmaßstäbiger Spezialkarten) in der Regel aussagefähig und für die meisten Flächen überdies zuverlässig sind“.

Dies gilt nicht für die übrigen in das Modell eingehenden Faktoren. Damit existieren Unsicherheiten, die aber im Rahmen des Untersuchungsmaßstabes und -zieles nicht so stark ins Gewicht fallen, dass sie die Ergebnisse des Modells grundsätzlich in Frage stellen könnten. Im Rahmen eines empirisch-deterministischen Ansatzes besteht auch gar keine Alternative zu diesem Vorgehen, da zeitlich differenzierte und präzise quantifizierte Rekonstruktionen der ökologischen, geologischen und klimatischen Parameter in der benötigten Qualität nicht existieren.

Die räumliche Begrenzung der Aussagekraft des Modells definiert sich durch die Beschränkungen des zugrundeliegenden geomorphologischen Modells. Die weiteren Jungmoränenlandschaften Brandenburgs liegen noch innerhalb der Reichweite des Modells. Für eine Übertragung in die benachbarten Altmoränen- und Mittelgebirgszonen müssen vermutlich weitere Aspekte

17 Bodenerosion und archäologische Landschaften

Die Stärke der Bodenerosion ist ein direkter Indikator für das Ausmaß der landwirtschaftlichen Nutzung. Ein quantitativer Vergleich zahlreicher datierbarer Kolluvien würde eine direkte Vergleichsmöglichkeit für die Unterschiede in der Intensität neolithischer, bronzezeitlicher und späterer Siedlungsperioden liefern.

Wie bereits im Einleitungsteil dieser Arbeit erwähnt, wird nur ein Bruchteil der archäologischen Fundstellen einer Landschaft an der Oberfläche sichtbar. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in der Tatsache, dass sich die Mehrzahl der Fundstellen in den für Siedlungen attraktiven Bereichen entlang der Flußtäler und Seeufer konzentriert (Abb. 17.1), welche in vielen Fällen deckungsgleich mit den Zonen der stärksten Akkumulationsprozesse sind. Damit liegt ein großer Teil der erhaltenen Fundstellen innerhalb eines Bereiches, der die schlechteste denkbare Sichtbarkeit aufweist. Folgerichtig liegen die meisten – runde 83% – der im Testgebiet 2 (Havelland) bisher entdeckten Fundstellen in Zonen, die nicht von Akkumulation betroffen sind (Abb. 17.2). Dies gilt auch für die Fundstelle Dyrotz 37, deren gut erhaltene Befunde sich bei der oberflächlichen Prospektion nicht bemerkbar gemacht hatten. Wäre die Oberflächenprospektion auf den Akkumulationsbereich beschränkt geblieben, dann wäre die Fundstelle wohl gänzlich unentdeckt geblieben. Für die Fundstellenkartierung bedeutet dies konkret: Eine Fläche, die in einem ansonsten siedlungsgünstigen Bereich liegt, soll-

te als verdächtig eingeschätzt werden, auch wenn keine Oberflächenfunde bekannt sind, wenn sie sich in einem Akkumulationsbereich befindet. Günstig wäre in einem solchen Bereich jedenfalls eine intrusive Prospektion z.B. mit kleineren Sondagen.

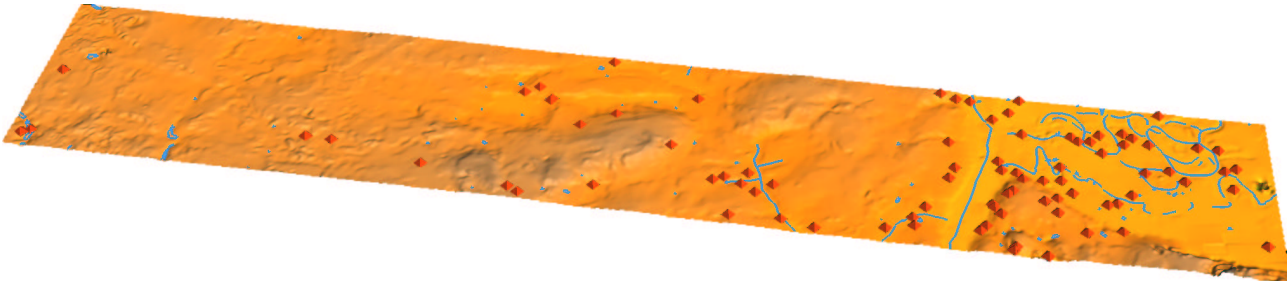


Abb. 17.1 Testgebiet 2 (Havelland): Verteilung der archäologischen Fundstellen. Die 704 erfassten Fundmeldungen beziehen sich auf 90 räumlich getrennte, meist mehrphasige Fundplätze. Deutlich erkennbar ist die Häufung der Fundstellen entlang des (rekonstruierten) Gewässernetzes (Rekonstruktion: Ch. Matthes; Quelle der Fundplatzdaten: Datenbank Projekt Archäoprognose Brandenburg, Stand August 2002. Blick nach Norden. Geländemodell 5-fach überhöht).

Will man das archäologische Potential einer Landschaft richtig einschätzen, muss man deren geomorphologische Eigenschaften berücksichtigen. Dazu genügt es nicht, lediglich die Situation am Fundplatz selbst zu betrachten. Erst der Blick ins weitere Umfeld der Fundstellen unter Heranziehung einer geomorphologisch präzisen Kartierung lässt erkennen, in welchen Zusammenhang diese eingebettet sind. Das ausgedehnte Niederungsgebiet der Wublitzrinne mit den zahlreichen Akkumulationszonen auf in den Unterhangsbereichen lässt erahnen, welche archäologischen Reichtümer dort noch verborgen liegen (May 2000, 200).

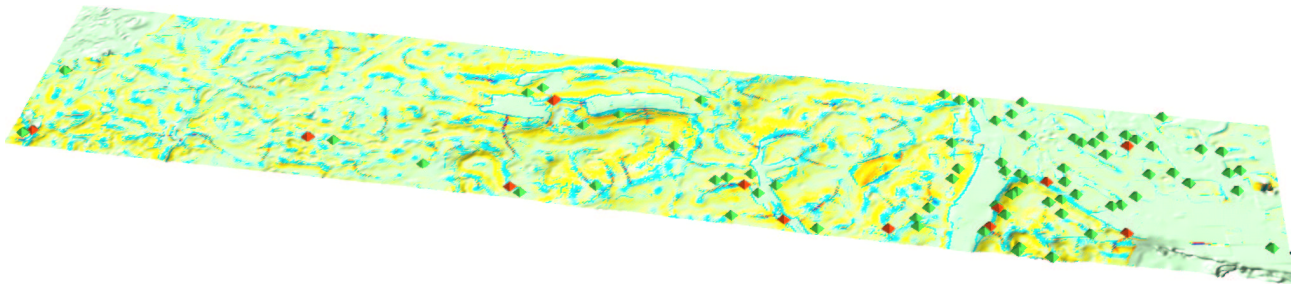


Abb. 17.2 Testgebiet 2 (Havelland): Beziehung von Fundpunkten und Geomorphologie. Die Abbildung zeigt die Verteilung der archäologischen Fundstellen im Testgebiet 2 (Havelland) auf die Zonen von Akkumulation (rote Pyramiden) und Erosion (grüne Pyramiden). Blick nach Norden. Geländemodell 5-fach überhöht

18 Bodenerosion und archäologische Fundstellen

Wie am Beispiel der Grabung Dyrotz 37 gezeigt werden konnte, spiegeln sich die verschiedenen Besiedlungsphasen einer Fundstelle in der stratigraphischen Abfolge von Bodenbildungshorizonten und Kolluvien, welche sich in den von Akkumulation betroffenen Abschnitten am Unterhang am vollständigsten erhalten haben. In der Stratigraphie des Fundplatzes sind die Kolluvien C, E und G deutlich zu erkennen. Am mächtigsten ist Kolluvium E, das sich auch am weitesten den Hang hinauf erstreckt (s. Beilage 2). Darüber liegen Bodenbildungshorizonte, deren Mächtigkeit darauf hinweist, dass der Platz und seine weitere Umgebung mehrmals über längere Zeiträume unbesiedelt waren (Holliday 1992, 103). Die Akkumulationsstärke im unmittelbaren Umfeld der Grabung nimmt dem Erosionsmodell zufolge nach Süden hin etwas ab, was sich auch in der Fundstellenstratigraphie in Form von verkürzten Kolluvien in den südlicheren Profilen P2 und P3 zeigt (s. Beilage 2).

Erosion und Akkumulation haben auch auf dem kleineren Maßstab der archäologischen Ausgrabung wichtige Auswirkungen. Diese betreffen zunächst einmal die Planungsphase der Grabung, in welcher Ressourcen (Zeit, Geld, Arbeitskräfte) und technische Hilfsmittel in angemessener Form und Umfang zugeteilt werden müssen. Da archäologische Ausgrabungen – in Brandenburg wie auch anderen Bundesländern – zumeist in Form von Rettungsgrabungen an Bauvorhaben gekoppelt sind, sind die Korrekturmöglichkeiten im Falle einer Fehleinschätzung und zu gering allozierten Ressourcen gering. Am Fundplatz Dyrotz 37 äußerte sich dies vor allem in einer unvollständigen Dokumentation der Stratigraphie, stratigraphisch nicht zugeordneten Funden und – bedingt durch den Einsatz von sehr vielen Arbeitskräften auf kleinem Raum und innerhalb kurzer Zeit – allgemein starken Schwankungen in der Qualität der Dokumentation (Babiel 2002, 4).

Weitere Auswirkungen betreffen die archäologischen Befunde selbst und sind direkt mit Aspekten der Befunderhaltung verbunden. Im Unterhangbereich sind die Befunde am besten erhalten und die

stratigraphische Sequenz am vollständigsten. Im Oberhangbereich wurden evtl. vorhandene Bodenbildungshorizonte durch Erosion u. U. ganz abgetragen. Hier ist die stratigraphische Sequenz nicht mehr vollständig, was zur Folge hat, dass sich die Befunde im Extremfall direkt unter dem modernen Ackerhorizont befinden – ihre ursprüngliche Oberkante ist verloren. Die dadurch entstandenen, quasi gekappten, Befundoberkanten sind höhenmäßig nivelliert. Im erodierten Bereich befinden sich die Oberkanten von Befunden unterschiedlicher Zeitstellungen auf dem gleichen Höhenniveau, was Schlussfolgerungen zur Zeitstellung der Befunde erschwert (so z.B. Grubenkomplexe 5003 und 6010 von Dyrotz 37).

Auf dem Fundplatz Dyrotz 37 sind zudem nur die Ausläufer des Siedlungsplatzes am Hangfuß von der Akkumulation betroffen. Die große Mehrzahl der gut dokumentierten Befunde, welche die Standorte von Siedlungsgruben repräsentieren, finden sich im Oberhangbereich. Folgerichtig stammt der Großteil des datierbaren Materials aus der Sohle von erodierten Befunden und kann nicht für die Datierung der im unteren Hangbereich erhaltenen Bodenhorizonte herangezogen werden. Aufgrund der geschilderten Schwierigkeiten ergeben sich für zukünftige Untersuchungen zur prähistorischen Bodenerosion oder damit verwandten Fragestellungen einige spezifische Anforderungen an die Dokumentation und Konzeption der Grabung:

- Kolluvien sind in der Regel vor Ort in der Stratigraphie gut zu erkennen. Deshalb sollten sie auch durchgängig benannt und auf allen Befunddokumentationen in gleicher Weise vermerkt werden. Ist dies nicht der Fall, so kostet es später unnötigen Zeitaufwand, die von jedem Zeichner nach subjektivem Empfinden verfassten Beschreibungen zusammen zu passen. Im Fall der Grabung Dyrotz 37 waren sich die Zeichner, die über ein sehr unterschiedliches Ausbildungsniveau verfügten, nicht einmal über die Beschreibung von Konsistenz und Farbe des modernen Ackerhorizontes einig, obwohl dieser eine über die gesamte Fläche homogenisierte Schicht darstellte.
- Problematisch ist in diesem Zusammenhang die auf unter hohem Zeitdruck ablaufenden Rettungsgrabungen oft durchgeführte Öffnung von großen Flächen und anschließende Einzeldokumentation der Befunde. Dabei werden außer der modernen Oberfläche meist auch noch Reste der antiken Horizonte zerstört und es kommt zu einer Zersplitterung des stratigraphischen Gesamtbefundes der nur mit der Anlage vollständiger Profilstege über die gesamte Fläche, also inklusive der befundfreien Zonen, entgegengewirkt werden kann. Da dies meist aus Zeitgründen unterbleibt, entstehen zahlreiche „frei schwebende“ Teilprofile, deren Einhängung in eine Gesamtstratigraphie zeitaufwendig und kompliziert ist. Diese Situation wird noch verschärft, wenn die moderne Oberfläche, ohne vorher wenigstens eine grobe Vermessung durchzuführen, vollständig entfernt wird und somit der wichtigste absolute Anknüpfungspunkt für die Teilprofile verloren geht.

- Besondere Sorgfalt hinsichtlich der stratigraphischen Trennung sollte beim Bergen der Artefakte aus Befunden im Akkumulationsbereich angewendet werden. Um eine Zuordnung zu einem Bodenhorizont zu ermöglichen, sollten auch Funde, die direkt aus den Profilen stammen, stratigraphisch getrennt geborgen werden.
- Die direktesten Möglichkeiten zur Datierung der Bodenhorizonte bieten organische Reste, deren Alter z.B. mittels ^{14}C -Datierung absolut bestimmt werden kann und Artefakte, deren Alter stilistisch eingegrenzt werden kann (z.B. charakteristisch geformte und verzierte Keramik). Insofern keramische Artefakte eindeutig aus einem bestimmten, zu datierenden Bodenhorizont stammen, können diese mittels Thermolumineszenz-Datierung oder einem der zahlreichen verwandten Verfahren bestimmt werden. Die letzte, ungenaueste Möglichkeit bietet die direkte Datierung der Sedimente (Bork 1998).

Je besser die Befunderhaltung, desto höher ist auch die stratigraphische Differenzierbarkeit, weshalb sich gerade chronologische Schlussfolgerungen häufig auf solche Befunde stützen, die aus den Akkumulationsbereichen am Hangfuß stammen. Da dieser aber aufgrund seiner topographischen Eigenschaften eigentlich weniger für eine Bebauung geeignet ist, muss davon ausgegangen werden, dass sich der eigentliche Siedlungsbereich prähistorischer Fundstellen hangaufwärts, im Einzugsbereich der Bodenerosionsprozesse befindet. Auch die Befundverteilung auf der Grabung Dyrotz 37 deutet ein solches Muster an. Damit liegen die aussagefähigsten Befunde außerhalb der Flächen, über die Aussagen zu treffen sind (Preuß 1996, 26; Ložek 1996, 47) und man muss sich die Frage stellen, mit welchen Einschränkungen die Extrapolation von im Akkumulationsbereich gemachten stratigraphischen Beobachtungen auf die Situation um Erosionsbereich verbunden ist.

19 Weitere Möglichkeiten

Nach Ausreizung der Möglichkeiten, die ein USPED-basiertes Modell für archäologische Anwendungen bietet, bleiben einige wesentliche Aspekte offen, deren Bearbeitung zu einer Verbesserung der Aussagekraft des Erosionsmodells und seiner Anwendbarkeit in anderen Landschaften führen würde:

1. Nicht vom Erosionsmodell berücksichtigt werden die – ebenfalls konservierend wirkenden – Prozesse der Torfbildung im Niederungsbereich. Hierzu wäre es notwendig, zunächst das in prähistorischer Zeit vorhandene Gewässernetz in seiner Gesamtheit zu erfassen, um dann die entsprechenden Prozesse in seinem Umfeld modellieren zu können. Die in Abb. 17.1 gezeigte Rekonstruktion des ursprünglichen Gewässernetzes für das Testgebiet 2 (Havelland) wurde von

Ch. Matthes im Rahmen des Projektes Archäoprognose Brandenburg erstellt. Diese Informationen könnten, unter Abgleich mit den topographischen Eigenschaften der Landschaft und der Verteilung der Substrate, genutzt werden, um den Wirkungsbereich der natürlichen Gewässer vollständig zu erfassen.

2. Mit der Winderosion bleibt eine weiterer, potentiell wichtiger landschaftsformender Prozess ebenfalls unberücksichtigt. Die Modellierung gelänge hier wohl noch am ehesten über eine Simulation der beteiligten Prozesse, so wie dies im CHILD-Modul zur äolischen Sedimentation gelöst ist (s. 8.2.2 auf Seite 44; Tucker/Gasparini/Bras 1999).
3. In vielen Landschaften mit stärker ausgeprägtem Relief (Mittel- und Hochgebirgszonen) sind Prozesse der fluvialen Erosion (Zepp 2002, 112 ff.) von großer Bedeutung, wie sie auch im entsprechenden CHILD-Modul (Tucker et al. 1999d) simuliert werden.
4. Die Zahl und Komplexität der zu modellierenden Prozesse erhöht sich nochmals beträchtlich, wenn die Aussagefähigkeit des Modells auf Zeitabschnitte vor dem Holozän erweitert werden soll, um etwa auch Fundstellen des Jung- und Spätpaläolithikums zu erfassen. Hier kämen dann v.a. Prozesse der glaziären und periglazialen Formung hinzu (Zepp 2002, 185 ff. und 204 ff.).

Viele weitere Zusammenhänge bleiben im Rahmen dieser Arbeit unberücksichtigt. So z.B. die Frage nach den Wechselbeziehungen zwischen Bodenerosion und klimatischen Verhältnissen, etwa dem vielzitierten Anstieg des Grundwasserspiegels in der frühen Eisenzeit (Leube 1996, 130; Buck 1972, 12 ff.). Dass Beziehungen zwischen agrarischer Landnutzung und Schwankungen des Grundwasserspiegels bestehen, wie dies in der modernen Landwirtschaft eine unbestreitbare Tatsache ist, konnte unlängst auch für prähistorische Verhältnisse belegt werden (Fischer-Zuijtkov 1998, 100). Durch zukünftige Untersuchungen weiterer Prozesse kann das Bild vervollständigt werden. Vorzuziehen wäre hierbei ein physikalisches Modell, das auch weitere landschaftsformende Prozesse (z.B. fluviale Erosion) einbeziehen könnte. Derzeit sind aber die Ansprüche an die Parametrisierung eines solchen Modells gemessen an den für das Untersuchungsgebiet zur Verfügung stehenden Daten noch deutlich zu hoch.

Schließlich bleibt zu erwähnen, dass die vom Modell ausgegebenen Werte derzeit nur als relativ vergleichbare Werte, ohne absoluten Bezugspunkt zu verstehen sind. Die Werte sind zudem, bedingt durch die zahlreichen Unsicherheiten bei der Quantifizierung der relevanten Faktoren, nicht so präzise wie das USPED-basierte Modell es theoretisch erlauben würde. Dies ist kein prinzipieller Nachteil, solange die qualitative Identifizierung von zeitlicher und räumlicher Entwicklung der Erosions-Akkumulations-Dynamik wichtiger ist, als die quantitative Vorhersage der Menge von Sedimentverlust bzw. -bildung (Verhagen 1996, 319). Die Veränderung der im Erosionsmodell berücksichtigten Faktoren über die Zeit ist von zu vielen komplexen Prozessen abhängig, als dass man sie je präzise

wird quantifizieren können. Für die Verknüpfung mit konkreten Sedimentmengen zumindest in den Akkumulationszonen würde es sich daher wohl am ehesten anbieten, möglichst viele weitere stratigraphische Aufschlüsse zu untersuchen, um eine Korrelationstabelle für die Beziehung zwischen Modellwerten und empirisch gemessener Akkumulationsstärke zu erhalten. Damit wäre es möglich, eine Regressionsfunktion zu finden, welche die Modellwerte mit konkreten Volumenangaben in Verbindung bringen könnte.

20 Ergebnisse der Untersuchung

Trotz seines unauffälligen Erscheinungsbildes ist das Mitteleuropäische Tiefland eine bemerkenswerte Landschaft. Sie wird bestimmt von breiten, flachen Hängen, die eine großflächig undifferenzierte anthropogene Nutzung erlauben. Jahrtausende menschlicher Besiedlung haben hier einen Lebensraum geschaffen, der ständig vom Menschen geformt, aber durchaus nicht beherrscht wurde.

Die großmaßstäbige Formung der Landschaft geschieht seit der letzten, vom Gletschereis bestimmten, geomorphologischen Aktivitätsphase durch Prozesse der Bodenerosion, die in ihren physikalischen Wirkungsweisen zwar natürlich, in ihrem Ausmaß und ihrer Geschwindigkeit aber erst vom Menschen ermöglicht worden sind. Als ein wichtiger, vermutlich sogar als der wichtigste, Prozess kann hierbei die Bodenerosion durch Oberflächenabfluss angesehen werden, die auf praktisch allen zur ackerbaulichen Nutzung freigelegten Flächen auftritt. Bereits seit den ersten Rodungen und der anschließenden ackerbaulichen Nutzung der offenen Flächen durch prähistorische Siedler führt Bodenerosion zur Aberodierung der oberen Hangsegmente und Herausbildung von mächtigen Kolluvien am Fuß der Hänge (Saile 1998, 32). Damit kommt das transportierte Sediment gerade an den Stellen zum Liegen, die auch für die Anlage menschlicher Siedlungen als besonders attraktiv gelten dürfen. Da die Rate der Akkumulation in diesen Zonen die Kapazität der Flüsse zum Abtransport des Materials übersteigt, sind die Kolluvien im Laufe der Zeit im Durchschnitt immer mächtiger geworden. So ist davon auszugehen, dass archäologische Fundstellen an den unteren Hangabschnitten heute zu einem großen Teil soweit unter der modernen Oberfläche begraben sind, dass sie durch Oberflächenbegehungen nicht auffindbar sind.

Primäres Ziel der Arbeit war es daher, zu zeigen, wie sich Zonen der Erosion und Akkumulation (Kolluvienbildung) lokalisieren und kartieren lassen. Auf einem Betrachtungsmaßstab, der zur Bewertung einer Landschaft geeignet ist, dominieren die geometrischen Eigenschaften des Geländes. Diese lassen sich auf mathematischem Weg aus einem digitalen Höhenmodell herleiten. Mit zusätzlichen Informationen, v.a. der räumlichen Verteilung der Leitsubstrate, die die Wasseraufnahmekapazität des Bodens an einer konkreten Stelle bestimmt, kombiniert, lassen sich die an der Bodenerosion beteiligten Transportprozesse in Modellform darstellen. Bodenerosion lässt sich als Massefluss darstellen. Die Fließbewegungen des Bodens in der Landschaft werden primär von den geometrischen

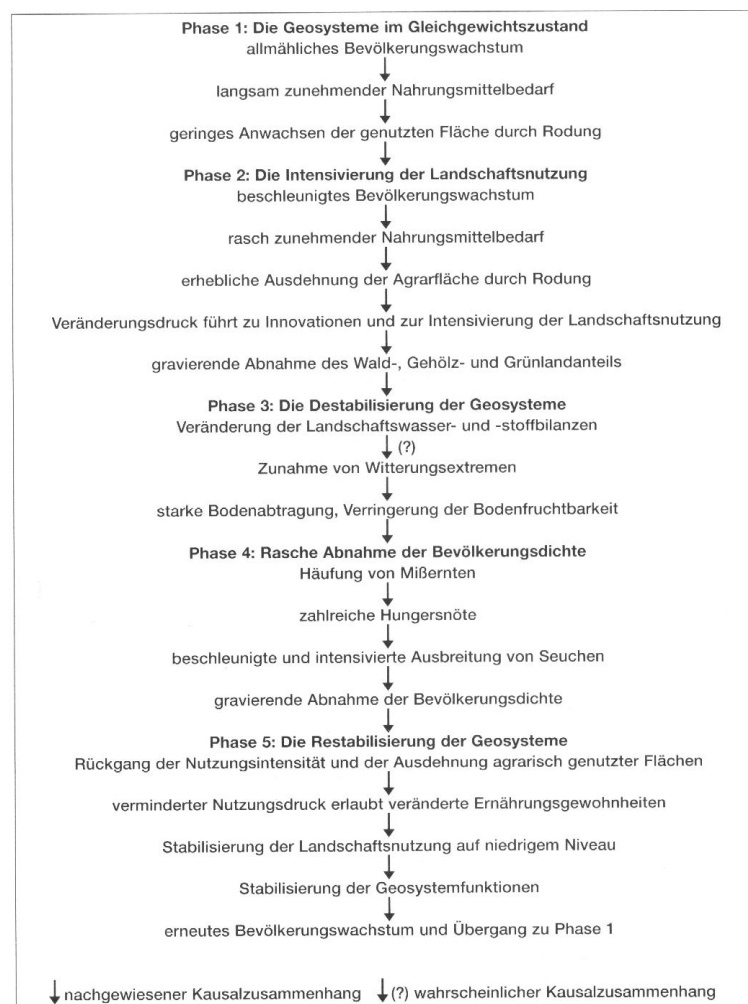
Eigenschaften des Geländereiefs bestimmt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass diese im gesamten betrachteten Zeitraum gleichgeblieben sind (Inversionen der Topographie, die über längere Zeiträume stabil bleiben, sind nicht zu erwarten), wemngleich die gesamte Reliefenergie stetig abgenommen hat, d.h. das Gelände insgesamt verflacht ist. Die räumliche Verteilung der Erosions- und Akkumulationszonen ist daher gleich geblieben. Damit gelingt die Lokalisierung der von Erosion und Akkumulation betroffenen Zonen in der Landschaft anhand eines einfachen USPED-basierten Modells.

Als weiteres Ziel sollte gezeigt werden, wie sich die vom Modell berechneten Werte mit archäologischen Daten in Einklang bringen lassen. Die Stratigraphie der Grabung Dyrotz 37 im Havelland diene einerseits dazu, die rein mathematisch gewonnenen Ergebnisse zu verifizieren bzw. falsifizieren, andererseits, die Verbindung zwischen Modellwerten und archäologischen Phasen zu schaffen, d.h. eine zeitliche Komponente zu etablieren. Dafür wurde die Fundstelle im dritten Teil dieser Arbeit mit ihrem archäologischen Inventar vorgestellt und die Rekonstruktion und Interpretation ihrer Stratigraphie anhand der archäologischen Befunde dokumentiert und begründet. Erosionsmodell und Grabungsdokumentation bzw. -bericht entstanden im Hinblick auf Zeitpunkt, Bearbeiter, und Untersuchungsziel vollständig voneinander getrennt, weshalb das Vorgehen als objektiv gelten kann. In der Stratigraphie der Grabung zeigte sich die Bestätigung der Modellrechnung in Form mehrerer Kolluvien. Diese wurden durch ackerbauliche Aktivitäten im direkten Umfeld der Siedlungen ausgelöst und führten zum Herantransport von Sedimentmassen aus den hangaufwärts gelegenen, durch das Anlegen von Feldern entblößten, Einzugsgebieten bis direkt an den Siedlungsbereich. Die genaue Datierung dieser Erosionsereignisse ist aufgrund der Grabungsunterlagen leider nicht möglich, eine prähistorische Zeitstellung aber für zwei der Kolluvien zumindest sehr wahrscheinlich. Eine präzisere Einschätzung des Ausmaßes der Erosion und Akkumulation zu verschiedenen prähistorischen Epochen verspricht derzeit allein die Einsicht in die Stratigraphie weiterer archäologischer Grabungen. Insofern können die Ergebnisse dieser Arbeit zunächst nur als Bekräftigung der eingangs aufgestellten Thesen gelten. Ihr Ausbau zu einer Theorie der geomorphologisch-archäologischen Landschaftsentwicklung bedarf weiterer Daten.

Im Ergebnis zeigte sich aber die Bedeutung der untersuchten Prozesse auf dem Maßstab der archäologischen Grabung ebenso wie auf dem der Landschaftsarchäologie bzw. der Bodendenkmalpflege. Die Beobachtungen rechtfertigen die Annahme, dass die Bildung von Kolluvien der herausragende Faktor bei der anthropogen beeinflussten Landschaftsentwicklung ist: „In Agrarlandschaften ist zu jedem beliebigen Betrachtungszeitpunkt die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, daß auf den Mittel- und Unterhängen [...] Sequenzen von Kolluvien [...] und daß tiefenliniennah mächtige Kolluvien auftreten.“ (Bork 1998, 28).

Erst in den letzten Jahren wächst das Bewusstsein dafür, in wie starkem Maße moderne Landschaften das Produkt anthropogener Formung sind. Dass sich diese Aussage nicht nur auf Mitteleuropa beschränken, zeigen verschiedene Studien (z.B. Semmel 1995 für das Rhein-Main-Gebiet, Verhagen

1996 für das mittlere Aguas-Tal in Südostspanien, Sandor 1992 für Südamerika). Ein ganzheitliches, realistisches Bild prähistorischer Siedlungsräume entsteht erst durch eine interdisziplinäre Betrachtungsweise, bei der archäologische und geowissenschaftliche Befunde gleichermaßen berücksichtigt werden. So gelingt es, Landschaftsformen mit konkreten Zeitabschnitten (prä-)historischer Besiedlungsphasen in Verbindung zu bringen, etwa die Entstehung von Kolluvien mit der Entwaldung und Beackerung und die Übertorfung von Flußniederungen mit der Entstehung von Mühlenstauanlagen (Jäger 1997, 89). Erklärungsmodelle und quantitative Aussagen zu den beteiligten Prozessen werden auf dem eigentlich interessanten Landschaftsmaßstab erst bei einer ausgeprägt interdisziplinären Betrachtung im Sinne des in Kapitel 3 der Arbeit von Bork et al. (1998) beschriebenen Vorgehens, möglich. Die besten Beispiele bieten derzeit die Arbeiten von Bork et al. (1998) und Schatz (2000), die eine wesentliche Grundlage für die in dieser Arbeit gemachten Annahmen darstellen.



Tab. 2.1: Die Dynamik der Mensch-Umwelt-Spirale – das Bodensyndrom

Abb. 20.1 Die Dynamik der Mensch-Umwelt-Spirale – das Bodensyndrom. Quelle: Bork 1998, Tab. 2.1.

Als müßig entpuppt sich bei dieser Betrachtungsweise die Frage, ob nun der prähistorische Mensch

die Landschaft nach seinen Vorstellungen umgestaltete, oder diese ihm eine Anpassung aufzwang. Größere Erkenntnisgewinne verspricht die Auffassung, nach der Mensch und Landschaft Teil eines komplexen Wirkungsgefüges aus vielfältigen Prozessen sind, die vom Menschen kurzfristig stark beeinflusst werden können, in ihren langfristigen Auswirkungen aber schon immer unvorhersehbar waren. Beispiele hierfür liefert die Geschichtsschreibung in Fülle. In dieser langfristigen Unvorhersehbarkeit stehen die vom Menschen nur scheinbar kontrollierten Prozesse dann wieder auf einer Ebene mit den von uns als katastrophal empfundenen Naturereignissen und Homo Sapiens wird wieder „degradiert“ zu einem Teil des Wirkungsgefüges, der reagieren und sich anpassen muss, statt lenken zu können. Die Folge sind vielgestaltige gesellschaftliche, politische und epidemiologische Krisen, die zu einem Rückgang der Intensität der Landschaftsausbeutung und ihrer allgemeinen Erholung führen, die aber anschließend wieder einem, mit neuem Selbstbewusstsein durchgeführten, Raubbau weichen muss. Damit wiederholt sich – wahrscheinlich seit dem Beginn der menschlichen Sesshaftigkeit – das, was Bork et al. (1998) im zweiten Kapitel als „Mensch-Umwelt-Spirale – das Bodensyndrom“ detailliert betrachten (Abb. 20.1). Wie wenig diese langfristige Perspektive im menschlichen Bewusstsein und damit auch in unserer Geschichtsschreibung verankert ist, beweist der Umgang mit praktisch allen dringenden ökologischen Problemen unserer Zeit. So zeugt das Vermächtnis Landschaft als Archiv unserer Vergangenheit gleichermaßen von Fähigkeit und Hilflosigkeit prähistorischer wie moderner Gemeinschaften.

Teil V

Anhang

A Literatur

(Hinweis: Sofern Dokumente auch als elektronische Version im Internet zur Verfügung standen, wurden die vollständigen Internet-Adressen ans Ende des entsprechenden Eintrags gestellt. Stand der Angaben: Oktober 2002.)

Babiel 2002 K. Babiel, Bericht: Archäologische Maßnahmen Ortsumgehung Wustermark B5 n. Vertiefende Voruntersuchung und Hauptuntersuchung (Rampe 34/35) (Wünsdorf 2000).

Bartelme 1995 N. Bartelme, Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen (Berlin, Heidelberg, New York 1995).

Barthel et al. 1972 S. Barthel, D.-W. Buck, R. Feustel, B. Gramsch, K. Grebe, E. Hoffmann, F. Horst, H. Keiling, K. Kroitzsch, A. Leube, E. Meyer, W. Matthias, I. Nilius, K. Peschel, J. Preuß, H. Rempel, G. Rennebach, B. Schmidt, U. Schoknecht, H.-J. Stoll, W. Timpel, V. Topfer, H. Vogt, Th. Vogt, Typentafeln zur Ur- und Frühgeschichte (Weimar 1972).

Beilke-Voigt 1996 I. Beilke-Voigt, Zu den Ergebnissen der Ausgrabung einer jungbronze-/frühheisenzeitlichen Siedlung von Wustermark, Lkr. Havelland. Veröffentlichungen des Brandenburgischen Landesmuseums für Ur- und Frühgeschichte, 30, 1996, 131-139.

Bettis 1992 E. A. Bettis III, Soil Morphologic Properties and Weathering Zone Characteristics as Age Indicators in Holocene Alluvium in the Upper Midwest. In: V. T. Holliday (Hrsg.): Soils in Archaeology. Landscape Evolution and Human Occupation (Washington, London 1992), 102-119.

Beran 2000 J. Beran, Wagenspuren und verzierte Jagdwaffen. Ein stein- und bronzezeitlicher Moorfundplatz bei Wustermark, Landkreis Havelland. In: Archäologie in Berlin und Brandenburg 1999 (Berlin, Stuttgart 2000), 46-47.

- Bönisch 1996** E. Bönisch, Die urgeschichtliche Besiedlung des Niederlausitzer Landrückens. Untersuchungen am Oberlauf der Kzschischoka (=Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 4) (Potsdam 1996).
- Bönisch 2001** E. Bönisch, "Braunkohlenarchäologie" – flächendeckende Erschließung archäologischer Landschaften. Einführung. In: M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow, A. Mikoleietz, R. Paschke, P. Woidt (Hrsg.): Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums (Worms 2001), 477-480.
- Bork 1988** H.-R. Bork, Bodenerosion und Umwelt. Verlauf, Ursachen und Folgen der mittelalterlichen und neuzeitlichen Bodenerosion (Braunschweig 1988).
- Bork et al. 1998** H.-R. Bork, H. Bork, C. Dalchow, B. Faust, H.-P. Piorr, T. Schatz, Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften (Gotha, Stuttgart 1998).
- Bork/Schatz 1998** H.-R. Bork, T. Schatz, Mittel- und Jungholozäne Landschaftsstoffbilanzen. In: Beiträge zum Oderprojekt 5 (Berlin 1998), 95-98.
- Bortz 1999** J. Bortz, Statistik für Sozialwissenschaftler (Berlin, Heidelberg, New York 1999).
- Bradley et al. 1986** J. E. Bradley, W. R. Killam, G. R. Burns, M. A. Martorano, An Archaeological Survey and Predictive Model of Selected Areas of Utah's Cisco Desert. (=Cultural Resources Series 18) (Bureau of Land Management, Utah 1986).
- Breddin et al. 1980** R. Breddin, D.-W. Buck, F. Horst, H. Keiling, W. Lampe, A. Leube, I. Nilius, S. Schacht, U. Schoknecht, H. Stange, W. Timpel, H. Wüstemann, Typentafeln zur Ur- und Frühgeschichte, 1. Ergänzung (Dresden, Potsdam, Schwerin, Weimar 1980).
- Brown/Mitasova/Mitas 1997** W. M. Brown, H. Mitasova, L. Mitas, Design, development and enhancement of dynamic multidimensional tools in a fully integrated fashion with the GRASS GIS (Report for USA CERL) (Urbana-Champaign 1997). <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/gsoils/vizrep2.html>
- Bryan 1987** R. Bryan, Processes and significance of rill development. *Catena Suppl.* 8, 1-15.
- Buck 1969** D.-W. Buck, Zur Datierung der befestigten Siedlungen von Klein-Priebus, Ot. Podrosche, Kr. Weißwasser und Senftenberg. Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam 5, 1969, 109-112.
- Buck 1972** D.-W. Buck, Die Billendorfer Gruppe (Berlin 1979).

- Buck 1982** D.-W. Buck, Befestigte Siedlungen der Lausitzer Kultur im Norden der DDR. Beiträge zum bronzezeitlichen Burgenbau in Mitteleuropa (Berlin, Nitra 1982), 97-116.
- Buck 2000a** D.-W. Buck, Hügelgräber- Urnenfelder- und ältere Hallstattzeit. In: Potsdam, Brandenburg und das Havelland. Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland 37 (Stuttgart 2000), 53-58.
- Buck 2000b** D.-W. Buck, Vorrömische Eisenzeit. In: Potsdam, Brandenburg und das Havelland. Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland 37 (Stuttgart 2000), 74-86.
- Caplan/Ruesink/Mitasova 2002** J. Caplan, M. Ruesink, H. Mitasova, r.flow manual page. http://www.geog.uni-hannover.de/grass/gdp/html_grass5/html/r.flow.html
- Davidson 1985** D. A. Davidson, Geomorphology and Archaeology. In: G. Rapp, J. A. Gifford (Hrsg.): Archaeological Geology (New Haven, London 1985), 25-55.
- Deeben et al. 1997** J. Deeben, D. P. Hallewas, J. Kolen, R. Wiemer, Beyond the Crystal Ball: Predictive Modelling as a Tool in Archaeological Heritage Management in the Netherlands. In: W. J. H. Willems, H. Kars, D. P. Hallewas (Hrsg.): Archaeological Heritage Management in the Netherlands (Assen 1997), 76-118.
- DEM Resolution** W. M. Brown, D. M. Johnston, L. Mitas, H. Mitasova, DEM Resolution, Topographic Analysis and Erosion modeling (incomplete draft). www2.gis.uiuc.edu/modviz/irwin/irwin1.html
- Eickhoff 2001** S. Eickhoff, Große lineare Eingriffe in die Landschaft. Einleitung. In: M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow, A. Mikoleietz, R. Paschke, P. Woitd (Hrsg.): Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums (Worms 2001), 508-511.
- Ellison 1944** W. D. Ellison, Studies of raindrop erosion, Agric. Eng. 25, 131-181.
- Felsberg 1925** O. Felsberg, Die römische Kaiserzeit und Völkerwanderungszeit im Elb-Havel-Land. Mannus Ergänzungsband 7, 1927, 123-169.
- Ferring 1992** C. R. Ferring, Alluvial Pedology and Geoarchaeological Research. In: V. T. Holliday (Hrsg.): Soils in Archaeology. Landscape Evolution and Human Occupation (Washington, London 1992), 1-40.
- Flanagan/Nearing 1995** D. C. Flanagan, M. A. Nearing (Hrsg.): USDA – Water Erosion Prediction Project. Hillslope and Watershed Model Documentation (=NSERL Report No. 10) (West Lafayette 1995). topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/docs

- Fischer-Zuijkov 1998** U. Fischer-Zuijkov, Das „Schwarze Kolluvium“ – Auswirkungen der ur- und frühgeschichtlichen Landnutzung auf die Umweltbedingungen in der Uckermark. In: Beiträge zum Oderprojekt 5 (Berlin 1998), 99-102.
- Fleck 1995** W. Fleck, Ermittlung von K-Faktoren – Reichsbodenschätzung und Bodenbestandsaufnahme (Handbuch Boden, Materialien zum Bodenschutz, Band 4) (Karlsruhe 1995), 56-65. <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/print/mzb04.pdf>
- Forte 2000** M. Forte, Archaeology and virtual micro-topography: the creation of DEMs for reconstructing fossil landscapes by Remote Sensing and GIS applications. In: G. Lock (Hrsg.): Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies (=NATO Science Series A: Life Sciences Vol. 321) (Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington, D.C. 2000), 199-213.
- Fournier 1967** F. Fournier, La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. Sols Africains 12, Bd. 1, 1967, 5-53.
- Frielinghaus 2000** M. Frielinghaus, Bodenbearbeitung und Bodenerosion. Gute fachliche Praxis bei der Bodenbearbeitung (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Darmstadt 2002). <http://www.ktbl.de/pflanze/boden/kurzfassung.htm>
- Gasparini/Tucker/Bras 1999** N. M. Gasparini, G. E. Tucker, R. L. Bras, CHILD: Variable Sediment Texture and Alluvial Stratigraphy (Part I-F of final technical report submitted to U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory USACERL) (Cambridge, Massachusetts 1999). <http://platte.mit.edu/~child/Lit/grains.pdf>
- Geisler 1964** H. Geisler, Die jungsteinzeitlichen Funde beiderseits der Wublitzrinne. Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam, 3, 1964, 24-37.
- Geisler 1974** H. Geisler, Das germanische Urnengräberfeld bei Kemnitz, Kr. Potsdam-Land. Teil I Katalog. Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam, 8, 1974.
- Geisler 2000** H. Geisler, Geschichte der archäologischen Forschung. In: Potsdam, Brandenburg und das Havelland. Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland 37 (Stuttgart 2000), 18-30.
- GMSL_2002** Geographic Modeling Systems Lab, Spatial Modeling and Visualization. University of Illinois (Urbana-Champaign). <http://www2.gis.uiuc.edu:2280/modviz/>
- GRASS GIS 2002** Geographical Resources Analysis Support System, Version 5. <http://www.geog.uni-hannover.de/grass/>

- Gringmuth-Dallmer 1996** E. Gringmuth-Dallmer, Das Forschungsprojekt „Mensch und Umwelt im Odergebiet in ur- und frühgeschichtlicher Zeit“. In: Mensch und Umwelt im mittleren und unteren Odergebiet. Entstehung, Zielsetzung und Organisation (=Beiträge zur ur- und frühgeschichtlichen Besiedlung 2) (Wrocław 1996), 13-16.
- Gringmuth-Dallmer 1997** E. Gringmuth-Dallmer, Bericht über die deutschen Aktivitäten im Rahmen des „Oderprojektes“ 1995. In: Beiträge zum Oderprojekt 2 (Berlin 1997), 3-6.
- Grünewald 1998** V. Grünewald, Drei absolut datierte Brunnen der germanischen Siedlung von Buschow, Kreis Havelland. In: A. Leube (Hrsg.): Haus und Hof im östlichen Germanien (=Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 50) (Bonn 1998), 34-39.
- Grünewald 2001** V. Grünewald, „Braunkohlenarchäologie“ – flächendeckende Erschließung archäologischer Landschaften. Grundlagen und Ergebnisse der Prospektion. In: M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow, A. Mikoleietz, R. Paschke, P. Woidt (Hrsg.): Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums (Worms 2001), 481-482.
- Gustavs 1998** S. Gustavs, Spätkaiserzeitliche Baubefunde von Klein-Köris, Lkr. Dahme-Spreewald. In: A. Leube (Hrsg.): Haus und Hof im östlichen Germanien (=Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 50) (Bonn 1998), 40-66.
- Hassan 1985** F. A. Hassan, Paleoenvironments and Contemporary Archaeology: A Geoarchaeological Approach. In: G. Rapp, J. A. Gifford (Hrsg.): Archaeological Geology (New Haven, London 1985), 85-102.
- Haider 1995** J. Haider, Faktoren der ABAG und dABAG – Bestimmung und Genauigkeit (Handbuch Boden, Materialien zum Bodenschutz, Band 4) (Karlsruhe 1995), 38-55.
<http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/print/mzb04.pdf>
- Hauptmann 1998** Th. Hauptmann, Die Ausgrabungen kaiserzeitlicher Siedlungen bei Kablow, Lkr. Dahme-Spreewald. In: A. Leube (Hrsg.): Haus und Hof im östlichen Germanien (=Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 50) (Bonn 1998), 67-71.
- Hellmund/Klitzsch/Schumann 1992** U. Hellmund, W. Klitzsch, K. Schumann, Grundlagen der Statistik (Landsberg/Lech 1992).
- Hendl/Liedtke 1997** M. Hendl, H. Liedtke, Lehrbuch der allgemeinen physischen Geographie (Gotha 1997).

- Herrmann 1969** J. Herrmann, Die fñheisenzeitlichen Burgen von Podrosche, Kr. Weißwasser und Senftenberg in der Niederlausitz. In: Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam 5 (Potsdam 1969), 87-108.
- Holliday 1992** V. T. Holliday, Soil Formation, Time and Archaeology. In: V. T. Holliday (Hrsg.): Soils in Archaeology. Landscape Evolution and Human Occupation (Washington, London 1992), 101-188.
- Holliday/Goldberg 1992** Glossary of Selected Soil Science Terms. In: V. T. Holliday (Hrsg.): Soils in Archaeology. Landscape Evolution and Human Occupation (Washington, London 1992), 247-254.
- Hudak et al. 2002** G. J. Hudak, E. Hobbs, A. Brooks, C. A. Sersland, C. Phillips (Hrsg.): A Predictive Model of Precontact Archaeological Site Location for the State of Minnesota. Final Report 2002 (Department of Transportation, Minnesota 2002).
- Isaacson/Zeidler/Johnson 2001** J. S. Isaacson, J. A. Zeidler, W. C. Johnson, Transferability of the 3D Modeling Approach. In: Zeidler/Isaacson 2001 J. A. Zeidler, J. S. Isaacson, Managing Buried Archaeological Sites on Military Training Lands. In: J. A. Zeidler (Ed.), Dynamic Modeling of Landscape Evolution and Archaeological Site Distributions: A Three-Dimensional Approach (Fort Collins 2001), 45-54.
- Jäger 1971** K.-D. Jäger, Die siedlungsgeschichtliche Aussage stratigraphischer und bodenkundlicher Untersuchungen im Gelände der kaiserzeitlichen Ansiedlung bei Wüste Kunersdorf, Kr. Seelow. In: Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam, 4 (1968), 11-22.
- Jäger 1996** K.-D. Jäger, Umweltbedingungen und Umweltwirksamkeit der neolithischen Besiedlung. In: J. Preuß (Hrsg.), Das Neolithikum in Mitteleuropa. Kulturen–Wirtschaft–Umwelt vom 6. bis 3. Jahrtausend v.u.Z. Übersichten zum Stand der Forschung, Band 1/1 (Weißbach 1998), 25-33.
- Jäger 1997** K.-D. Jäger, Anthropogene Ablagerungen im Holozän Mitteleuropas. Brandenburgische Geowiss. Beitr. 4, 1997, 2, 89-96.
- Jäger/Ložek 1977** K.D. Jäger, V. Ložek, Indications of Holocene stratigraphy concerning the changing natural structure and metabolism of landscape in consequence of human impact. In: Proceedings of Working Session of Commission on Holocene – INQUA (Eurosiberian Subcommittee) (Tatranská Lomnica - Bratislava 1976), 93-110.
- Jäger/Ložek 1978** K.-D. Jäger, V. Ložek, Befunde und Aussagemöglichkeiten der Holozänstratigraphie über anthropogene Einwirkungen auf den natürlichen Landschaftshaushalt im ur- und frühgeschichtlichen Mitteleuropa. Petermanns Geographische Mitteilungen 122, 3, 145-148.

- Johnson/Willey/McLaughlin 2001** W. C. Johnson, K. L. Willey, C. J. McLaughlin, Late Pleistocene and Holocene Landscape Reconstruction and Model Validation through Geoarchaeological Investigations. In: Zeidler/Isaacson 2001 J. A. Zeidler, J. S. Isaacson, Managing Buried Archaeological Sites on Military Training Lands. In: J. A. Zeidler (Ed.), Dynamic Modeling of Landscape Evolution and Archaeological Site Distributions: A Three-Dimensional Approach (Fort Collins 2001), 29-44.
- Kamke 1987** H.-U. Kamke, Die natürlichen Gegebenheiten im Havelland: Geomorphologie und Böden. In: W. Ribbe (Hrsg.): Das Havelland im Mittelalter. Untersuchungen zur Strukturgeschichte einer ostelbischen Landschaft in slawischer und deutscher Zeit (Berliner Historische Studien 13=Germania Slavica V). Berlin: Duncker & Humblot 1987, 21-36.
- Kirsch 1994** E. Kirsch, Beiträge zur älteren Trichterbecherkultur in Brandenburg. Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg, Bd. 2 (Potsdam 1994).
- Kirsch/Uhl 1990** R. Kirsch, U. Uhl, Neue Frühneolithische Funde im Havelland. Ausgrabungen und Funde 35, 1990, 2, 57-61.
- Klein 1990** J. Klein (Hrsg.): Herder Lexikon Geologie und Mineralogie (Freiburg, Basel, Wien 1990).
- Kohler/Parker 1986** T. A. Kohler, S. C. Parker, Predictive models for archaeological resource locations. In: M. B. Schiffer (Hrsg.): Advances in Archaeological Method and Theory 9 (New York 1986), 397-452.
- Krauskopf/Pasda 1999** Ch. Krauskopf, C. Pasda, Aufwehung, Umbildung, Zerstörung. Zur Entwicklung der Dünen im Brauther Urstromtal zwischen Cottbus und Forst. ArchKorrBlatt 29, 1999, 289-298.
- Kunow/Müller 2001** J. Kunow, J. Müller, Forschungsvorhaben. Archäoprognose im Land Brandenburg. "Die Rekonstruktion ur- und frühgeschichtlichen Siedlungsverhaltens und anthropogener Landschaftsgestaltung" – ein von der Fritz Thyssen Stiftung finanziertes Modellprojekt. In: M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow, A. Mikoleietz, R. Paschke, P. Woidt (Hrsg.): Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums (Worms 2001), 612-614.
- Kvamme 1990** K. L. Kvamme, The fundamental principles and practice of predictive archaeological modeling. In: A. Voorrips (Hrsg.): Mathematics and Information Science in Archaeology: A Flexible Framework (=Studies in Modern Archaeology 3) (Bonn 1990), 257-295.
- Lancaster 1998** S. T. Lancaster, A Nonlinear River Meandering Model and its Incorporation in a Landscape Evolution Model (PhD thesis) (Cambridge, MA 199). <http://www.fsl.orst.edu/~slancast/thesis.pdf>

- Lancaster/Hayes/Grant 2001** S. T. Lancaster, S. K. Hayes, Modeling sediment and wood storage and dynamics in small mountainous watersheds. In: J. M. Dorava, D. R. Montgomery, B. B. Palcsak, F. A. Fitzpatrick (Hrsg.): *Geomorphic Processes and Riverine Habitat* (Washington 2001), 85-102. http://www.fsl.orst.edu/~slancast/SedWoodDynStor_fin.pdf
- Leube 1971** A. Leube, Siedlungsgrabungen aus der römischen Kaiserzeit in der Mark Brandenburg. Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam 6, 1971, 57-70.
- Leube 1995** A. Leube, Germanische Völkerwanderungen und ihr archäologischer Fundniederschlag. Das 5. und 6. Jh. östlich der Elbe. Ein Forschungsbericht (I), *Ethnographisch-Archäologische Zeitschrift* 36, 1995, 3-84.
- Leube 1996** A. Leube: Die eisenzeitliche Besiedlung des westlichen mittleren Odergebietes (6. Jahrh. v. Chr.-6. Jahrh. n. Chr.). In: L. Leciejewicz, E. Gringmuth-Dallmer (Hrsg.): *Mensch und Umwelt im mittleren und unteren Odergebiet. Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Besiedlung (=Spotkania Bytomskie 2)* (Wrocław 1996), 127-142.
- Leusen 1996** P. M. van Leusen, GIS and Locational Modeling in Dutch Archaeology: A Review of Current Approaches. In: H. D. G. Maschner (Hrsg.): *New Methods, Old Problems: Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research. Occasional Paper No. 23, Center for Archaeological Investigations, Southern Illinois University at Carbondale* (Carbondale 1996), 177-197.
- Ložek 1996** V. Ložek, Umweltbedingungen und Umweltwirksamkeit der neolithischen Besiedlung. In: J. Preuß (Hrsg.), *Das Neolithikum in Mitteleuropa. Kulturen–Wirtschaft–Umwelt vom 6. bis 3. Jahrtausend v.u.Z. Übersichten zum Stand der Forschung, Band 1/1* (Weißbach 1998), 45-52.
- Lüning 1997** J. Lüning, Anfänge und frühe Entwicklung der Landwirtschaft im Neolithikum. In: J. Lüning, A. Jockenhövel, H. Bender, T. Capelle (Hrsg.): *Deutsche Agrargeschichte: Die Frühgeschichte* (Stuttgart 1997), 15-140.
- Mandel 1992** R. D. Mandel, Soils and Holocene Landscape Evolution in Central and Southwestern Kansas: Implications for Archaeological Research. In: V. T. Holliday (Hrsg.): *Soils in Archaeology. Landscape Evolution and Human Occupation* (Washington, London 1992), 41-100.
- May 2000a** J. May, odendenkmalschutz und archäologische Forschungen entlang der Wublitzrinne. In: *Potsdam, Brandenburg und das Havelland. Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland* 37 (Stuttgart 2000), 196-205.

- May 2000b** J. May, Römische Kaiserzeit und Völkerwanderungszeit. In: Potsdam, Brandenburg und das Havelland. Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland 37 (Stuttgart 2000), 86-104.
- May 2001a** J. May, Große lineare Eingriffe in die Landschaft. Ergebnisse bodendenkmalpflegerischer Aktivitäten entlang der Schnellbahnverbindung Hannover-Berlin im Land Brandenburg. In: M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow, A. Mikoleietz, R. Paschke, P. Woidt (Hrsg.): Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums (Worms 2001), 511-515.
- May 2001b** J. May, Großflächige Bauvorhaben im Außenbereich. Die Siedlungskammer im Güterverkehrszentrum bei Wustermark – Bodendenkmalschutz und siedlungsarchäologische Forschungen entlang der Wublitzrinne. In: M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow, A. Mikoleietz, R. Paschke, P. Woidt (Hrsg.): Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums (Worms 2001), 543-547.
- Meyer 2001** M. Meyer, Erprobung und Anwendung von Methoden zur einzugsgebietsbezogenen Modellierung der Phosphatdynamik terrestrischer Ökosysteme (Diplomarbeit Universität Köln) (Köln 2001). <http://www.ecology.uni-kiel.de/~ernst/martin/frame1.htm>
- Mitas et al. 2002** L. Mitas, H. Mitasova, I. Kosinovsky, D. Gerdes, D. McCauley, s.surf.rst manual page. http://www.geog.uni-hannover.de/grass/gdp/html_grass5/html/s.surf.rst.html
- Mitas/Brown/Mitasova 1997** L. Mitas, W. M. Brown, H. Mitasova, Role of dynamic cartography in simulations of landscape processes based on multi-variate fields. *Computers and Geosciences*, 23/4, 437-446. <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helenagmslab/lcgfin/cg-mitas.html>
- Mitas/Mitasova 1998a** H. Mitasova, L. Mitas, Spatial Interpolation. In: P. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, D. W. Rhind (Hrsg.): *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications* (Cambridge, UK 1998), 481-492.
- Mitas/Mitasova 1998b** H. Mitasova, L. Mitas, Multidimensional Spatial Interpolation (Urbana-Champaign). <http://www2.gis.uiuc.edu:2280/modviz/viz/sinter.html>
- Mitasova et al. 1994** H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, D. P. Gerdes, I. Kosinovsky, Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS. *International Journal of GIS* 9, 4, 443-446.

- Mitasova et al. 1995a** H. Mitasova, J. Hofierka, M. Zlocha, L. R. Iverson, Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS, *International Journal of GIS* 1, 16, 1995. <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/papers/erijgis.html>
- Mitasova et al. 1995b** H. Mitasova, W. M. Brown, D. Johnston, B. Saghafian, L. Mitas, M. Astley, GIS Tools for Erosion/Deposition Modeling and Multidimensional Visualization. Part I: Interpolation, rainfall-runoff, visualisation (Report for USA CERL) (Urbana-Champaign 1995). <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/rep1.ps>
- Mitasova et al. 1996a** H. Mitasova, W. M. Brown, D. Johnston, L. Mitas, GIS Tools for Erosion/Deposition Modeling and Multidimensional Visualization. Part II: Unit Stream Power-Based Erosion/Deposition Modeling, and Enhanced Dynamic Visualization (Report for USA CERL) (Urbana-Champaign 1996). <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/rep2.ps>
- Mitasova et al. 1996b** H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, D. Johnston, GIS Tools for Erosion/Deposition Modeling and Multidimensional Visualization. Part III: Process based erosion simulation (Urbana 1996-Champaign 1996). <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/rep3.ps>
- Mitasova et al. 1997** H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, D. Johnston, GIS Tools for Erosion/Deposition Modeling and Multidimensional Visualization. Part IV and V: Process based erosion simulation for spatially complex conditions and its applications (Report for USA CERL) (Urbana-Champaign 1997). <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/cerl97/rep97.html>
- Mitasova et al. 1998** H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, D. M. Johnston, Multidimensional soil erosion/deposition modeling and visualization using GIS (Final Report for USA CERL). <http://www2.gis.uiuc.edu/modviz/reports/cerl98/cerlrep98.html>
- Mitasova et al. 1999** H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, D. M. Johnston, Terrain modeling and Soil Erosion Simulations for Fort Hood and Fort Polk test areas (CERL Annual Report 1999). <http://www2.gis.uiuc.edu/modviz/reports/cerl99/rep99.html>
- Mitasova et al. 2000** H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, D. M. Johnston, Terrain modeling and Soil Erosion Simulation: applications for evaluation and design of conservation strategies (CERL Annual Report 2000). <http://www2.gis.uiuc.edu/modviz/reports/cerl00/rep00.html>
- Mitasova et al. 2001a** H. Mitasova, W. M. Brown, M. Hohmann, S. Warren, Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial (GMSLab and USA CERL).

<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/CerlErosionTutorial/denix/denixstart.html>

Mitasova et al. 2001b H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, D. Johnston, Terrain Modeling and Soil Erosion Simulation. Final Report (Report for USA CERL) (Urbana-Champaign 2001).

<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/cerl01/finalreport/report01/default.htm>

Mitášová/Hofierka 1993 H. Mitášová, J. Hofierka, Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis, *Mathematical Geology* 25, 657-669. <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/papers/hmg.rev1.ps>

Mitášová/Mitáš 1993 H. Mitášová, L. Mitaš, Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation, *Mathematical Geology* 25, 657-669. <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/papers/lmg.rev1.ps>

Mitasova/Mitas 1998 H. Mitasova, L. Mitas, Process Modeling and Simulations (Version for public review: November 15, 1998).

<http://www2.gis.uiuc.edu:2280/modviz/papers/u130/u130.htm>

Mitasova/Mitas/Brown 1998 H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, Erosion/Deposition Modeling in Complex Terrain Using GIS. <http://www2.gis.uiuc.edu/modviz/erosion/erosion.html>

Mitášová/Mitáš 1998 H. Mitášová, L. Mitaš, Terrain Analysis and Erosion Modeling, www2.gis.uiuc.edu/modviz/viz/erosion.html

Mitasova/Mitas/Brown 1998 H. Mitasova, L. Mitas, W. M. Brown, Erosion/Deposition Modeling in Complex Terrain Using GIS. <http://www2.gis.uiuc.edu:2280/modviz/erosion/erosion.html>

Mitasova/Mitas 1999a H. Mitasova, L. Mitas, Modeling soil detachment with RUSLE 3d using GIS. <http://www2.gis.uiuc.edu:2280/modviz/erosion/usle.html>

Mitasova/Mitas 1999b H. Mitasova, L. Mitas, Erosion/deposition modeling with USPED using GIS. <http://www2.gis.uiuc.edu:2280/modviz/erosion/usped.html>

Mitášová et al. 1995 H. Mitášová, L. Mitaš, W. M. Brown, D. P. Gerdes, I. Kosinovsky, T. Baker, Modeling spatially and temporally distributed phenomena: new methods and tools for GRASS GIS. *International Journal of GIS* 9, 4, 1995, 433-446.

- Moore/Burch 1986** I. D. Moore, G. J. Burch, Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation, *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 50: 1294-1298.
- Morgan et al. 1998** R. P. C. Morgan, J. N. Quinton, R. E. Smith, G. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, M. E. Styczen, A. J. V. Folly, *The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide Version 3.6* (Silsoe College, Cranfield University, UK) (Silsoe, Bedford 1998).
- Neteler 2000** GRASS-Handbuch. Der praktische Leitfaden zum Geographischen Informationssystem GRASS (=Geosynthesis, Heft 11) (Hannover 2000).
- Neteler/Mitasova 2002** Open Source GIS: A GRASS GIS Approach (Boston, Dordrecht 2002).
- Renard et al. 1991** K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, J. P. Porter, Revised universal soil loss equation RUSLE, USLE-EPIC-RUSLE-Wepp Bull., 1, 30-33.
- Renard et al. 1996** K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool, D. C. Yoder, Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (=USDA-ARS Agriculture Handbook N° 703) (Washington DC 1972).
- RillGrow2 2001** Land Degradation and Rehabilitation Programme. www.eci.ox.ac.uk/ld/ldhp.htm
- Rogler 1981** H. Rogler, Die Erosivität der Niederschläge in Bayern (Berechnung der R-Faktoren für Bayern). *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 22, 1981, 99-112. [html/www.helmut-rogler.de/erosion/index.html](http://www.helmut-rogler.de/erosion/index.html)
- Rohdenburg 1969** H. Rohdenburg, Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen an Beispielen aus Westafrika, besonders aus dem Schichtstufenland Südost-Nigerias. *Giessener Geogr. Schriften.* 20, 57-152.
- Rohdenburg 1971** H. Rohdenburg, Einführung in die klimagenetische Geomorphologie, anhand eines Systems von Modellvorstellungen am Beispiel des fluvialen Abtragungsreliefs (Giessen 1971).
- Roose 1996** E. Roose, Land husbandry – Components and strategy (=Food and Agriculture Organization of the United States Soils Bulletin 70) (Rome 1996).
- RUSLE 2001** Revised Universal Soil Loss Equation. www.sedlab.olemiss.edu/rusle/index.html

- Ruthven/Lalmas** I. Ruthven, M. Lalmas, Using Dempster-Shafer's Theory of Evidence to combine aspects of information use. <http://www.dcs.gla.ac.uk/ir/projects/explanation/jiis.pdf>
- Saile 1993** T. Saile, Holozäner Bodenabtrag im Bereich einer bandkeramischen Siedlung am Rande des Reinheimer Beckens bei Wembach (Hessen), Archäologisches Korrespondenzblatt 23, 1993, 187-196.
- Saile 1998** Th. Saile, Untersuchung zur ur- und frühgeschichtlichen Besiedlung der Wetterau (=Materialien zur Vor- und Frühgeschichte von Hessen 21) (Wiesbaden 1998).
- Saile 2001** Th. Saile, Die Reliefenergie als innere Gültigkeitsgrenze der Fundkarte, Germania 79, 2001, Bd.1, 93-120.
- Sandor 1992** J. A. Sandor, Long-term Effects of Prehistoric Agriculture on Soils: Examples from New Mexiko and Peru. In: V. T. Holliday (Hrsg.): Soils in Archaeology. Landscape Evolution and Human Occupation (Washington, London 1992), 217-246.
- Sauerborn 1994** P. Sauerborn, Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. Bonner Bodenkundliche Abhandlungen 13, 1994.
- Schatz 2000** Th. Schatz, Untersuchungen zur holozänen Landschaftsentwicklung Nordostdeutschlands (=ZALF Bericht Nr. 41) (Müncheberg 2000).
- Schmidt 1968** B. Schmidt, Das spätkaiserzeitlich-frühvölkerwanderungszeitliche Brandgräberfeld von Butzow, Kreis Brandenburg-Land, I. Teil. (=Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam 2) (Potsdam 1963), 68-88.
- Schöneburg 1998** P. Schöneburg, Die germanische Siedlung von Dallgow-Döberitz, Kr. Havelland. Vorbericht und erste Auswertungsergebnisse. In: A. Leube (Hrsg.): Haus und Hof im östlichen Germanien (=Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 50) (Bonn 1998), 127-131.
- Schöneburg 2001** Großflächige Bauvorhaben im Außenbereich. Die germanische Siedlung von Dallgow-Döberitz. In: M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow, A. Mikoleietz, R. Paschke, P. Woidt (Hrsg.): Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums (Worms 2001), 550-552.
- Schwarzländer 2001** S. Schwarzländer, Gestörte Familienruhe. Bestattungen aus der Bronzezeit in Dyrotz, Landkreis Havelland. In: Archäologie in Berlin und Brandenburg 2000 (Berlin, Stuttgart 2001), 49.

- Schwertmann/Vogel/Kainz 1990** U. Schwertmann, W. Vogel, M. Kainz, Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen (Stuttgart 1990).
- Semmel 1995** A. Semmel, Bodenkundliche Hinweise auf Ackernutzung und intensive Bodenerosion um 8000 BP im Rhein-Main-Gebiet, Archäologisches Korrespondenzblatt 25, 1995, 157-163.
- Seyer 1969** H. Seyer, Das Brandgräberfeld der vorrömischen Eisenzeit von Geltow-Wildpark im Potsdamer Havelland. Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam 5, 1969, 118-158.
- Seyer 1982** H. Seyer, Siedlung und archäologische Kultur der Germanen im Havel-Spree-Gebiet in den Jahrhunderten vor Beginn u. Z. (=Schriften zur Ur- und Frühgeschichte 34) (Berlin 1982).
- Sommerfeld 1997** C. Sommerfeld, Vorbericht über die Ausgrabungen in Glasow, Uecker-Randow-Kreis, Fpl. 14/15. In: Beiträge zum Oderprojekt 2 (Berlin 1997), 7-14.
- Stapelfeldt 2000** Th. Stapelfeldt, Brunnen im Dutzend. Wustermark 23 – eine germanische Siedlung im Landkreis Havelland. In: Archäologie in Berlin und Brandenburg 1999 (Berlin, Stuttgart 2000), 73-75.
- Stäuble/Campen 1998** H. Stäuble, I. Campen, 7000 Jahre Brunnenbau im Südraum von Leipzig. In: H. Koschik (Hrsg.): Brunnen der Jungsteinzeit. Internat. Symposium Erkelenz 1997 (Köln 1998), 51-71.
- Tempelmann-Maczyńska 1985** M. Tempelmann-Maczyńska, Die Perlen der römischen Kaiserzeit und der frühen Phase der Völkerwanderungszeit im mitteleuropäischen Barbaricum (Mainz 1985).
- Tucker/Bras 1999a** G. E. Tucker, R. L. Bras, A Stochastic Approach to Modeling Drainage Basin Evolution (Part I-D of final technical report submitted to U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (USACERL)) (Cambridge, Massachusetts 1999). <http://platte.mit.edu/~child/Lit/rainfall.pdf>
- Tucker/Bras 1999b** G. E. Tucker, R. L. Bras, Dynamics of Vegetation and Runoff Erosion (Part I-E of final technical report submitted to U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (USACERL)) (Cambridge, Massachusetts 1999). <http://platte.mit.edu/~child/Lit/vegfr.pdf>
- Tucker/Gasparini/Bras 1999** G. E. Tucker, N. M. Gasparini, R. L. Bras, CHILD Eolian Deposition Module (Part I-G of final technical report submitted to U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (USACERL)) (Cambridge, Massachusetts 1999). <http://platte.mit.edu/~child/Lit/eolian.pdf>

- Tucker/Gasparini/Bras 2001** G. E. Tucker, N. M. Gasparini, R. L. Bras, Modeling the 3D Stratigraphic Context of Prehistoric Sites: A New Approach Using Process-Based Computer Simulation. In: J. A. Zeidler (Ed.), *Dynamic Modeling of Landscape Evolution and Archaeological Site Distributions: A Three-Dimensional Approach* (Fort Collins 2001), 16-28.
- Tucker et al. 1999a** G. E. Tucker, N. M. Gasparini, R. R. Bras, S. T. Lancaster, The CHILD Model: Introduction and Roadmap (Part 1-A of final technical report submitted to U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (USACERL)) (Cambridge, Massachusetts 1999). <http://platte.mit.edu/~child/frintro.pdf>
- Tucker et al. 1999b** G. E. Tucker, N. M. Gasparini, R. R. Bras, S. T. Lancaster, Overview of the CHILD Model Version 2.0 (Part 1-B of final technical report submitted to U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (USACERL)) (Cambridge, Massachusetts 1999). <http://platte.mit.edu/~child/overview.pdf>
- Tucker et al. 1999c** G. E. Tucker, N. M. Gasparini, R. L. Bras, S. T. Lancaster, Future Development and Applications of the CHILD Model (Part I-H of final technical report submitted to U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (USACERL)) (Cambridge, Massachusetts 1999). <http://platte.mit.edu/~child/Lit/future.pdf>
- Tucker et al. 1999d** G. E. Tucker, N. M. Gasparini, R. L. Bras, S. T. Lancaster, Modeling Floodplain Dynamics and Stratigraphy: Implications for Geoarchaeology (Part II-C of final technical report submitted to U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (USACERL)) (Cambridge, Massachusetts 1999). <http://platte.mit.edu/~child/Lit/floodplain.pdf>
- Verhagen 1996** Ph. Verhagen, The use of GIS for modelling ecological change and human occupation in the Middle Aguas Valley (S.E. Spain). In: H. Kamermans, K. Fennema (Hrsg.): *Interfacing the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology CAA95 Vol. II* (=Analecta Praehistorica Leidensia 28) (Leiden 1996), 317-324.
- Vogt 1998** U. Vogt, Zum kaiserzeitlichen Industriestandort Zachow, Havellandkreis. In: A. Leube (Hrsg.): *Haus und Hof im östlichen Germanien* (=Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 50) (Bonn 1998), 137-139.
- Wechler 1996** K.-P. Wechler, Zur Besiedlungsgeschichte des Odergebietes vom Spätpaläolithikum bis zum frühen Neolithikum. In: L. Leciejewicz, E. Gringmuth-Dallmer (Hrsg.): *Mensch und Umwelt im mittleren und unteren Odergebiet, Beiträge zur ur- und frühgeschichtlichen Besiedlung* (=Spotkania bytomskie 2) (Wrocław 1996).

- WEPP 2001** WEPP Software (Water Erosion Prediction Project). <http://opsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/wepp.html>
- Weiß 2000** R. Weiß, Glazialgeologisch-geomorphologischer Überblick. In: Potsdam, Brandenburg und das Havelland. Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland 37 (Stuttgart 2000), 11-17.
- Werner 1995** M. von Werner, GIS-orientierte Methoden der digitalen Relieffanalyse zur Modellierung von Bodenerosion in kleinen Einzugsgebieten (Dissertation Freie Universität Berlin) (Berlin 1995). http://www.geog.fu-berlin.de/~erosion/diss_pdf.html
- Wetzel 2000** G. Wetzel, Jungsteinzeit. In: Potsdam, Brandenburg und das Havelland. Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland 37 (Stuttgart 2000), 39-52.
- Wheatley 1996** D. Wheatley, Between the lines: the role of GIS-based predictive modelling in the interpretation of extensive survey data. In: H. Kamermans, K. Fennema (Hrsg.): Interfacing the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology CAA95 Vol. II (=Analecta Praehistorica Leidensia 28) (Leiden 1996), 275-292.
- Wischmeier 1974** W. H. Wischmeier, New developments in estimating water erosion. 29e Meeting Soil Cons. Soc. Amer. Syracuse, New York 1974, 179-186.
- Wischmeier/Smith 1960** W. H. Wischmeier, D. D. Smith, A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning, Proc. 7th Inter. Congress Soil Science Soc, Vol. 1, 418-425.
- Wischmeier/Smith 1972** W. H. Wischmeier, D. D. Smith, Predicting Rainfall-erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation (=USDA-ARS Agriculture Handbook N° 282) (Washington DC 1972).
- Wischmeier/Smith 1978** W. H. Wischmeier, D. D. Smith, Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning (=USDA-ARS Agriculture Handbook N° 537) (Washington DC 1978).
- Woodruff/Siddoway 1965** N. P. Woodruff, F. H. Siddoway, A wind erosion equation. Soil Sc. Soc. Proc. 29, 1965, 602-609.
- Zabel 1998** M. Zabel, Die urgeschichtliche Besiedlung der Neuenhagener Oderinsel und deren Umfeldes – Konzept einer Magisterarbeit. In: Beiträge zum Oderprojekt 5 (Berlin 1998), 161-166.
- Zeidler 2001** J. A. Zeidler (Ed.), Dynamic Modeling of Landscape Evolution and Archaeological Site Distributions: A Three-Dimensional Approach (Fort Collins 2001). <http://www.cemml.colostate.edu/files/SEEDfinrep.pdf>

- Zeidler/Isaacson 2001** J. A. Zeidler, J. S. Isaacson, Managing Buried Archaeological Sites on Military Training Lands. In: J. A. Zeidler (Ed.), Dynamic Modeling of Landscape Evolution and Archaeological Site Distributions: A Three-Dimensional Approach (Fort Collins 2001), 1-15.
- Zepp 2002** H. Zepp, Geomorphologie: Eine Einführung (Paderborn, München, Wien, Zürich 2002)
- Zing 1940** A.W. Zing, Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff, Agric. Eng. 21, 59-64.

B Tabellen

| | | |
|------|---|-----|
| 6.1 | Zeitstellungsverteilung der Fundstellen im Testgebiet 2 (Havelland) | 29 |
| 6.2 | Ausmaß der mittelalterlich-neuzeitlichen Bodenerosion in Deutschland | 31 |
| 7.1 | Müncheberg-Dahmsdorf: Entwicklung der Bodenerosion | 34 |
| 7.2 | Ausmaß der Bodenerosion in Müncheberg-Dahmsdorf (Bronzezeit bis 1910) | 37 |
| 11.1 | Testgebiet 2 (Havelland): Mittlere Niederschlagsmengen. | 65 |
| 11.2 | Mittlere K-Faktoren der Ackerbeschriebe der Bodenschätzung. | 69 |
| 11.3 | Testgebiet 2 (Havelland): Schätzungen der K-, und C-Faktoren. | 71 |
| 13.1 | Dyrotz 37: Lage des Grabungsplatzes. | 82 |
| 14.1 | Prähistorische Besiedlungsphasen der Fundstelle Dyrotz 37 | 84 |
| 15.1 | Bodenhorizonte in der Stratigraphie der Fundstelle Dyrotz 37 | 112 |
| 15.2 | Dyrotz 37: stratigraphische Situation | 114 |

C Abbildungen

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Archäoregionen im Bundesland Brandenburg | 12 |
| 3.1 | Testgebiete 2 (Havelland): Lage im Bundesland Brandenburg | 17 |
| 5.1 | Oberflächenabfluss: beteiligte Faktoren. | 21 |
| 6.1 | Entwicklung der Landnutzung vom Mittelalter bis zur Neuzeit | 28 |
| 7.1 | Veränderung der Geländeroberfläche der Catena Dahmsdorf | 35 |
| 7.2 | Glasow: Rekonstruktion der Boden- und Reliefgenese | 36 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.3 | Glasow: Akkumulation des Schwemmfächers | 37 |
| 8.1 | CHILD-Modell: Schema der Zustandsvariablen und Prozess-Module. | 45 |
| 10.1 | Landschaft als Rastermodell. | 49 |
| 10.2 | Interpolationsverfahren im Vergleich. | 51 |
| 11.1 | Testgebiet 2 (Havelland): Digitales Höhenmodell | 54 |
| 11.2 | Testgebiet 2 (Havelland): Digitales Modell der Hangneigung | 56 |
| 11.3 | Digitales Modell der Hangrichtung | 58 |
| 11.4 | Testgebiet 2(Havelland): Digitale Modelle der Geländekrümmung. | 60 |
| 11.5 | Testgebiet 2 (Havelland): Modell des Oberflächenabflusses. | 63 |
| 11.6 | Regression zur Berechnung von R. | 67 |
| 11.7 | Testgebiet 2 (Havelland): Bodentypen | 69 |
| 12.1 | Testgebiet 2 (Havelland): Ergebniswerte des USPED-basierten Erosionsmodells. | 72 |
| 12.2 | Testgebiet 2 (Havelland): Ergebniswerte des Erosionsmodells für konstante K- und C-Faktoren. | 74 |
| 12.3 | Testgebiet 2 (Havelland): Ergebniswerte des Erosionsmodells für $R = 400$ | 78 |
| 14.1 | Dyrotz 37: Brunnen der Rössener Kultur (Neolithikum). | 89 |
| 14.2 | Dyrotz 37: Keramik der Rössener Kultur (Neolithikum). | 90 |
| 14.3 | Dyrotz 37: Funde des Neolithikums. | 91 |
| 14.4 | Dyrotz 37: Bronzezeitliche Holzwandkonstruktion. | 95 |
| 14.5 | Dyrotz 37: Funde der Bronzezeit. | 96 |
| 14.6 | Dyrotz 37: Keramik der vorrömischen Eisenzeit. | 99 |
| 14.7 | Dyrotz 37: Weitere Keramik der vorrömischen Eisenzeit. | 100 |
| 14.8 | Dyrotz 37: Grubenhaus der römischen Kaiserzeit. | 106 |
| 14.9 | Dyrotz 37: Keramik aus dem Grubenhaus (röm. Kaiserzeit). | 107 |
| 14.10 | Dyrotz 37: Weitere Keramik aus dem Grubenhaus (röm. Kaiserzeit). | 108 |
| 14.11 | Dyrotz 37: Keramik der römischen Kaiserzeit. | 109 |
| 14.12 | Dyrotz 37: Weitere Funde der römischen Kaiserzeit. | 110 |
| 14.13 | Dyrotz 37: Weitere Keramik der römischen Kaiserzeit. | 111 |

| | | |
|------|--|-----|
| 15.1 | Dyrotz 37: Profilschnitt durch die bronzezeitliche Holzwandkonstruktion. | 115 |
| 16.1 | Dyrotz 37: Ergebnisse des USPED-basierten Erosionsmodells. | 118 |
| 17.1 | Testgebiet 2 (Havelland): Verteilung der archäologischen Fundstellen | 120 |
| 17.2 | Testgebiet 2 (Havelland): Beziehung von Fundpunkten und Geomorphologie. | 121 |
| 20.1 | Die Dynamik der Mensch-Umwelt-Spirale – das Bodensyndrom. | 127 |

D Formeln

| | | |
|------|--|----|
| 5.1 | Winderosion nach Woodruff et al. 1965 | 22 |
| 8.1 | Universal Soil Loss Equation (USLE) | 41 |
| 8.2 | USPED, Berechnung des Sedimentflusses | 42 |
| 8.3 | USPED, Berechnung der Netto-Erosion bzw. -Akkumulation | 42 |
| 11.1 | Berechnung des R-Faktors | 66 |
| 11.2 | Schätzung des R-Faktors aus den mittleren Sommerniederschlägen | 66 |
| 11.3 | Berechnung des C-Faktors | 67 |
| 11.4 | Berechnung des K-Faktors | 69 |