

BERLINER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

---

Herausgegeben von Peter - Jürgen Ergenzinger, Dieter Jäkel, Hans - Joachim Pachur  
und Wilhelm Wöhlke

Schriftleitung: Dieter Jäkel

Heft 48

Klaus Möller

# Reliefentwicklung und Auslaugung in der Umgebung des Unterrerra-Sattels (Nordhessen)

187 Seiten, 55 Abbildungen, 20 Tabellen, 2 Karten

Beiträge zur Werra-Meißner-Forschung II

1988

---

Im Selbstverlag des Institutes für Physische Geographie der Freien Universität Berlin

ISBN 3 - 88009 - 047 - 5

*Klaus Möller*

Reliefentwicklung und Auslaugung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels (Nordhessen)



BERLINER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

---

Herausgegeben von Peter - Jürgen Ergenzinger, Dieter Jäkel, Hans - Joachim Pachur  
und Wilhelm Wöhlke

Schriftleitung: Dieter Jäkel

Heft 48

Klaus Möller

# Reliefentwicklung und Auslaugung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels (Nordhessen)

187 Seiten, 55 Abbildungen, 20 Tabellen, 2 Karten

Beiträge zur Werra-Meißner-Forschung II

1988

---

Im Selbstverlag des Institutes für Physische Geographie der Freien Universität Berlin

ISBN 3 - 88009 - 047 - 5

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit erwuchs aus meiner langjährigen Tätigkeit in Nordhessen. Folgenden Personen und Institutionen möchte ich Dank sagen für ihre Förderung, für ihre Informationsbereitstellung und für ihre praktische Hilfe.

Herr Prof. Dr. G. STÄBLEIN, dem ich für die ein Jahrzehnt dauernde Förderung und gute Zusammenarbeit herzlich danke, betreute die Arbeit in der Anfangsphase.

Herr Prof. Dr. D. JÄKEL übernahm nach dem Weggang von Prof. STÄBLEIN die Betreuung der Arbeit in der Abschlußphase.

Die Geländearbeiten wurden in den Jahren 1982 bis 1986 durchgeführt. Sie wurden durch die großzügige Förderung der Freien Universität Berlin, die in Eschwege an der Blauen Kuppe ein Standquartier unterhält, ermöglicht. Darüber hinaus versorgte sie die Nordhessenforschung mit dem benötigten Arbeitsmaterial.

Dank möchte ich auch Herrn Prof. Dr. H.-K. BRÖHL, Herrn Prof. Dr. V. JACOBSHAGEN und Herrn Prof. Dr. W. WÖHLKE aussprechen, deren Diskussionsbeiträge mir eine große Hilfe waren. Herr Dr. F. RÖSING förderte die Arbeit auf vielen gemeinsamen Geländebegehungen. Herr Prof. Dr. S. RITZKOWSKI, Geologisch Paläontologisches Institut der Universität Göttingen, ermöglichte mir Einblick in die von ihm betreuten Diplomarbeiten zu nehmen und stellte Kontakt zur Bibliothek seines Hauses her, deren Mitarbeiterinnen mich beispielhaft betreuten.

Ebenfalls hervorheben möchte ich die Koordinationskommission des GMK-Schwerpunktprogrammes der Deutschen Forschungsgemeinschaft, in deren Dienst ich das benötigte Rüstzeug erwarb. Vor allem Herr Prof. Dr. H. LESER war es, der immer wieder konsequent geomorphographisches Arbeiten förderte.

Frau R. DÖLLE und Herrn W. DÖLLE, Standquartier der FU-Berlin in Eschwege, machten mir die Aufenthalte zur Feldarbeit angenehm und stellten die benötigten regionalen Kontakte her. Arbeitserleichterung war die Oberlassung von Informationsmaterial durch die Behörden des Werra-Meißner-Kreises.

Die Mitarbeiter der ehemaligen Arbeitsgruppe STÄBLEIN leisteten zum Teil kritische Hilfe ohne die diese Arbeit noch nicht vorläge.

Bei der Vorbereitung zur Drucklegung von Text und Kartenbeilagen unterstützten mich Herr H. ANGERHÖFER, Grebendorf, bei der Korrekturlesung, Herr J. SCHULZ und Herr M. PINNOW bei der kartographischen Darstellung und P. WAIBL und B. FÜRSTER als Mitarbeiter des Reprolabors Kartographie der FU Berlin.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meiner Lebensgefährtin Gerlind und unseren gemeinsamen Kindern Till und Johanna sowie Maja Yvonne. Sie alle opferten viel von unserer gemeinsamen Zeit zugunsten dieser Arbeit.

Berlin, Juni 1988

Klaus Möller

# Inhaltsverzeichnis

|  | Seite |
|--|-------|
| 1. Einleitung .....  | 11    |
| 1.1 Problemstellung .....  | 11    |
| 1.2 Bezeichnung der Auslaugungsformen .....  | 11    |
| 1.3 Die Entstehung von Auslaugungsformen .....   | 16    |
| 2. Untersuchungsgebiet und Forschungsstand .....   | 23    |
| 2.1 Das Untersuchungsgebiet .....  | 23    |
| 2.1.1 Die geologischen Verhältnisse .....  | 24    |
| 2.1.2 Die hydrographischen und morphographischen Verhältnisse<br>der Täler .....                               | 34    |
| 2.1.3 Die klimatischen Verhältnisse .....  | 37    |
| 2.1.4 Die bodenkundlichen Verhältnisse .....   | 38    |
| 2.2 Forschungsstand .....  | 40    |
| 2.2.1 Geomorphologischer Forschungsstand .....   | 40    |
| 2.2.1.1 Vorarbeiten .....  | 40    |
| 2.2.1.2 Arbeiten in der weiteren Umgebung des Unterwerra-<br>Sattels .....                                     | 40    |
| 2.2.1.3 Arbeiten zu komplexen Reliefausschnitten .....   | 41    |
| 2.2.1.4 Arbeiten zur Talentwicklung der Werra .....  | 42    |
| 2.2.1.5 Arbeiten zur Auslaugung .....  | 44    |
| 2.2.2 Geologischer Forschungsstand .....   | 46    |
| 2.2.2.1 Die geologische Grundaufnahme .....  | 46    |
| 2.2.2.2 Die saxonische Tektonik .....  | 46    |
| 2.2.2.3 Neuere Arbeiten .....  | 48    |
| 2.2.2.4 Die Geologie des Meißnergebietes .....   | 48    |
| 2.2.2.5 Auslaugung im Untersuchungsgebiet .....  | 49    |
| 2.2.2.6 Auslaugungsgebiete außerhalb des Untersuchungsge-<br>bietes .....                                      | 49    |
| 2.2.2.7 Arbeiten im Südharz, Thüringen und im Werra-Kali-<br>gebiet (DDR-Gebiet) .....                         | 49    |
| 2.2.2.8 Arbeiten im Fulda-Kaligebiet, der Hessischen Sen-<br>ke, deren nördlicher Fortsetzung und im Südharz . | 54    |
| 2.2.3 Hydrogeologischer Forschungsstand .....  | 57    |
| 3. Arbeitsmethoden .....   | 59    |
| 3.1 Kartierung der Auslaugungsformen .....   | 59    |
| 3.1.1 Geomorphologische Detailkartierung .....   | 59    |
| 3.1.2 Kartenauswertung .....   | 59    |
| 3.1.3 Luftbildauswertung .....   | 61    |
| 3.2 Hydrochemische Parameter von Oberflächenwässern und von wasser-<br>wirtschaftlich genutzten Wässern .....  | 62    |
| 3.2.1 Chloridgehalt .....  | 63    |
| 3.2.2 Sulfatgehalt .....   | 63    |
| 3.2.3 Carbonatgehalt .....   | 64    |
| 3.3 Flachbohrungen .....   | 64    |
| 3.4 Flachseismik .....   | 64    |
| 3.5 Relative Altersbestimmungen .....  | 64    |
| 3.6 Graphische Darstellung der Ergebnisse .....  | 65    |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.     | Auslaugungsformen im Untersuchungsgebiet, regionale Analyse .....   | 66  |
| 4.1    | Das Kleinalmeroder Becken .....   | 66  |
| 4.2    | Der Altmorschen-Lichtenauer Graben .....  | 73  |
| 4.3    | Der Hohe Meißner .....  | 74  |
| 4.4    | Das östliche Meißner-Vorland .....  | 81  |
| 4.4.1  | Die Buntsandsteinbedeckung zwischen Frankenhain und Hilgershausen .....   | 82  |
| 4.4.2  | Der Zechsteinausstrich zwischen Hilgershausen und Niddawitzhausen .....   | 83  |
| 4.4.3  | Die Buntsandsteinbedeckung zwischen Reichensachsen, Rodebach und Küchen .....                                     | 92  |
| 4.5    | Das Werratal .....  | 94  |
| 4.5.1  | Das Werratal zwischen Ermschwerd und Wendershausen .....  | 94  |
| 4.5.2  | Das Werratal zwischen Bad Sooden-Allendorf und Albugen ..   | 96  |
| 4.5.3  | Das Werratal zwischen Frieda und Heldra .....   | 98  |
| 4.6    | Das Wehretal .....  | 100 |
| 4.7    | Das Eschweger Becken .....  | 101 |
| 4.7.1  | Die Buntsandsteinverebnungen zwischen Frieda und Fürstenstein .....   | 102 |
| 4.7.2  | Die Werratalaue .....   | 105 |
| 4.7.3  | Die Fußflächenregion des Unteren Buntsandsteins .....   | 109 |
| 4.8    | Der Schlierbachswald .....  | 110 |
| 4.9    | Die Muschelkalkschichtstufe zwischen Graburg und Spitzenberg ....   | 111 |
| 4.10   | Die Nordflanke des Netratales .....   | 114 |
| 4.11   | Der rechte Werratalhang .....   | 116 |
| 4.11.1 | Die Schichtstufe zwischen Karnberg, Keudelskuppe und Eichenberg .....   | 116 |
| 4.11.2 | Die Talkessel der Gobert .....  | 118 |
| 4.12   | Die Nordostabdachung des Unterwerra-Sattels .....   | 120 |
| 4.12.1 | Die Sattelflanke zwischen Ahrenberg und Flachsbach .....  | 122 |
| 4.12.2 | Die Abdachung des Unterwerra-Sattels zwischen Wendershausen und Witzenhausen .....                                | 123 |
| 4.12.3 | Der Nordabfall des Kleinalmeroder Beckens zwischen Ermschwerd und Witzenhausen .....                              | 125 |
| 5.     | Interpretation der Ergebnisse .....   | 128 |
| 5.1    | Landschaftsgenese, Salzverbreitung, Bedingungen zur Entstehung von Auslaugungsformen und Reliefgenerationen ..... | 128 |
| 5.1.1  | Der Nordwesten des Unterwerra-Sattels zwischen Werra und der Landstufe des Kaufunger Waldes .....                 | 134 |
| 5.1.2  | Der Westen des Unterwerra-Sattels bis in den Altmorschen-Lichtenauer Graben .....                                 | 139 |
| 5.1.3  | Der Südosten des Unterwerra-Sattels bis zu den umrahmenden Muschelkalkstufen .....                                | 146 |
| 5.1.4  | Der Osten des Unterwerra-Sattels bis zur Muschelkalkstufe der Gobert .....  | 149 |
| 6.     | Quellen .....   | 154 |
| 6.1    | Literatur .....   | 154 |
| 6.2    | Karten .....  | 173 |
| 6.3    | Luftbilder .....  | 174 |

|   |     |
|---|-----|
| 7. Anhang .....   | 174 |
| 7.1 Auswahl von Analysenwerten wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer . | 175 |
| 7.2 Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer .....      | 179 |
| 8. Kurzfassung .....  | 183 |
| Summary .....   | 184 |
| Résumé .....  | 186 |

## Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Beilagen

| Abbildungen   | Seite |
|---|-------|
| Abb. 1: Topographische Situation des Untersuchungsgebietes .....  | 13    |
| Abb. 2: Laoghöhle im Gipskarst unterhalb Fürstenstein .....   | 14    |
| Abb. 3: Schema eines Erdfalls .....   | 15    |
| Abb. 4: Schüsselförmiger Erdfall .....  | 17    |
| Abb. 5: Die wichtigsten Verkarstungsfaktoren und ihre Wirkung .....   | 18    |
| Abb. 6: Dolinentypen .....  | 19    |
| Abb. 7: Schema von Auslaugungserscheinungen im Werra-Kaligebiet der DDR .   | 22    |
| Abb. 8: Topographische Übersicht des Untersuchungsgebietes .....  | 23    |
| Abb. 9: Geologisch-Geomorphologische Übersicht über die Umgebung des<br>Unterwerra-Sattels .....                        | 25    |
| Abb. 10: Die Mächtigkeiten des Unteren und des Mittleren Buntsandsteins<br>in Nordhessen/Südniedersachsen .....         | 31    |
| Abb. 11: Die Monatssummen der Niederschläge an den Talstationen Eisenach,<br>Eschwege und Witzenhausen .....            | 38    |
| Abb. 12: Übersicht über die großräumigen geomorphologischen Arbeiten in<br>der Umgebung des Unterwerra-Sattels .....    | 42    |
| Abb. 13: Flächenniveaus in der Umgebung des Unterwerra-Sattels .....  | 43    |
| Abb. 14: Salzverbreitung und Abgrenzung eines Salzhanges in der Umgebung<br>des Eschweger Beckens .....                 | 45    |
| Abb. 15: Die Einflüsse der saxonischen Gebirgsbildung in der Umgebung des<br>Unterwerra-Sattels .....                   | 47    |
| Abb. 16: Schema der Subrosionsvorgänge in Salinargesteinen .....  | 50    |
| Abb. 17: Die zeitliche Stellung der Senkungsvorgänge am Beispiel der von<br>ELLENBERG bearbeiteten Subrosionsseen ..... | 52    |
| Abb. 18: Schematische Reliefkonfiguration zur Ausweisung eines großräumi-<br>gen Auslaugungsbereiches .....             | 60    |
| Abb. 19: Übersicht des für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Kartenma-<br>terials .....                              | 61    |
| Abb. 20: Übersicht der für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Luftbilder<br>im Maßstab 1:12 000 - 1:15 000 .....      | 62    |
| Abb. 21: Übersicht über die untergliederten Raumeinheiten .....   | 66    |
| Abb. 22: Auslaugungsformen westlich der Ortschaft Roßbach .....   | 69    |
| Abb. 23: Geomorphographische Elemente zur Salzhangausweisung am Beispiel<br>des Dohrenbachtals .....                    | 71    |
| Abb. 24: Einsturzdolinen- und Erdfallfelder in der südlichen Umgebung der<br>Domäne Rückerode .....                     | 73    |
| Abb. 25: Dolinen im Tal von Weißenbach .....  | 75    |



|  |     |
|--|-----|
| Abb. 26: Der Hohe Meißner - Reliefgenese nach der Vorstellung von DAVIS & BROWN .....  | 76  |
| Abb. 27: Großräumige Auslaugungsbereiche in der Umgebung des Meißners und ihre Aufreihung an Kreuzungspunkten von tektonischen Lineamenten ..... | 79  |
| Abb. 28: Einsturzdolinen im Röt am Südhang des Meißners .....  | 81  |
| Abb. 29: Geomorphographische Verhältnisse in der Ausraumzone von Hilgershausen .....   | 85  |
| Abb. 30: Einsturzdoline, durch fortschreitende Gipsauslaugung in Weiterbildung .....   | 86  |
| Abb. 31: Karstformen zwischen Orferode und Kammerbach .....  | 87  |
| Abb. 32: Die geomorphographischen Verhältnisse auf dem Wellingeröder Plateau .....   | 91  |
| Abb. 33: Der großräumige Auslaugungsbereich zwischen Wendershausen und Unterrieden .....   | 95  |
| Abb. 34: Die geomorphographischen Elemente über dem Salzhang zwischen Albugen und Schloß Rothstein .....   | 97  |
| Abb. 35: Der großräumige Auslaugungsbereich südlich Altenburschla .....  | 99  |
| Abb. 36: Auslaugungsbedingte Einbuchtungen am Osthang des Wehretals zwischen Reichensachsen und Oberhone .....                                   | 103 |
| Abb. 37: Auslaugungsformen zwischen Hahnkroth und Fürstenstein .....   | 104 |
| Abb. 38: Der großräumige Auslaugungsbereich des Eschweger Beckens und seine Randstrukturen .....   | 107 |
| Abb. 39: Durch Auslaugung zerrüttete Fußflächenregion im Unteren Buntsandstein südlich Niederdünzabach .....                                     | 108 |
| Abb. 40: Geomorphographische Elemente des Talkessels von Rambach .....   | 113 |
| Abb. 41: Auslaugungserscheinungen zwischen Datterode und der Boyneburg ...   | 115 |
| Abb. 42: Die geomorphographischen Elemente des Gatterbachtals .....  | 117 |
| Abb. 43: Topographisch-geologisches Profil von der Werra zum Hohestein ...   | 118 |
| Abb. 44: Geomorphographische Elemente im Ammicheröder Talkessel .....  | 121 |
| Abb. 45: Einsturzdoline bei Wendershausen .....  | 124 |
| Abb. 46: Auslaugungsformen zwischen Werra und Rodeberg .....   | 127 |
| Abb. 47: Salzverbreitung und geomorphologischer Salzhang in der Umgebung des Unterwerra-Sattels .....  | 131 |
| Abb. 48: Modell der Reliefentwicklung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels .....   | 133 |
| Abb. 49: Schematisches Profil zur Reliefentwicklung zwischen Werra und Bilstein .....  | 135 |
| Abb. 50: Schematisches Profil zur Reliefentwicklung zwischen Werra, Meißner und Altmorschen-Lichtenauer-Graben .....                             | 141 |
| Abb. 51: Skizze eines frisch eingebrochenen Erdfalls mit deutlich abgeschlossenem Fangerhorizont .....   | 142 |
| Abb. 52: Geländekanten im Beckingsgraben, die mit Werratalterrassen in Zusammenhang stehen .....   | 145 |
| Abb. 53: Schematisches Profil zur Reliefentwicklung zwischen Eschwege und der Graburg .....  | 149 |
| Abb. 54: Schematisches Profil zur Reliefentwicklung zwischen Werra und Gobert .....  | 150 |
| Abb. 55: Auslaugungssegmente südwestlich Schloß Rothstein .....  | 153 |

#### Tabellen

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1: Beziehungen zwischen Erdfalldurchmesser, Deckgebirgsmächtigkeit und der Größe des ursächlichen Hohlraumes ..... | 21 |
| Tab. 2: Stratigraphie des Zechsteins im Bereich des Unterwerra-Sattels ..   | 27 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 3: Buntsandsteinmächtigkeiten am Hohen Meißner und bei Grebendorf-Neuerode .....  | 29  |
| Tab. 4: Die Stratigraphie in der Umgebung des Unterwerra-Sattels unter besonderer Berücksichtigung auslaugungsfähiger Substanzen .....                                       | 35  |
| Tab. 5: Niederschlagssummen an der Meßstation Hausen .....   | 38  |
| Tab. 6: Bodenarten und Bodentypen in Zuordnung zum Ausgangssubstrat .....  | 39  |
| Tab. 7: Tabellarische Übersicht über Gesteine, in denen Karst- und Korrosionserscheinungen beobachtet werden .....   | 55  |
| Tab. 8: Aufnahmeverfahren der Auslaugungsformen .....  | 59  |
| Tab. 9: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Kleinalmeröder Becken .....                                       | 72  |
| Tab. 10: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Altmorschen-Lichtenauer-Graben und seiner östlichen Flanke ..... | 77  |
| Tab. 11: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer auf dem Hohen Meißner und an seinen Hängen .....                    | 78  |
| Tab. 12: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im nördlichen Meißnergebiet .....                                   | 83  |
| Tab. 13: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer in der Ausraumzone von Hilgershausen .....                          | 84  |
| Tab. 14: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Einzugsgebiet der Berka .....                                    | 90  |
| Tab. 15: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Werratal zwischen Bad Sooden-Allendorf und Albugen .....         | 98  |
| Tab. 16: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Eschweger Becken .....   | 106 |
| Tab. 17: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Schlierbachswald .....   | 111 |
| Tab. 18: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer an der Muschelkalkstufe zwischen Graburg und Spitzenberg .....      | 114 |
| Tab. 19: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer in den Talkesseln der Gobert .....                                  | 123 |
| Tab. 20: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer an der Nordostabdachung des Unterwerra-Sattels .....                | 125 |

#### Kartenbeilagen

Beilage 1: Auslaugungsformen in der Umgebung des Unterwerra-Sattels

Beilage 2: Gelöste Karbonate, Sulfate und Chloride in Oberflächen- und wasserwirtschaftlich erfaßten Wässern



## 1. Einleitung

Mit der Geomorphologie des Werra-Meißner-Gebietes begann ich mich im Jahre 1977 zu beschäftigen. Hierbei vermittelten mir zuerst Exkursionen einen allgemeinen Überblick, den ich bei der Feldaufnahme zur GMK 25 Blatt 17, 4725 Bad Sooden-Allendorf (MÜLLER & STÄBLEIN 1984), vertiefte. Im Anschluß daran arbeitete ich als Veranstalter von Exkursionen und Praktika in diesem Raum weiter.

Durch die Beschäftigung mit diesem Teil Nordhessens erhielt ich Einblick in die unterschiedlichsten Fragestellungen. Von der klassischen Rumpfflächentheorie bis hin zur reinen Strukturgeomorphologie reichten die geomorphologischen Themen. Hinzu traten Fragen zu Aspekten der Landnutzung und den daraus resultierenden Interessenskonflikten, wie z.B.

- der Braunkohleabbau am Hohen Meißner,
- die Werraversalzung und
- die Deponiefrage.

Sie sind in dieser Region ständig neu zu beantworten.

Bei der Bearbeitung dieser Fragestellungen stellte sich heraus, daß immer wieder der Faktor Auslaugung und als Folge Hohlformen im Untergrund und an der Erdoberfläche bei der Inwertsetzung von Standorten maßgebliche Bedeutung hat. Hier liegt der Grund für die Fragestellung, wobei ich davon ausgehe, daß die systematische Erfassung von Auslaugungserscheinungen und ihre Interpretation innerhalb des bestehenden Reliefs die beste Grundlage für die Beantwortung umweltrelevanter Fragestellungen ist.

### 1.1 Problemstellung

Mit der vorliegenden Arbeit soll der Einfluß der Auslaugung auf die Reliefentwicklung in einem durch geologisch/tektonische Strukturen vorgezeichneten Gebiet in Nordhessen untersucht und aufgezeigt werden.

Als Untersuchungsgebiet wurde die Umgebung des Unterwerra-Sattels gewählt, welche von großen Grabenstrukturen begrenzt wird (Abb. 1).

Ausgangspunkt für die Untersuchung ist die geomorphologische Detailkarte GMK 25 Blatt 17, 4725 Bad Sooden-Allendorf (MÜLLER & STÄBLEIN 1984), die im Klein- bis Mittelformenbereich, aber auch in den Großformen eine Vielzahl von Auslaugungsphänomenen aufzeigt.

Um Aussagen über diesen Themenbereich machen zu können, müssen die Bedingungen und Impulse, welche Subrosionserscheinungen ermöglichen, ermittelt werden. Der Weg dorthin führt über:

1. die detaillierte Kartierung aller Subrosionsformen im Untersuchungsgebiet,
2. die Zusammenstellung und Diskussion der geologischen, geomorphologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation unter besonderer Berücksichtigung der Auslaugung,
3. die Korrelation der geomorphographischen, geologischen und hydrochemischen Ergebnisse in Bezug auf ausgelaugte Substanzen und ihre geomorphologische Wirksamkeit.

Ziel der Arbeit ist, ein Modell zu entwickeln, das die Reliefentwicklung detaillierter vorstellt als die bisherigen Arbeiten, deren Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Untersuchungsansätze wenig vergleichbar sind und die das Auslaugungsphänomen vernachlässigen bzw. auf die Formel: "tektonisch und / oder subrosiv" (GARLEFF 1985) reduzieren.

### 1.2 Bezeichnung der Auslaugungsformen

In Anlehnung an STÄBLEIN & MÜLLER (1986) sowie STÄBLEIN (1986), die sich im Zusam-

menhang mit dem östlichen Meißnervorland zur Terminologie äußern, sind die der Arbeit zugrunde liegenden Karstbegriffe zu erläutern. Es wird dabei folgende Definition als gültig angesehen:

"Verkarstung ist der natürliche Auflösungs- oder Zersetzungsprozeß von Gesteinen durch Wasser, unterstützt durch mechanische Vorgänge wie Korrosion und Versturz; das kann zur morphologischen Umgestaltung des Reliefs oder im Untergrund führen und eine entsprechende Änderung des hydrologischen Regimes zur Folge haben." (REUTER & KOCKERT 1971:344).

Es geht daraus hervor, daß eine Unterscheidung in der Terminologie, wie sie WEBER (1930:180, 1958:142) vorgenommen hat, indem er den Verkarstungsbegriff im Kalkstein und den Auslaugungsbegriff im Gips und Salz anwandte, nicht übernommen wird. Die daraus logischerweise folgende Differenzierung der Begriffe im Sinne STEINBRECHERs (1960:322), der von Auslaugung im Gips und von Ablaugung im Salz spricht, erscheint vor dem Hintergrund der regulären bzw. irregulären Auslaugung WEBERs (1930 ff.) als nicht nachvollziehbar. Zumindest im Bereich der irregulären Auslaugung ließe sich der Begriffsstreit, ob nun Auslaugung oder Ablaugung vorliegt, erneut entfachen, denn beide Auslaugungsphänomene treten im Untersuchungsgebiet sowohl im Salzkarst als auch im Gipskarst auf, im letzteren allerdings kleinräumiger. Die Begriffe Verkarstung und Auslaugung werden demzufolge synonym verwendet.

Schwerpunkt der Arbeit ist die Untersuchung der geomorphologischen Umgestaltung des Reliefs unter besonderer Berücksichtigung der Verkarstung. Das Untersuchungsgebiet liegt zu einem großen Teil unter Wald bzw. unter landwirtschaftlicher Nutzung, so daß von bedecktem Karst gesprochen werden kann. An einigen Stellen tritt das Gestein an die Oberfläche. Hier handelt es sich um nackten Karst (z.B. Hie- und Kripplöcher). Der auftretende Formenschatz muß klassifiziert werden, um ihn vergleichen zu können. Eine derartige Klassifikation erscheint aber nur dann sinnvoll, wenn sie sich nicht nur ausschließlich an wissenschaftlichen Gesichtspunkten, sondern vor allem an der Umsetz-

barkeit im angewandten Teil einer Wissenschaft orientiert (REUTER 1965:202). Deshalb wurde versucht, die Begriffsvielfalt, die in der Literatur verwandt wird, für das von mir bearbeitete Gebiet zu vereinfachen.

Es betrifft dies insbesondere:

- den Erdfallbegriff in SIMON (1980:47),
- die Verwendung des Terminus Ablaugung in BRUNOTTE, GARLEFF & JORDAN (1985:284),
- den Dolinenbegriff in SEMMEL (1984:80),
- den Wissenschaftsstreit um die Zulässigkeit der Begriffe Ablaugung im Steinsalz und Auslaugung im Gips von STEINBRECHER (1959,1960), HOYNINGEN-HUENE (1960 a,b) sowie HOYNINGEN-HUENE & REUTER (1963),
- das Fehlen des Erdfallbegriffs bei der Erläuterung des Karstformenschatzes in PFEFFER (1978),
- die undifferenziert oder synonym benutzten Termini Erdfall und Doline in PFEFFER (1984b:268-270).

Nach CRAMER (1941:326) ist die Aufgabe einer wissenschaftlichen Systematik geomorphologischer Phänomene die folgende: durch Aufstellung möglichst weniger Typen eine große Bandbreite von Einzelercheinungen nach natürlichen Gesichtspunkten zu gruppieren. Unter Berücksichtigung der die Verkarstung beeinflussenden Faktoren Klima (arid, humid) und Gestein (lösliche Schichten, tektonische Beeinflussung und Gesteinsfestigkeit), die sich noch erweitern lassen (vgl. 2.2.2.6-2.2.2.8), erscheint es möglich, in Ergänzung zu STABLEIN (1986) sowie STABLEIN & MÜLLER (1986) eine Formdifferenzierung vorzunehmen, die auf das Ausgangsgestein bezogen ist. In Anlehnung an PRIESNITZ (1969a:432) und ELLENBERG (1982:68) halte ich es für sinnvoll, von Karbonatkarst, Gipskarst und Salzkarst zu sprechen.

Für eine erste, noch nicht karstbezogene Größenordnungsmäßige Einstufung wird auf die von LESER (1977:71) vorgegebene geomorphometrische Einteilung nach der Basisbreite (B) zurückgegriffen. Sie wird durch die Erfahrung aus geomorphologischen Geländearbeiten ergänzt durch den Begriff der Kleinformen. Hieraus resultiert eine Verschiebung der Grenzwerte für die Mesofor-

- Picoformen      B < 1 cm,
- Nanoformen     B > 1 cm - 1 m,
- Mikroformen    B > 1 m - 100 m,
- Kleinformen    B > 100 m - 1 km,
- Mesoformen     B > 1 km - 10 km,
- Makroformen    B > 10 km - 1000 km.

auch als Rillenkarren bezeichnet werden, ist abhängig von der Blockgröße. Formen bis zu 0,6 m Länge sind beobachtet worden.

Etwas größere im Untersuchungsgebiet auftretende, an Gipse im Untergrund gebundene Formen sind die Laughöhlen (Abb. 2). Sie erreichen Durchmesser bis zu 0,5 m und stellen die Verbindung zu einer im Hochbruch befindlichen Höhle dar (HOYNINGEN-HUENE & REUTER 1963:537). Sie sind, wie beobachtet, an episodischen Abfluß gebunden.

#### Pico- und Nanoformen

Als kleinste Formen treten die Karren auf, denen wegen ihrer geringen Größe lediglich eine Überprägung der im Tagesausstrich liegenden gips- und kalkhaltigen Gesteinsserien zugesprochen wird. Sie erreichen im Untersuchungsgebiet in günstiger Exposition auf Gips eine Breite bis zu 3 cm bei ebenso großer Tiefe. Die Länge der Formen, die

Eine weitere in dieser Größenklasse aufzuführende Form ist das Schluckloch oder die Karstschwinde. Sie kommt bei Eintritt von Gewässern in verkarstungsfähiges Gestein vor und führt das im Mittelgebirgsbereich

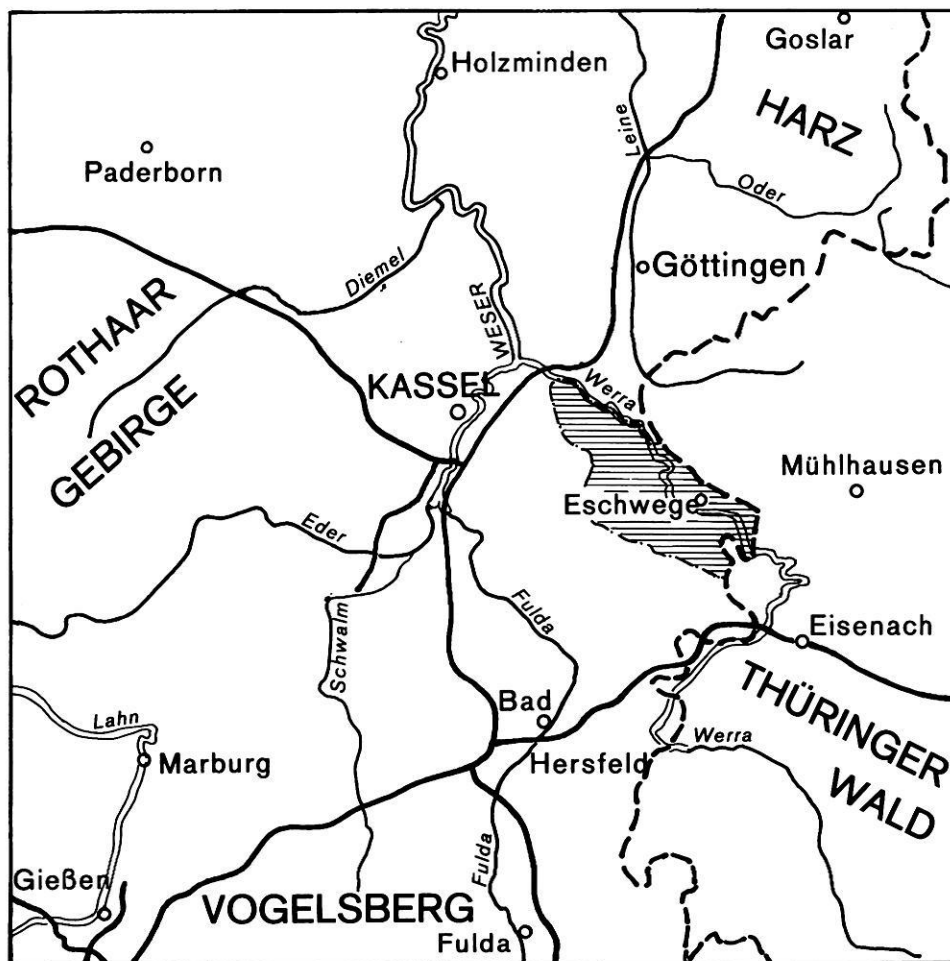


Abb. 1: Topographische Einordnung des Untersuchungsgebietes.

Die waagrecht schraffierte Fläche um Eschwege zeigt das Gebiet des Unterwerra-Sattels und seiner Umgebung. Für dieses Areal wird unter Einbeziehung der Subrosion die Reliefentwicklung aufgezeigt.

in der Regel perennierende Gewässer in den Untergrund ab (vgl. 4.1, 4.11).

#### Mikro- und Kleinformen

In dieser Größenklasse werden diejenigen Formen erfaßt, die unmittelbar auf Lösung im Untergrund zurückgehen und bei einer Feldaufnahme im Maßstab 1:10 000 noch hinreichend lage- und größengetreu kartiert werden können (vgl. 3.1).

Den allgemeinen Begriff der "Kave", einer geschlossenen Hohlform im geomorphologischen Sinne, deren tiefste Punkte tiefer liegen als sämtliche Punkte der Umgebung (GARLEFF 1968:11) und die GARLEFF auf unterschiedliche Genese zurückführt und diskutiert, wird bezüglich Auslaugung auf eine umfassendere, weil auch Genese berücksichtigende Klassifizierung zurückgeführt.

Als Leitfaden wird die von CRAMER (1941) vorgelegte genetische Systematik verwendet,

an der sich letztlich auch die moderne Terminologie von REUTER (1963) zur Klassifizierung von Karsterscheinungen orientiert.

In Abweichung von z.B. REUTER (1965), HOYNINGEN-HUENE & REUTER (1963), A. HERRMANN (1973a) und ENGELS (1973) - die letzten beiden gebrauchen die Begriffe Erdfall und Doline synonym als beschreibende Bezeichnung für oberflächlich sichtbare mehr oder weniger runde Hohlformen - oder auch von CRAMER (1941), wird in der vorliegenden Arbeit eine inhaltliche Unterscheidung zwischen den Begriffen Doline und Erdfall getroffen.

Dolinen sind der Oberbegriff für einfache trichter-, schüssel- oder kesselförmige, geschlossene Hohlformen mit unterirdischem Abfluß (verkürzte Definition von FINK 1973, zit. nach PFEFFER 1978:30). Die Tiefen variieren und erreichen in einem Fall 34 m (Kriplöcher, vgl. 4.4). Dolinen sind Formen in verkarstungsfähigen Gesteinen. Doli-



Abb. 2: Laughöhle im Gipskarst unterhalb Fürstenstein.

Die nordöstlich des Gutes Fürstenstein liegende Laughöhle (R 357027 / H 567853) ist das Ergebnis eines Lösungsprozesses, der durch den Oberflächenabfluß in den Fahrrinnen des Wirtschaftsweges gesteuert wird. Das Foto zeigt den Stand vom September 1985. Heute ist die Laughöhle zugeschüttet.

ne steht hier als Sammelbegriff mit der von CRAMER (1941) vorgegebenen Systematik für:

- Einsturzdolinen  
(erdfallartige Einsenkungen nach HOYNINGEN-HUENE & REUTER 1963),
- Schwunddolinen  
(Senkungskessel, Senkungswanne (REUTER 1965), Bodensenkungsdoline (GEYER 1956), Subsidenz- oder Senkungsdoline (BÜGLI 1963, 1965)),
- Lösungsdolinen und  
- Einspüldolinen  
(Suffosionsdoline (HOYNINGEN-HUENE & REUTER 1963), Schwemmlanddoline (CRAMER 1941), Erosionsdoline (GEYER 1956), Alluvialdoline (BÜGLI 1978)).

Darüber hinaus müssen in diesem Kontext noch die Auslaugungssenken (HOYNINGEN-HUENE & REUTER 1963:538) erwähnt werden, die als bruchlos verlaufende, auf Auslaugung zurückzuführende, auch im verkarstungsfähigen Material liegende, flache Formen angesehen werden. Von MÜLLER & STÄBLEIN (1984) sind sie als Subrosionssenken kartiert.

Demgegenüber betrachte ich den Begriff Erdfall wie LISZKOWSKI (1973 a) als Ausdruck für bruchartige Verformungen der Erdoberfläche infolge eines plötzlichen Einbruchs einer unterirdischen Hohlform. Ursache für den Erdfall ist ein durch Lösung bedingter Substanzschwund bzw. ein Massendefizit im tieferen Untergrund. Der Erdfall selbst liegt in nicht verkarstungsfähigen Gesteinsserien (Abb. 3).

Erdfälle treten ebenso wie Dolinen in Trichter-, Kessel- bzw. Schüsselform auf. Ihre Form und Größe ist abhängig von der Größe und der Tiefe des ausgelaugten Hohlraumes (vgl. 1.3), von der Standfestigkeit des einstürzenden Materials, von dem Alter der Form und von der topographischen Exposition.

Trichterförmige Erdfälle sind frische Formen und zeigen das umgebende Gestein im Anschnitt. Kesselförmige Erdfälle kommen im Untersuchungsgebiet als Formen vor, die der Verfüllung durch seitlichen Hangabtrag unterliegen. Schüsselförmige Erdfälle befinden sich im End- oder Anfangsstadium der Erdfallentwicklung (Abb. 4).

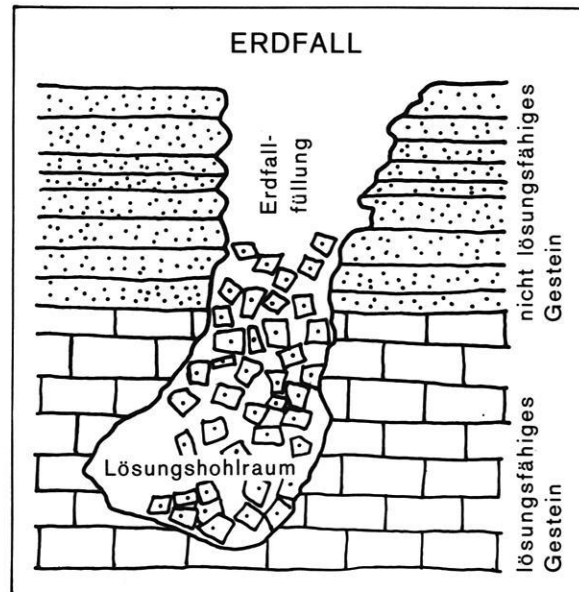


Abb. 3: Schema eines Erdfalls.  
(aus JENNINGS 1985:127, ergänzt).

Gemäß der Definition des Begriffes Erdfall zeigt die Abbildung eine Geländeform, die durch plötzlichen Einbruch in nicht verkarstungsfähigem Material entstanden ist. Ursache dieser Form ist ein Hohlraum im lösungsfähigen Gestein des tieferen Untergrundes, dessen Hangendes seine Tragfähigkeit überschreitet und zur Oberfläche hochbricht.

Als Sammelbegriff führe ich den Terminus Bodensenkung ein. Hierbei handelt es sich um einen schalenförmigen Erdfall (das Verhältnis von Tiefe zu Durchmesser ist klein), der in sich geschlossen ist, bzw. um eine in Hanglage oder im Talanfang gelegene Bodensenkung, die auf die im tieferen Untergrund stattfindende Auslaugung zurückgeht und als halboffene Form (geomorphologisch: Nische) bezeichnet werden muß. Sie tritt häufig bei auskeilenden Gesteinsschichten über verkarstungsfähigem Material auf und wird als Vorläufer von Erdfällen bezeichnet.

#### Mesoformen

In dieser Klasse treten die "großräumigen Auslaugungsbereiche" (MÜLLER 1982, 1985, MÜLLER & STÄBLEIN 1982, MÜLLER & STÄBLEIN 1984, STÄBLEIN 1986, STÄBLEIN & MÜLLER 1986) auf. Sie lassen sich nicht mehr direkt kartieren, sondern werden anhand der geomorphologisch bestimmbaren Reliefele-



mente unter Hinzuziehung der geologischen Verhältnisse ausgewiesen (vgl. 3.1). Ich verstehe unter diesen Formen unterschiedlich große Subrosionssenken im Sinne von LAEMMLEN, PRINZ & ROTH (1979), die nach WEBER (1930,ff) durch irreguläre Auslaugung, d.h. Auslaugung einer Lagerstätte innerhalb eines geschlossenen Vorkommens, entstehen und von GRADMANN (zit. nach GEYER 1956:261) als "Gesenke" bezeichnet werden.

Darüber hinaus entstehen in dieser Formkategorie noch die Zerrungsspalten, die sich im Gefolge der Salzhangentwicklung bilden können (vgl. 2.2.2.6-2.2.2.8). Sie können als Erdfälle und Erdfallreihen auftreten oder als regelrechte Abrisse von Gesteinspartien. Sie sind sowohl beim Typus der irregulären Auslaugung als auch beim Typ der regulären Auslaugung anzutreffen. Bei letzterer bilden sie dann ein einzelnes in einer Folge von Reliefelementen, die den Beginn des Salzhanges anzeigen (vgl. 4.11).

#### Makroformen

Die größte Form im Untersuchungsgebiet wird, bezogen auf die Auslaugung, durch den "Salzhang" als überregionales Gebilde repräsentiert (vgl. 2.2.2.5-2.2.2.8). Allgemein stellt sich der Salzhang als oberflächlich mehr oder weniger geneigte Fläche im Unteren Buntsandstein dar (HOPPE 1944: 268), die im Untersuchungsgebiet durch die Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins begrenzt wird. Der Salzhang schneidet die Lagerstätte schräg an (WEBER 1963:180), so daß es zu einem sukzessiven Nachsacken und Zerrütten des Hangenden kommt (vgl. 2). Für das Untersuchungsgebiet wird er aufgrund der geologischen Verhältnisse und der Vergesellschaftung mit den oben referierten Formen lokalisiert. Ein Salzspiegel, der die Lagerstätte annähernd horizontal (WEBER 1963:180) schneidet, ist für das Untersuchungsgebiet nicht nachgewiesen. Die Phänomene: Salzhanginnengrenze, als Linie bis zu der von außen im Untergrund Subrosion stattgefunden hat, und Salzhangaußengrenze als Linie, die den ehemaligen Salzhang bezeichnet (Definition nach LANGE & KXADING 1961:262), werden beide (DIETZ 1925) für den Raum südlich des Untersuchungsgebietes dargestellt. Sie lassen sich mit Einschrän-

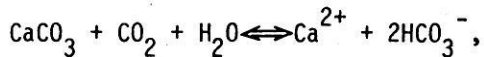
kungen für das Eschweger Becken (vgl. 4.7) aufzeigen. Nur hier existieren aufgrund von Wasseranalysen und Bohrergebnissen hinreichend viele Daten, die eine solche Grenzziehung, die FINKENWIRTH (1970) durchgeführt hat (vgl. 2.2.3), zulassen. Da im Untersuchungsgebiet aufgrund fehlender Bohrungen (vgl. 2.2.2) keine weitere Kenntnis über den Salzhang vorliegt, werden die vorbeschriebenen Formkategorien in Kombination mit anderen geomorphographischen, geologischen und hydrochemischen Kennwerten zur Ausgrenzung des Salzhanges verwendet (vgl. Kap. 3).

#### 1.3 Die Entstehung von Auslaugungsformen

Die in Kap. 1.2 vorgenommene Differenzierung der Karsttypen hängt von der unterschiedlichen Löslichkeit des Gesteins und der Lösungsgeschwindigkeit ab. So stehen nach PRINZ (1982:366 ff), aber auch nach PRIESNITZ (1969a:429), unter dem Einfluß von Regenwasser Kalk : Gips : Steinsalz in einem Lösungsverhältnis von  $10^0 : 10^2 : 10^4$ . Diese Angabe wird von BÜGLI (1978:14 f), der ein Verhältnis von  $(1 : 10-30) : 180$  angibt, bestätigt. Die allein aus diesem Verhältnis zu erwartende Geomorphodynamik berechtigt zu einer Unterscheidung von Kalk-, Sulfat- und Salzkarst und schließt damit an die terminologischen Betrachtungen in Kap. 1.2 an. Eigene Versuchssimulationen zum Lösungsverhalten wurden nicht durchgeführt, da auf umfangreiche Literatur zu den Prozessen, die zu Subrosionsformen führen, zurückgegriffen werden konnte (z.B. BÜGLI 1978, PFEFFER 1978, PRIESNITZ 1969a, 1972, PRINZ 1982, REUTER & KOCKERT 1971, ZÜTL 1974). Verwiesen sei in diesem Zusammenhang auch auf die Kap. 2.2.2.6 - 2.2.2.8.

Die unterschiedliche Lösungsfähigkeit hängt von der chemischen Zusammensetzung der Gesteine (der Karstgunst) und dem unter mitteleuropäischen, humiden Klimaverhältnissen zu erwartenden Lösungsverhalten ab, welches ferner abhängig ist von den hydrologischen Verhältnissen, dem Relief, der Vegetation und der Zeit. Unterschieden wird nach BÜGLI (1978):

1. Die Korrosion von Karbonaten als reversibler chemischer Vorgang mit der Lösungsgleichung:



führt in relativ reinen Kalken (Verunreinigung 0-10 %), aber auch in Dolomiten ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ) zur Bildung von Karbonatkarst. Die Löslichkeit von  $\text{CaCO}_3$  erreicht im Kalkstein Werte von:

- 14 mg/l in reinem  $\text{CO}_2$ -freiem Wasser,
- 40 mg/l in Regenwasser,
- 200 mg/l in Wasser mit hohem  $\text{CO}_2$ -Anteil aus Bodenluft und
- 400 mg/l in  $\text{CO}_2$ -gesättigtem Wasser (HUNDT 1950 zit. nach PRINZ 1982:368).

Die den Karbonatkarst steuernden Faktoren sind nach ZÜTL (1974:1 f):

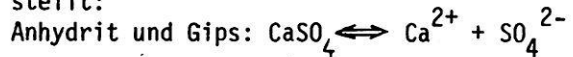
- der  $\text{CO}_2$ -Gehalt des Wassers,
- die Reinheit des Gesteins,
- die Klüftigkeit und tektonische Beanspruchung und
- die Temperatur.

Ihre Wirkungsweise ist durch PRIESNITZ (1969a), unter Einbeziehung vorgenannter Parameter, zusammengestellt (Abb. 5).

Die Gründe für das Fehlen des Karbonatkarstes im Untersuchungsgebiet ist auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- geringmächtige Bodenbedeckung auf den Muschelkalkstandorten,
- Klimaungunst (vgl. 2.1.3),
- große Klüftigkeit durch tektonische Beanspruchung des Gesteinskörpers (vgl. 2.1.1) und daraus resultierend schnelles Durchfließen der Niederschläge,
- hohe Lage über der Vorflut, so daß sich kein eigener Grundwasserkörper entwickelt, und daraus folgend
- geringer Vegetationsbesatz mit begrenzter Entwicklung von biogenem  $\text{CO}_2$  und organischen Säuren.

2. Die Korrosion von Gips und Steinsalz als reversibler physikalischer Vorgang wird durch folgende Lösungsgleichungen dargestellt:



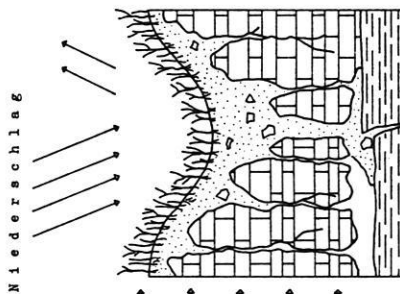
Die um Zehnerpotenzen höher liegende Lösungsfähigkeit des Steinsalzes liegt darin



Abb. 4: Schüsselförmiger Erdfall.

Der östlich der Straße Abterode - Mönchhof ausgebildete Erdfall (R 356580 / H 567478) liegt im Bröckelschiefer, der untersten Folge des Unteren Buntsandsteins. Er wird auf Auslaugung der Zechsteingipse zurückgeführt. Das Foto zeigt den Erdfall unmittelbar nach der Schneeschmelze im Frühjahr 1979. Der winterliche Frost plombiert den Abfluß in den Untergrund.

| Faktor                                     | exochthone Faktoren  |  |
|--|--|--|
|  | wirkt mittelbar über   | Reaktionsgeschwindigkeit<br>CO <sub>2</sub> -Löslichkeit<br>Vegetation |
| Temperatur                                 | Verringerung<br>der Wassermenge                                    | Karstgesteine  |
| Interseption<br>Evapotranspiration         | Abfluggifferenzierung,<br>biogenes CO <sub>2</sub> , organ. Säuren |  |
| Vegetation<br>Mikrotauna                   | Durchlässigkeit,<br>Standfestigkeit                                | Liegendes des Karstgesteine  |
| Bedeckung<br>Böden                         | Isoliertheit,<br>Lösungsgeschwindigkeit                            |  |
| Chemismus<br>Kristallart<br>Kristallgröße  | Kontaktfläche<br>Kontaktdauer                                      |  |
| Struktur, Textur,<br>Porosität<br>Klüftung | Lagerung<br>Mächtigkeit  |  |



| Faktor                                | wirkt mittelbar durch                            |
|---------------------------------------|--|
| Wasser<br>(Menge, Chemismus)          | Lösungsdifferenzierung                           |
| Ausgangs-, Nachbar-<br>Relief         | Förderung, Verlangsamung<br>des Lösungsprozesses |
| Zufluss                               | niveaubundene Lösung                             |
| Lösungsgeossen                        | unterirdische Lösung                             |
| Lage zur<br>Vorflut                   | Lösung in größerer Tiefe                         |
| Karsthydrologie                       |  |
| Mischungskorrosion,<br>Druckkorrosion |  |

Abb. 5: Die wichtigsten Verkarstungsfaktoren und ihre Wirkung.  
(aus PRIESNITZ 1969a:434).

Die Abbildung zeigt Einfluß und Wirkungsweise der an der Verkarstung beteiligten Faktoren und gibt einen knappen Einblick in die geomorphologischen Auswirkungen.

begründet, daß sich bei diesem Lösungsprozeß lediglich die Ionen aus dem Kristall-

gitter lösen, dabei keinerlei chemische Veränderung erfahren und bei der Auskristallisation wieder in das alte Kristallgitter zurückkehren. An absoluten Werten lassen sich aufzeigen:

- 2300 mg/l SO<sub>4</sub> bei maximaler Sättigung im Grundwasser,
- 700-800 mg/l SO<sub>4</sub> Teilsättigung im Allgemeinen (PRINZ 1982:371),
- 5000 mg/l SO<sub>4</sub> durch Chloride als Lösungsgeossen (PRIESNITZ 1972:325),
- 365000 mg/l NaCl (HUNDT 1950, zit. nach PRINZ 1982:375) und
- 100000 mg/l NaCl als Teilsättigung im bewegten Grundwasser (PRINZ 1982:375),

Von REUTER & MOLEK (1980 zit. nach PRINZ 1982:375) wird der Anteil der K<sup>+</sup>- und der Cl<sup>-</sup> Ionen als lösungsfördernd benannt. Die von BÜGLI (1964a) und PRIESNITZ (1969a:434) für den Karbonatkarst beschriebene Mischungskorrosion tritt auch im Bereich des Gipskarstes beim Aufeinandertreffen zweier SO<sub>4</sub>-gesättigter Lösungen mit unterschiedlichem NaCl-Gehalt auf (REUTER & KOCKERT 1971:344). Hier bildet sich dann eine Lösung mit mittlerem NaCl-Gehalt, welche bei geeigneten Randbedingungen noch weiteres SO<sub>4</sub> lösen kann. Im Untersuchungsgebiet sind folgende Faktoren vorhanden, die die Auslaugung vorantreiben (vgl. Abb. 5):

- ausreichendes Wasserdargebot (Werra, Meißnerneriederschläge vgl. 2.1.3),
- Lage in bzw. wenig oberhalb der Vorflut, also im auf den Vorfluter eingestellten Grundwasserbereich,
- daraus resultierendes karsthydrologisches System mit unterirdischer Lösung,
- tektonische Zerrüttung des Hangenden, die den Tageswässerzugang zu Gipsen und Salzen erschließt (vgl. 2.2.2),
- Bodenbedeckung, Bodenbildung und Vegetationsbestand, die weitestgehend in land- und forstwirtschaftlicher Nutzung sind und die Produktion von biogenem CO<sub>2</sub> in den orographischen Tiefenlagen positiv gegenüber Muschelkalkstandorten beeinflussen, sowie die
- günstigen klimatischen Voraussetzungen in weniger exponierter Lage.

Zusammenfassend betrachtet ergeben die Gesteinslagerung und die Gesteinszusammensetzung in Abhängigkeit von der orographi-

Zeit - Faktor  
Verkarstungsbeginn (Häbung, Abdeckung,  
Klimawandel seit Verkarstungsbeginn)

Konkurrenz  
mit anderen Verwitterungs-  
und Abtragungsprozessen

schen Situation und einer stattgefundenen geomorphogenetischen Oberprägung das Grundgerüst für den auftretenden Karstformenschatz. Die Genese der in Kap. 1.2 vorgestellten Formen wird im folgenden erläutert. Die verwandten Begriffe entsprechen der eingeführten Terminologie.

### Karren

Als reine Oberflächenformen treten, bedingt durch Tageswässer, Karren überall dort auf, wo sowohl Lösung als auch Erosion an geneigten Reliefelementen rillenhaft vorherrschen. Hierbei darf ein Gleichgewichtszustand zugunsten der Lösung nicht überschritten werden, da sonst flächenhafter Abtrag auf diesen Reliefelementen stattfinden würde (PRIESNITZ 1969a, REUTER 1963).

### Laughöhlen

sind Oberflächenformen, die mit unterirdischen Formen als gemischte Formen (HOYNINGEN-HUENE & REUTER 1963:537) vergesellschaftet sind. Sie entstehen durch das Lösungsverhalten episodischer Tageswässer entlang von Klüften bzw. an Kreuzungspunkten von Klüften (A.HERRMANN 1973b:2) über größeren, durch Auslaugung geschaffenen Karsthöhlen. Sie werden häufig von unterirdischer Erosion begleitet (REUTER 1963:26) und sind oberirdisches Indiz für zu erwartende Einstürze der unterirdischen Hohlräume. Im Gipskarst werden sie von PRINZ (1982:370) als Quellungshöhlen bezeichnet, die bei der Hydratisierung von Anhydrit zu Gips auftreten. Je nach Lage und Situation, insbesondere der Mächtigkeit der Gipschichten, erreichen die Laughöhlen Tiefen von bis zu 30 m.

### Schlucklöcher

sind in ihrer Genese ebenfalls wie Laughöhlen zu bewerten. Die Unterscheidung in der Terminologie beruht auf der unterschiedlichen karsthydrologischen Funktion. Das Schluckloch nimmt ein perennierendes allochthones Gewässer auf und leitet es ab. Es zeigt den Beginn einer karsthydrographischen subkutanen Entwässerungsbahn.

### Dolinen

sind nach PFEFFER (1978:30) geschlossene Hohlformen mit unterirdischem Abfluß, deren Entstehung durch Wasser als lösendes Element und seine Verteilung über dem Gestein (MORAWETZ 1970:323 f) bestimmt wird.

In der genetischen Systematik von CRAMER (1941) werden Einsturzdolinen, Schwunddolinen, Lösungsdolinen und Einspüldolinen unterschieden (Abb. 6).

#### Einsturzdoline

Ein in größerer Tiefe durch subkutane Auslaugung entstandener Hohlraum in verkarstungsfähigem Gestein, verstürzt in einem meist einmaligen Vorgang, einen trichterförmigen Schacht hinterlassend.

#### Schwunddoline

In Anlehnung an CRAMER (1941:336 ff) wird unter diesem Begriff eine in sich geschlos-

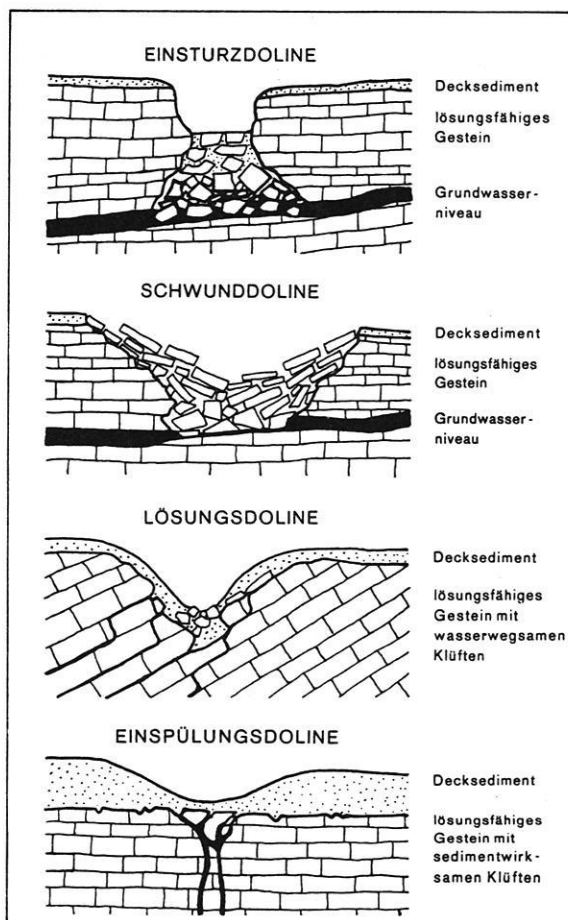


Abb. 6: Dolinentypen (aus BÖGLI 1978:63, verändert und ergänzt).

sene Senkung mit allmählicher oder wiederholter ruckweiser Nachsackung über Zonen fortschreitender subkutaner Auslaugung verstanden.

#### Lösungsdoline

Ihre Bildung erfolgt durch chemische Denudation unter einer Humusdecke. Der durch die Bodendecke sickende Niederschlag gilt durch seine  $\text{CO}_2$ -Aufnahme als der wichtigste Faktor bei der Entwicklung dieses Formtypus, der von der Oberfläche zur Tiefe fortschreitet (CRAMER 1941:350 f, BÜGLI 1978:63).

#### Einspülungsdoline

Sie entsteht durch mechanische Abspülung der Lockersedimente in darunter befindliche Hohlräume (STÄBLEIN & MÖLLER 1986:303). Sie ist an bedeckten Karst gebunden.

#### Auslaugungssenke

Unter diesem Begriff sind alle bruchlos verlaufenden und auf Auslaugung beruhenden Geländesenkungen zusammengefaßt (HOYNINGEN-HUENE & REUTER 1963:538), die in verkarstungsfähigem Material liegen und aufgrund der Geländebefunde zunächst nicht in die beschriebene Dolinensystematik einzuordnen sind. Insbesondere handelt es sich um halb-offene Formen, die von REUTER (1963:26) als Karstnische bezeichnet werden. Sie entstehen durch Lösung, Verwitterung und mitunter durch Unterspülung und dem daraus resultierenden Nachsacken des Hangenden.

#### Erdfälle

Aufgrund der in Kap.1.2 gegebenen Definition treten Erdfälle nur in nicht verkarstungsfähigem Material auf. Ihre Ursache liegt in der Formentwicklung im seichten bis mitteltiefen Gipskarst bzw. im tiefen Salzkarst (PRINZ 1982:371). ENGELS (1973:2) stellt umfassend folgende an der Erdfallbildung beteiligte Faktoren und Faktorengruppen vor. Sie umfassen auch die Faktoren, die an der Genese der noch zu referierenden Klein-, Meso- und Makroformen beteiligt sind. Es sind im einzelnen:

- die Petrofazies (v.a. gefügekundlich:

- lockere, weiche, plastische und feste Gesteine),
- die mineralogische Zusammensetzung hinsichtlich der Löslichkeit (Karbonat-, Sulfat- oder Salinarmineralien bzw. -gesteine),
- die Mächtigkeit der Gesteinsschichten,
- das Klima (Niederschlag und Temperatur mit ihren Einflüssen auf die Verwitterung),
- die Vegetation (physikalische und chemische Wirkungen),
- der  $\text{CO}_2$ -Gehalt in Wasser und Luft vulkanischer, anorganischer oder organischer Herkunft,
- die tektonischen Lagerungsverhältnisse sowie das Verhalten der Schichtung, Schieferung, Klüftung, Spaltung usw.,
- die Höhenlage der Erdoberfläche, absolut und relativ (zur Umgebung), sowie die Geländegestaltung (Topographie, Relief),
- die hydrologischen Verhältnisse, d.h. der Grundwasserspiegel und seine Schwankungen und Auswirkungen auf
  1. die Be- und Entlastung des Gewässerkörpers und
  2. die Vorräte von vadosem oder juvenilem Wassereinschließlich der Beeinflussung der hydrochemischen Eigenschaften,
- die PT-Bedingungen in verschiedenen Tiefen,
- die Boden- und felsmechanischen Eigenschaften (Haftfestigkeit, Gleitfestigkeit, Reibungswinkel, Steifeziffern, Bruch- und Scherfestigkeit, Porosität, Permeabilität usw.),
- die Gebirgsspannungen, und zwar tektonisch oder künstlich verursachte (z.B. durch Baumaßnahmen, Felsbau, Bergbau),
- die Bodenerschütterungen: tektonische (z.B. durch Erdbeben) und anthropogen bedingte (z.B. durch Sprengungen, Straßenverkehr),
- die Subrosion (unterirdische Auslaugung),
- die flächen- oder linienhafte Korrosion: seitlich durch den Salzhang bzw. durch Schichtverstellung, Querverwellung oder Querstörung,
- die Suffosion (Feststoffaustrag) und andere innere Erosionen einschließlich Dissipation (Flüssigkeitswiderstand, innere Sedimentation, Feststoffwiderstand) und Kolmatation (Feststoffeintrag) als inverser Vorgang zur Suffosion,

Tab. 1: Beziehungen zwischen Erdfalldurchmesser, Deckgebirgsmächtigkeit und der Größe des ursächlichen Hohlraumes (aus PRINZ 1973b).

| Oberflächendurchmesser | Deckgebirgsmächtigkeit | Auflockerungsfaktor | Volumen des unterirdischen Hohlraumes |
|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 30 m                   | 100 m                  | 0,2                 | 85.000 m <sup>3</sup>                 |
| 50 m                   | 100 m                  | 0,2                 | 240.000 m <sup>3</sup>                |
| 30 m (?)               | 300 m                  | 0,2                 | 245.000 m <sup>3</sup>                |
| 50 m (?)               | 300 m                  | 0,2                 | 720.000 m <sup>3</sup>                |

- die mechanische Einwirkung bewegter Wässer und Gase ("Tuffisierung"),
- die Tiefenlage vorhandener Hohlräume,
- die Größe und die Gestalt vorhandener Hohlräume, der Krümmungsradius von Gewölben und
- die Zeit, und zwar ob kurz- oder langfristig, periodisch oder episodisch.

Mit dem Einbrechen von Erdfällen als Folge tiefen Salinarkarstes durch mehrere 100 m mächtiges Deckgebirge und mit den Größen der ursächlichen Hohlräume beschäftigen sich R. HERRMANN (1972) und PRINZ (1973b). Letzterer kommt zu den in Tab. 1 dargestellten Ergebnissen. Der von ihm gewählte Auflockerungsfaktor beruht dabei auf der günstigen Annahme des Wertes von 0,2, wobei sich in der Praxis weitaus größere Auflockerungsfaktoren zeigen (PRINZ 1973b:2).

Der Existenz steilstehender Hohlräume im tiefen Salinarkarst als Voraussetzung zur Erdfallentstehung (vgl. 2.2.2.6 - 2.2.2.8) steht die Plastizität des Salzes gegenüber, die auf tektonische Beanspruchung (Be- oder Entlastung) oder das Eindringen von Intrusivgesteinen mit plastischer Verformung reagiert (PRINZ 1973b:2, MEIßBURG 1982:195). R. HERRMANN (1969:278) sieht die Massendefizite, die zur Bildung der Erdfälle benötigt werden, an die Solung von unten durch aufsteigende (juvenile ?) Wässer gebunden. Dem ist entgegenzuhalten, daß Solung von unten im Salzkörper allmähliches Nachsacken des Hangenden im Sinne eines Salzhanges (WEBER 1930 ff) bewirkt und nicht zu einmaligem Verstoß führt. PRINZ (1973b:2 ff) zeigt anhand von Bohrergebnissen, daß diese Einsturzschlote ursächlich nicht als Ergebnis von reinem Salzkarst zu deuten sind, sondern in ihrer Entstehung auf den Einbruch von Korrosions Hohlräumen in der SO<sub>4</sub>-Fazies zurückzuführen sind; gleichwohl

spricht er dem Salzkarst ein auslösendes Moment zu.

Die Vorstellungen über die Dauer eines solchen Ereignisses variieren. Wenn in der Definition des Begriffs Erdfall von einem plötzlichen Einbruch der Deckschichten ausgegangen wird, so ist der Hochbruch durch mehrere 100 m Deckgebirge mitunter an sehr lange Zeiträume gebunden. Genaue Angaben hierzu sind in der bearbeiteten Literatur nicht zu finden. Lediglich LISZKOWSKI (1973a) erwartet ein plötzliches Durchbrechen zur Oberfläche erst, wenn die Mächtigkeit der Deckschicht kleiner als 5 - 10m wird, wobei er über die Dauer des vorherigen Hochbruchs keine Angaben macht.

Den aufgezeigten Bildungsbedingungen für Erdfälle ist noch hinzuzufügen, daß je nach paläogeographischer Position unterschiedliche Phänomene zu erwarten sind. Erdfälle und Einbruchsschlote werden nach PRINZ (1973b: 4, 1982:376) aber auch nach R. HERRMANN (1969:285) der Verzahnung von Sulfat- und Chloridfazies im Randbereich von Zechsteinbecken zugeschrieben. Als zusätzliches Indiz hierfür gelten die SO<sub>4</sub>- und Cl-Gehalte in Wässern, die R. HERRMANN (1969:277) für die Erdfälle von Pyrmont wie folgt ausweist:

- Cl-Gehalt 73,8 - 156 mg/l
- SO<sub>4</sub>-Gehalt 1323 - 1442 mg/l.

Der Verzahnungsbereich chloridischer und sulfatischer Fazies in den Schwellenregionen leitet über zu den zu erwartenden Meso- und Makroformen.

#### Großräumige Auslaugungsbereiche

Sie liegen im Untersuchungsgebiet ebenso wie Erdfälle im Verzahnungsbereich von Chlorid- und Sulfatfazies. Ihre Genese ist

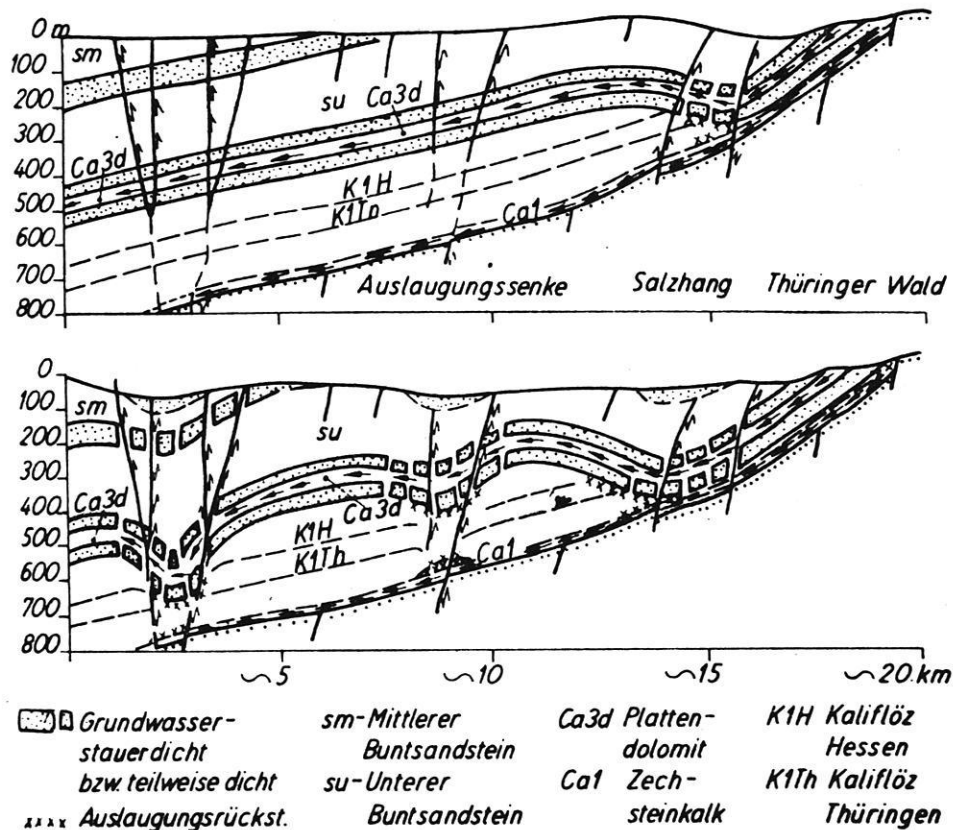


Abb. 7: Schema von Auslaugungserscheinungen im Werra-Kaligebiet der DDR (aus SCHILDER & SCHWANDT 1983:1031).

Die Abbildung zeigt modellhaft die geomorphologische Wirkung von Auslaugung im tieferen Untergrund. Sie knüpft an die Vorstellungen von WEBER (1929 ff), aber auch an die verfeinerte Anschauung von PRIESNITZ (1972) an, ohne die von den genannten Autoren eingeführte Terminologie zu übernehmen. Für die nordosthessische Landschaft, insbesondere für das Untersuchungsgebiet gilt diese Modellvorstellung als Leitfaden.

im Gebiet des Unterwerra-Sattels an drei Faktoren geknüpft:

- die tektonische Beanspruchung des Reliefs (Aufstieg des Unterwerra-Sattels),
- das reichlich zur Verfügung stehende Wasser aus den Hochlagen des Kaufunger Waldes und des Hohen Meißners sowie an
- die Talentwicklung der Werra mit den speziellen karsthydrographischen Systemen.

Großräumige Auslaugungsbereiche liegen als Formen des Gipskarstes vor den geomorphologisch ausweisbaren Salzhängen und zeichnen sich aktuell durch Auftreten von Dolinen und Erdfällen aus.

#### Salzhang

Nach WEBER (1930ff) und PRIESNITZ (1969a) wird das Reliefelement des Salzhanges durch das seitliche Eindringen der Tageswässer zum Steinsalz und dessen Lösung an einer Lösungsfront beeinflusst. Das auftretende Massendefizit erzeugt ein Nachsacken des

Hangenden mit der Folge eines weiteren Wasserzutritts nun auch vertikal durch die pseudotektonisch gestörten auflagernden Gesteinsserien. Das Prinzip der Selbstverstärkung (BEHRMANN 1919) setzt ein und führt bei geeigneter Position zur völligen Auflösung der Lagerstätte. Hierbei stellt sich eine geneigte Lösungsfront ein, die sich in Richtung der Lagerstätte bewegt (Abb. 7). Die Bedingungen für die Ausbildung des Salzhanges sind in Kap. 2.2.2.7 dargestellt. Infolge der Salzhangbildung bricht das Hangende nach und erzeugt im Top der Lösungsfront Zerrungsformen.

#### Zerrungsformen

Sie werden nach PRINZ (1982:377) auf die Aktivität des Hangenden am Salzhang zurückgeführt und durch das Auftreten von Erdfällen bzw. von grabenartigen Einsenkungen (vgl. 2.2.2.8) hervorgerufen. Sie gelten als Initialformen, d.h. hier reagiert das Relief erstmalig auf die Subrosion im tieferen Untergrund.

## 2. Untersuchungsgebiet und Forschungsstand

### 2.1 Das Untersuchungsgebiet

Der Kern des Unterwerra-Sattels (Abb. 8), eine Aufwölbung variscisch gefalteten Paläozoikums mit hercynischer Erstreckung, liegt im Unteren Werraland zwischen dem Berkatal (TK 25 Blatt 4725 Bad Sooden-Allendorf) und dem Gelstertal (TK 25 Blatt 4625 Witzenhausen). Seine höchste Erhebung ist der Roßkopf (482 m NN). Im Nordwesten taucht er bei 240 m NN, im Südosten bei 320 m NN unter die ummantelnden Zechsteinschichten ab. Die Umgebung des Unterwerra-

Sattels ist durch die Aufwölbung, die sowohl die permischen als auch die triassischen Serien erfaßt hat (vgl. 2.2.1), und die anschließende Ausräumung durch die abtragenden Kräfte geprägt.

Die Grenzen des Untersuchungsgebietes liegen

- im Süden am Ifta-Netra-Graben, der sich hercynisch verlaufend im Tal der Wehre bis in das Hessisch-Lichtenauer Becken fortsetzt;

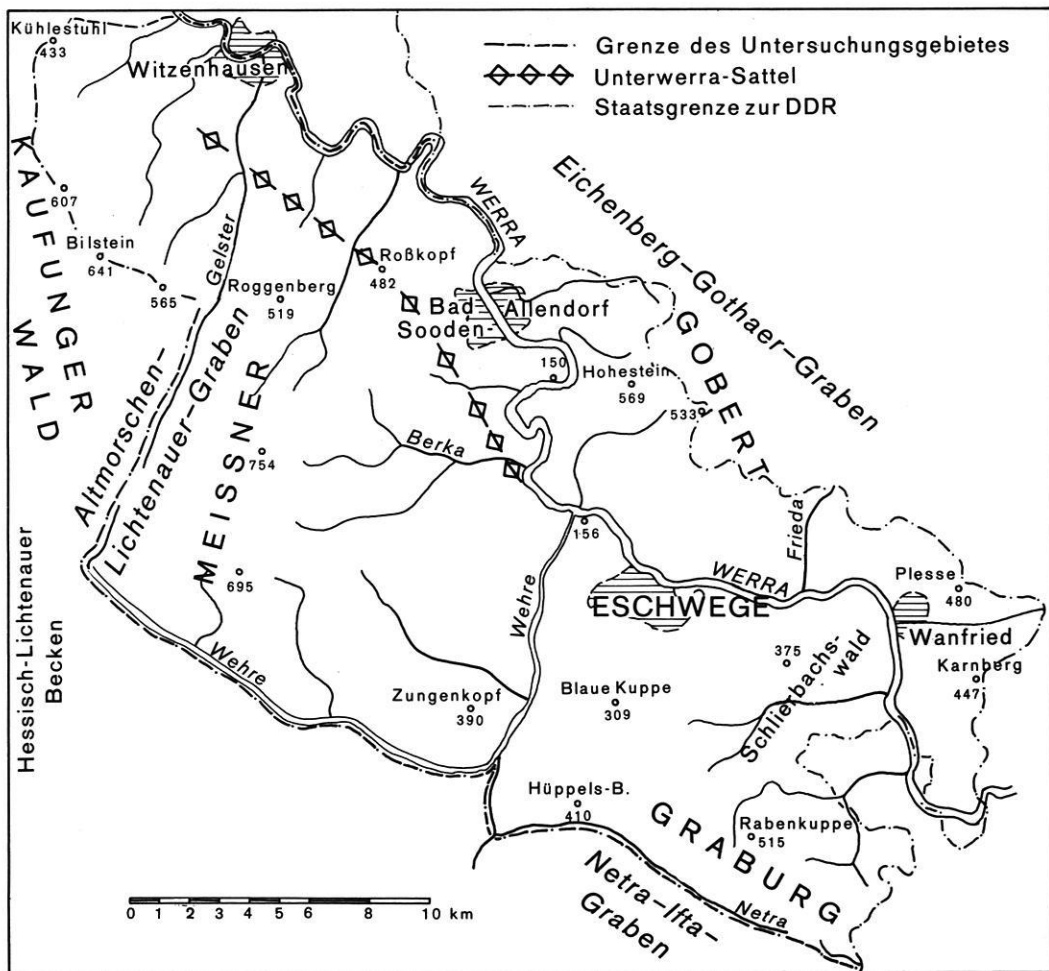


Abb. 8: Topographische Übersicht des Untersuchungsgebietes.

Neben dem Gewässernetz, das die Struktur des Untersuchungsgebietes nachzeichnet, sind zur besseren Orientierung eine Auswahl von Höhenpunkten und Siedlungen aufgenommen.



- im Westen mit dem Gelstertal am rheinisch verlaufenden Altmorschen-Lichtenauer Graben, der die Verbindung zwischen der Verlängerung des Oberrheingrabens und dem Leinetalgraben darstellt;
- im Nordwesten am Stufenrand des Kaufunger Waldes, der einen Teil der Buntsandsteinummantelung des Unterwerra-Sattels bildet;
- im Norden am Werralauf zwischen Ermschwerd und Lindewerra und
- im Osten am Eichenberg-Gothaer Graben, der ebenfalls hercynisch verläuft und die Gobert vom Oberen Eichsfeld trennt.

Die östliche Grenze des Untersuchungsgebietes mußte sich am Verlauf der Staatsgrenze zur DDR orientieren und wurde deshalb auf den Westabfall der Gobert gelegt.

Die Werra erreicht das Untersuchungsgebiet in 173 m NN bei Heldra und verläßt es bei 130 m NN unterhalb Ermschwerd. Alle Gewässer des Untersuchungsgebietes sind auf die Vorflut der Werra eingestellt und in ihrem Charakter den jeweiligen geologischen Verhältnissen angepaßt (vgl. 2.1.2).

Aus den verschiedenartigen geologischen Formationen ergibt sich eine große Anzahl von naturräumlichen Einheiten (KLINK 1969: 50 ff). Das Untersuchungsgebiet nimmt sowohl Teile des Osthessischen Berglandes (Fulda-Werra-Bergland und Unteres Werraland) als auch Teile des Thüringer Beckens und seiner Randplatten (Gobert, Westliches Obereichsfeld, Ringgau) ein. Dieser vielfältigen Gliederung entspricht die Variation der klimatischen (vgl. 2.1.3) sowie die der bodenkundlichen Verhältnisse (vgl. 2.1.4).

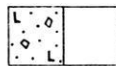
### 2.1.1 Die geologischen Verhältnisse

Bestimmend für die geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet ist der Unterwerra-Sattel. Er hat den tektonischen Bau des Gebietes zwischen Eschwege und Witzenhausen hauptsächlich verursacht (RITZKOWSKI 1978: 187) und ist der größte Grundgebirgsaufbruch der Hessischen Senke mit Streichen von Südost nach Nordwest (JACOBSHAGEN et al. 1977:2). Er erstreckt sich mit 15 km Länge in vorgenannter Richtung und erreicht eine Breite von bis zu 4 km (Abb. 9).

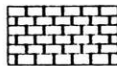
Abb. 9: Legende.



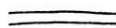
**Devon**  
Devonian



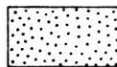
**Quartär, Pleistozän: Hangschutt, Löss, Lößlehm, Flußterrassen**  
**Holozän: Talbodensedimente**  
Quaternary, Pleistocene: slope debris, loess, loess loam, river terraces  
Holocene: flood-plain sediments



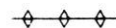
**Zechstein**  
Zechstein



**Verwerfungen, Gräben**  
fault lines, fault troughs



**Unterer Buntsandstein**  
Lower Bunter Sandstone



**Unterwerra-Sattel**  
Lower Werra anticline



**Mittlerer / Oberer Buntsandstein**  
Middle / Upper Bunter Sandstone



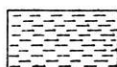
**Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins**  
cuesta scarp of Middle Bunter Sandstone



**Muschelkalk**  
Muschelkalk



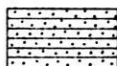
**Schichtstufe des Unteren Muschelkalkes**  
cuesta scarp of Lower Muschelkalk



**Keuper**  
Keuper



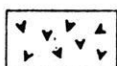
**Auslaugungsbereiche**  
areas modified by subsorional processes



**Tertiär, Ton, Sand, Braunkohle**  
Tertiary, clay, sand, lignite



**Eisenbahn**  
railway



**Tertiär, Basalt**  
Tertiary, basalt



**Gewässer**  
hydrography

In seinem Kern tritt variscisch gefaltetes Paläozoikum zutage, das von der "Werra-Grauwacke" (SCHUBART 1955, SCHULZE 1977, WITTIG 1968) gebildet wird.

Das südöstliche Ende des abtauchenden Sattelkerns wird vom "Albunger Paläozoikum" eingenommen. Es sind geringmächtige Ton- und Kalksteinsedimente (RITZKOWSKI 1978: 188), die sich gut von der gröberen Werra-Grauwacke unterscheiden. Die unterschiedlichen Gesteinsserien sind durch die variscische Faltung in unmittelbare Nachbarschaft gelangt (RITZKOWSKI 1978:198).

Beiden Gesteinsserien wird nach WITTIG (1968:36) oberdevones Alter zugesprochen, zudem sind alle Strukturen des Grauwackensattels durch die Postzechstein-Aufwölbung verstellt. STILLE & LOTZE (1933:12) stellen die Aufwölbung an die Grenze Jura / Kreide mit Wiederholungen dieser Bewegungen im Tertiär. Dagegen hat nach GUNDLACH & STOPPEL (1966, zit. nach WITTIG 1968:6) die Aufwölbung des Unterwerra-Sattels tertiäres Alter (vgl. 2.2.2.2).

Die nächstjüngeren in den Unterwerra-Sattel einbezogenen Gesteine sind die im Höllental

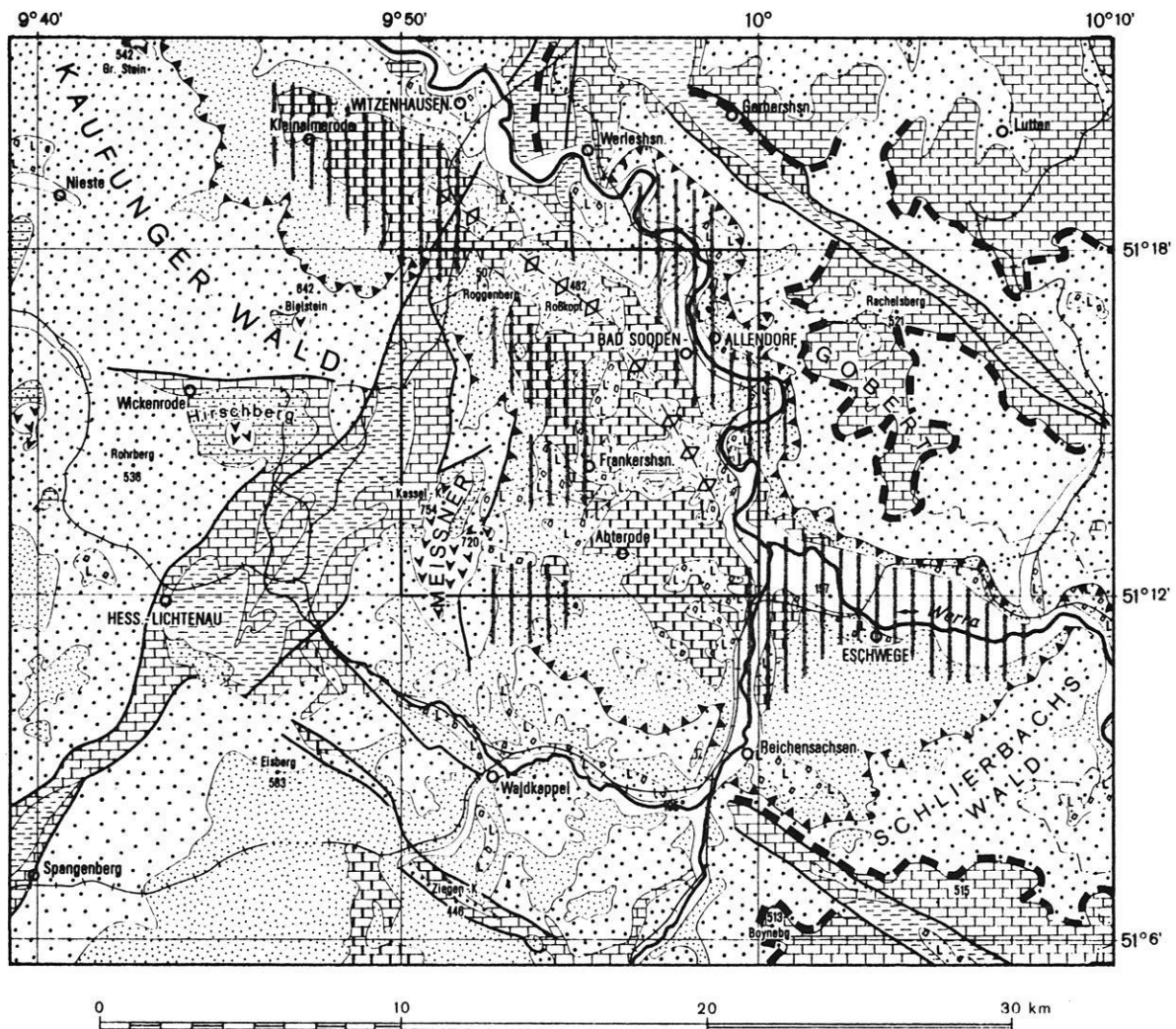


Abb. 9: Geologisch - Geomorphologische Übersicht über die Umgebung des Unterwerra - Sattels (aus STÄBLEIN & MÖLLER 1986:297, vergrößert und ergänzt).

Gegenüber der Vorlage zur Geologie, die auf RÖSING (1976) basiert, sind Stufensignaturen und großräumige Auslaugungsbereiche ergänzt. Veränderungen gab es auch in der Ausweisung des Unteren Buntsandsteins. Sie wurde nach geomorphologischen Kriterien geändert.

(unteres Berkatal) und nördlich des Bahnhofes Albugen (R 356925/H 567775) anstehenden Diabase. Ihr Aufstieg ist an die Schwächezone zwischen Werra-Grauwacke und Albunger Paläozoikum geknüpft (WITTIG 1968: 49). Aufgrund der Ausstrichbreite von ca 500 m im Höllental, quer zum Streichen, geht WITTIG (1968:49) von einer größeren Mächtigkeit aus, die in einer Zeit starker Diabasförderung im Unterkarbon gegeben war. Der Diabas bildet die Versteilungen an der nördlichen Talflanke des Höllentals mit Neigungen von z.T. mehr als 35° und neigt zur Klippenbildung.

Die folgende Rotliegend-Zeit, die untere Abteilung des Perm, hat im Untersuchungsgebiet, wenn von den bei JACOBESHAGEN et al. (1977: 26) beschriebenen roten verfestigten Konglomeraten im "Saufbuchengraben" im Rabental (R 356198 / H 368563) und von einer geröllführenden Spalte im Steinbruch am Wahlenberg östlich Hilgershausen (RITZKOWSKI 1978:190) abgesehen wird, flächenhaft keine Sedimente hinterlassen.

#### Zechstein

Die Zechsteintransgression beginnt mit dem Weißliegenden, dessen Mächtigkeit bis zu 5m beträgt (RITZKOWSKI 1978:190) und dem Zechsteinkonglomerat, das nach FAUPEL (1971:15) 0 bis 2 m mächtig ist. Beide sind an die Tiefenzonen des Reliefs der Werra-Grauwacke und des Albunger Paläozoikums gebunden (JACOBESHAGEN et al. 1977:5). Die Genese des Weißliegenden, ob Dünenbildung oder submariner Entstehung, ist noch umstritten, wird nach JACOBESHAGEN et al. (1977:5) aber zeitgleich zum Zechsteinkonglomerat und als Einstieg in das Zechsteinalter gedeutet.

Bei der Gliederung des Zechsteins halte ich mich für die vier unteren Folgen (Z1-Z4) des Zechsteins an die von RICHTER-BERNBURG (1953:844 ff) vorgegebene stratigraphische Einteilung. KADING (1978:125) weist darüber hinaus die Folgen Z 5 und Z6 nach. Sie gelten in der Hauptsache für den norddeutschen Raum und treten im Untersuchungsgebiet nur untergeordnet auf. Vorab soll lediglich festgestellt werden, daß der Grenzverlauf der einzelnen Horizonte des Zechsteins, bezogen auf ihre Verbreitung, man-

gels Bohrungen im Untersuchungsgebiet nicht sicher ist (RICHTER-BERNBURG 1955:884).

#### Zechstein 1

Weißliegendes und Zeichsteinkonglomerat werden schon dem untersten Zyklus des Zechsteins zugerechnet. Sie kleiden die Tiefenzonen des Grauwackenreliefs aus und setzen in den höheren Lagen aus. Der anschließend abgesetzte Kupferschiefer, ein grauschwarzes, schiefriges, mergeliges Gestein, verhält sich ähnlich, indem er in Tiefenlinien Mächtigkeiten von mehreren Dezimetern (früher abbauwürdig) erreicht, während er gegen die Schwellen hin auskeilt. Bestes Beispiel für diese Gesteinsabfolge ist der Steinbruch im Höllental, westlich des Forsthauses Schmelzhütte (R 356628/H 567732), bzw. der Schurfstollen am Fürstenstein (R 356905 /H 567747).

Darüber schließt sich der Zechsteinkalk an, der die Unebenheiten des Prae-Zechstein-Reliefs mit seiner Mächtigkeit von 10-12 m (RITZKOWSKI 1978:190) ausgleicht. Er ist ein verwitterungsbeständiger Kalkstein, der aus einer Serie von festen, weißlichgelben bis lichtgrauen Kalkbänken besteht, die mit dünnschichtigen Mergeln wechseln (AMIRI 1976:13).

Der in unterschiedlichsten Mächtigkeiten auftretende Werra-Anhydrit läßt sich im Untersuchungsgebiet nur schwer in seine untere und obere Abteilung zerlegen.

Die Mächtigkeiten betragen nach RITZKOWSKI (1978:191):

- 5- 8 m Sulfat-Gesteine am Weinberg bei Jestädt,
- 50-60 m Sulfat-Gesteine bei Hundelshausen,
- 50-70 m Sulfat-Gesteine in der südlichen Umrahmung des Unterra-Sattels,
- 100 m in der Sedimentbohrung von Bad Sooden-Allendorf.

So findet man nach AMIRI (1976:14) im Steinbruch nordwestlich Jestädt (R 356962/ H 567636) über dem Zechsteinkalk den Unteren Werra-Anhydrit. JACOBESHAGEN et al.

(1977:5) sprechen dieses 4 m mächtige Gesteinspaket als Auslaugungsbrekzie an, die von dem Oberen Werra-Anhydrit und dem folgenden Hauptdolomit überlagert wird. Hier zeigt sich die Schwierigkeit beim Einordnen der vorgefundenen Horizonte, da die dazwischenliegende Steinsalzausscheidung im Tagesausstrich der Zechsteinummantelung fehlt.

In der Literatur (RITZKOWSKI 1978:191) besteht keine Einigkeit darüber, ob im Untersuchungsgebiet die Steinsalzausscheidung überhaupt stattgefunden hat, und wenn ja, ob das Steinsalz dann ausgelaugt worden ist (Kap. 5). Tatsache ist, daß in der Bohrung "Mäusemühle" bei Rambach 117 m Steinsalz (Na 1) angetroffen wurden (vgl. 2.2.1.5) und Subrosionsformen im Auenbereich der Werra auf ehemalige Salzauslaugung hinweisen (RITZKOWSKI 1978:191, FINKENWIRTH 1970: 215 ff, WEBER 1952:119 ff, KUNZ 1962:62). Nach RITZKOWSKI (1978:191) existieren keine weiteren Informationen über Salze im Untergrund der südwestlichen und westlichen Randgebiete. SCHALOW (1978:Tab. 2) verfertigte eine tabellarische Übersicht über die Stratigraphie des Zechsteins für die Umgebung des Unterwerra-Sattels (vgl. Tab. 2). Sie zeigt, daß in den geologisch kartierbaren Einheiten keine Salze mehr vorhanden sind.

Betrachtet man die Lagerung des Deckgebirges in der Umgebung des Unterwerra-Sattels, so fällt auf, daß an der Nordostflanke des Sattels Einfallswerte von 25-30°, stellenweise bis 40° erreicht werden, wohingegen das Einfallen am nördlichen Sattelende und auf der Südwestflanke mit kleiner als 5° angegeben werden (WITTIG 1968;50), während das Südende gegen das Eschweger Becken mit 2,5° unter die triadischen Deckschichten einfällt (SCHALOW 1978:120). Das Streichen der Schichten ist in jedem Fall parallel zu den Sattelachsen ausgerichtet.

### Zechstein 2

Der den Oberen Werra-Anhydrit überlagernde Braunrote Salzton gehört zur "Hauptdolomit

Tab. 2: Stratigraphie des Zechsteins im Bereich des Unterwerra-Sattels.

Die Zusammenstellung, die der Arbeit von SCHALOW (1978:Tab. 2) entnommen ist, gibt die in der Literatur ausgewiesenen Zechsteinmächtigkeiten in der vornehmlich südlichen Abdachung des Unterwerra-Sattels wieder.

| MOESTA 1886<br>BEYSCHLAG 1886                           | CHAUDARI 1963  | FAUPEL 1971   | SCHULZE 1977  | RITZKOWSKI 1978   | SCHALOW 1978  |
|---|--|---|---|---|---|
| Obere Letten mit Gips                                   | Übergangsschichten 5-10 m<br>Pegmatitanhydrit 1 m<br>Roter Salzton 4-6 m   |   |   | Obere Letten ?  | Roter Salzton ? 1 m   |
| Plattendolomit<br>Untere Letten mit Gips                | Hauptanhydrit 18-20 m<br>Plattendolomit 12-16 m<br>Grauer Salzton 20-35 m  | Z 2 + Z 3   |   | Hauptanhydrit 0-20 m<br>Plattendolomit 0-14 m<br>Unterer Leine Ton 3 m  | Hauptanhydrit 7-4-6 m<br>Plattendolomit 7-2-3 m<br>Grauer Salzton 7 1 m                     |
| Hauptdolomit  | Basalanhydrit 0-33 m<br>Hauptdolomit 30-35 m<br>Stinkdolomit 4-5 m<br>Braunroter Salzton 10-15 m<br>Werra-Anhydrit |   | Hauptdolomit  | Basalanhydrit > 3 m<br>Hauptdolomit < 70 m  | (Basalanhydrit ?)<br>Steißfurt-Karbonat 50-70 m   |
| Gipsäquivalente<br>Älterer Gips                         | Zechsteinkalk 6-9 m<br>Kupferschiefer 0-1 m<br>Zechsteinkonglomerat 0-2 m  | Werra-Anhydrit  | Braunroter Salzton 0-5 m  | Braunroter Salzton 0-5 m<br>Werra-Anhydrit 0-75 m (> 100?)<br>Karbonat-Breccien 2-4 m<br>Zechsteinkalk 8-10 m<br>Kupferschiefer 0,4 m<br>Zechsteinkonglomerat/Weißliegendes 0-7 m | Braunroter Salzton 0-5 m<br>Werra-Anhydrit 0-100 m  |
| Zechsteinkalk<br>Kupferschiefer<br>Zechsteinkonglomerat | Werra-Serie Z 1  | Zechsteinkalk 6-9 m<br>Kupferschiefer 0-1,5 m<br>Zechsteinkonglomerat 0-2 m | Zechsteinkalk 10 m<br>Kupferschiefer 0-0,25 m<br>Zechsteinkonglomerat 0-1 m |   | Zechsteinkalk 10 m<br>Kupferschiefer 0-0,61 m<br>Zechsteinkonglomerat/Weißliegendes 0->10 m |

Region" und bildet die untere Schicht des Zechstein 2. Er tritt im Untersuchungsgebiet stellenweise mit stark schwankender Mächtigkeit auf (max. 15 m nach FAUPEL 1971:16), wobei es sich um ein Schichtpaket von braunroten, feinschuppig zerfallenden Tonen handelt. SCHALOW (1978) wies diese Schicht am östlichen Ortsausgang von Kammerbach als sandigen Ton nach, der mehrere Meter Mächtigkeit erreicht. Er sieht die Verbreitung des Braunroten Salztons an ein rinnenhaftes Relief gebunden und folglich nicht flächenhaft verbreitet (zit. nach RITZKOWSKI 1978:191). AMIRI (1976:15) deutet diese Schicht als Auslaugungsbrekzie, ohne sie in seinem Arbeitsgebiet zu finden, und stützt sich dabei möglicherweise auf die von FAUPEL (1971) referierte Auffassung von MOESTA & BEYSSCHLAG (1886, zit. in FAUPEL 1971:17), daß es sich um Residuen der ausgelaugten Salze und Gipse handelt.

Der auflagernde Hauptdolomit ist der Klippenbildner des Zechsteins im Untersuchungsgebiet. Aufgrund seiner Mächtigkeit von 40-70 m (vgl. Tab. 2) weist er die größte Verbreitung in den Zechsteinarealen des Untersuchungsgebietes auf. MÖHRING (1909, zit. von AMIRI 1976:16) bezeichnet den Hauptdolomit als "kavernösen Kalk", dessen Aussehen von FAUPEL (1971:17) und AMIRI (1976:16 f) als weißgrau bis schwachgelblich, teilweise zart rosa geflammt bzw. marmoriert beschrieben wird. Im unteren Teil zeigt er neben einer Bankung (Ritzkowski 1978:192) lagenweise zellenartige Löcher, die nach AMIRI (1976:17) auf frühdiagenetische Auslaugung eingelagerter Gipse, Anhydrite oder vielleicht Halite zurückzuführen sind. Er verwittert durch Zurückbleiben der kalkhaltigen Partien zu einer beträchtliche Mächtigkeiten erreichenden kavernösen Struktur, die keine Schichtung mehr aufweist, was als Folge der Entdolomitierung betrachtet werden kann (RITZKOWSKI 1978:192). Das vielfach brekziöse Aussehen wird von SCHULZ (1981:100 f) auf die Auslaugung des Liegenden zurückgeführt.

Der die Serie des Z 2 im Untersuchungsgebiet abschließende Basalanhydrit tritt nur in der südlichen Umrahmung des Unterwerra-Sattels auf. Er besteht nach AMIRI (1976:17) aus schneeweißen, sehr weichen Gipsen mit dünnen tonigen Zwischenlagen. Stellen-

weise, z.B. am Weinberg bei Reichensachsen, haben sich bis zu 15 cm mächtige glasklare Fasergipse entwickelt. Seine Mächtigkeit erreicht infolge Auslaugung (JACOBSHAGEN et al. 1977:15) nur wenige Meter (RITZKOWSKI 1978:192).

Die nach oben anschließenden Salzhorizonte sind im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden. Der Übergang zum dritten Ausscheidungszyklus ist am Weinberg bei Reichensachsen zu beobachten.

### Zechstein 3

Der Übergang aus dem vorigen Zyklus wird vergrößernd als Schicht der "Unteren bunten Letten" bezeichnet. Sie entstehen nach AMIRI (1976:20) durch den Einfluß der Verwitterung (Bodenbildung) und der Auslaugung in der Verzahnung des Basalanhydrits mit dem Grauen Salzton. Letzterer erreicht eine Mächtigkeit bis zu 3 m und setzt sich örtlich wechselnd zusammen aus mittelgrauen, rötlichgrauen oder rotbraunen, dünnplattigen Ton- und Mergelsteinen (AMIRI 1976:20) bzw. grauen, weißlichen und roten Letten, die als Residualsediment des ausgewaschenen Gipses des Z 2 betrachtet werden (FAUPEL 1971:17/18).

Der Plattendolomit umfaßt die Karbonatgesteine des Z 3 und ist geomorphologisch vergleichbar mit dem Hauptdolomit des Z 2. Obwohl gut gebankt, neigt er ebenfalls zur Kavernenbildung. Seine teilweise zerrüttete Struktur ist auf die Auslaugung des Basalanhydrits zurückzuführen. Bei der geringen Mächtigkeit von 6 m bei Reichensachsen mit anschließendem Auskeilen nach Norden nimmt die geomorphologische Wirksamkeit schnell ab. FAUPEL (1971:18) fand den Plattendolomit am Dohrenbach und um Hundelshausen als nicht auskartierbar nur in Lesesteinen vor.

Der Hauptanhydrit bildet im Untersuchungsgebiet den Abschluß des Z 3-Zyklus. Nach RITZKOWSKI (1978:192) ist er nur in den Steinbrüchen bei Oberhone/Eschwege nachweisbar. Dort tritt er, insbesondere auf dem Steinröllchen, "in dichten, körnigen und spätigen Massen, bisweilen in stengeligen und faserigen Aggregaten" (AMIRI 1976:25) auf. Seine Mächtigkeit beträgt 12-19 m (vgl. Tab. 2).

## Zechstein 4-6

Aus der Zechsteinverbreitung (RICHTER-BERNBURG 1955, KADING 1978) ist zu ersehen, daß im Untersuchungsgebiet eine Horizontzuordnung der folgenden Zechsteinschichten nicht möglich ist, da sie entweder nicht abgelagert oder schon wieder erodiert sind. Aus geologischer Sicht hat man es auf der südlichen Abdachung des Unterwerra-Sattels mit einer typischen Beckenrand-Entwicklung zu tun, die als Obere Bunte Letten bezeichnet werden. Sie enthalten hellrotbraune sandige Tonsteine im oberen Teil und Tonsteine mit rotbrauner bis violettbrauner Färbung im unteren Teil (AMIRI 1976:25).

MÖLLER (1984:14 f) gliedert diesen Bereich, insbesondere am Steinröllchen, stärker und weist dort Dolomitknollen des Z 6 nach, aber auch den Pegmatitanhydrit, als oberste Abteilung des Z 4. Eine Auskartierung der oberen Zechsteinfolgen ist auch MÖLLER nicht möglich. Sie schließt sich daher der Einteilung von AMIRI (1976:25) an und folgert für das von ihr bearbeitete Gebiet, daß es sich beim Auftreten der Oberen Bunten Letten um alte Dolinenfüllungen handeln muß (MÖLLER 1984:14). RITZKOWSKI (1978:192) sieht die Oberen Bunten Letten ebenfalls als Abschluß der Zechsteinzyklen in der Umgebung des Unterwerra-Sattels, deren weitere Gliederung sich durch die von Süden ins Zechsteinbecken (Germanische Becken) eingeschütteten roten Pelite verwischt.

## Trias

Über dem Zechstein setzt mit dem Übergang von den Oberen Bunten Letten in den Bröckelschiefer die Trias ein, die im Unter-

suchungsgebiet als dreigeteilte Formation auftritt: Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper.

## Der Buntsandstein.

Die früher gültige Gliederung in die drei Abteilungen:

- Oberer Buntsandstein
- Mittlerer Buntsandstein
- Unterer Buntsandstein,

die MOESTA in seinen Karten angewandt hat, ist der heute gültigen Feingliederung gewichen, die auf BOIGK (1956) zurückgeht. Er war es, der erstmals für den Mittleren Buntsandstein vier Sedimentationszyklen ausweisen konnte, die sich einheitlich verhielten. Sie begannen mit einer Grobsandschüttung, gingen über in eine Sandsteinwechselfolge und endeten in einem feinklastischen Endglied (AMIRI 1976:29 nach BOIGK 1952). Da die Mächtigkeit des Buntsandsteins, bedingt durch die Eichsfeld-Schweile, stark schwankt, gibt Abb. 10 eine Übersicht über die Mächtigkeiten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins in Nordhessen an. Sie zeigt, daß in meinem Untersuchungsgebiet nur mit maximal 500 m dieser Folgen gerechnet werden muß. RITZKOWSKI (1978:195) verweist in diesem Zusammenhang auf die Buntsandsteinmächtigkeit am Hohen Meißner und bei Grebendorf-Neuerode (Tab. 3).

## Der Untere Buntsandstein

Als Übergang vom Zechstein zum Unteren Buntsandstein findet sich zunächst der Bröckelschiefer, ein 10-30 m mächtiger, sandiger, braunroter, bröckelig zerfallender

Tab. 3: Buntsandsteinmächtigkeiten am Hohen Meißner und bei Grebendorf-Neuerode (aus RITZKOWSKI 1978:195).

|                   | Meißner   |       | Grebendorf-Neuerode |          |
|-------------------|-----------|-------|---------------------|----------|
| so                | 100-130 m |       | 80-100 m            |          |
| smS               | ca. 50 m  | 280 m | 10-15 m             | 90-115 m |
| smH               | ca. 30 m  |       | ca. 20 m            |          |
| smD               | ca. 50 m  |       | 60-70 m             |          |
| smV               | ca. 150 m |       |                     |          |
| su                | 330-350 m |       | ca. 330 m           |          |
| Gesamtmächtigkeit | ca. 730 m |       | ca. 520 m           |          |

der, verhärteter Schiefertone (STILLE & LOTZE 1933:19), in dem RITZKOWSKI (1978:192) einzelne Gipskonkretionen als Hinweis auf ein übersalzenes Milieu sieht.

Die auflagernde Gelnhausen-Folge wird durch hellrote, weißgraue und weißgelbe Sandsteine geprägt, die im mittleren Teil dickbankige, grobkörnige Sandsteine aufweisen. Die Salmünsterfolge, die den Unteren Buntsandstein beschließt, besteht in der Regel aus feinkörnigen, dunkelroten Sandsteinen, die mit Tonlagen wechseln. Sie werden von RITZKOWSKI (1978:192) als ein Abwechseln von Flußsedimenten und limnischer Sedimentation gedeutet.

Geomorphologisch tritt der Untere Buntsandstein als Fußflächenbildner am Südrand des Beckens von Eschwege, an den Steilhängen des Hohen Meißners und des Kaufunger Waldes sowie als Stufenbildner in der Nordwest-Umrahmung des Kleinalmeroder Zechstein-Beckens auf.

#### Der Mittlere Buntsandstein

##### Die Viergliederung in

- Solling-Folge,
- Hardeggen-Folge,
- Detfurth-Folge und
- Volpriehausen-Folge,

die zur Beschreibung geomorphologischer Strukturen ausreicht (MÜLLER 1982), ist von WYCISK (1984) für das Untersuchungsgebiet verfeinert vorgestellt worden. Die eingangs erwähnte zyklische Sedimentation gilt für alle diese Folgen. Die basalen Grobsandsteinbänke treten durch Stufenbildung deutlich im Gelände hervor und bilden sowohl die südliche Umrahmung des Eschweger Beckens als auch den Steilabfall des Hohen Meißners und die Schichtstufe des Kaufunger Waldes (vgl. Abb. 9).

Die weißen Sandsteine der Solling-Folge erreichen nach RITZKOWSKI (1978:193) eine Mächtigkeit von 7-8 m und enthalten Kalkspatdrusen, Grobsand, Gerölle, Carneole und Glimmer. Auf ihnen lagert ein violetter Siltstein, der von weißen, ca. 8 m mächtigen Kalksandsteinen des Chiroteriensandsteins überlagert wird. Nach KUHNERT (frdl.

mündl. Mitt.) enthält diese oberste Gesteinsschicht bis zu 80 % Kalk.

#### Der Obere Buntsandstein (das Röt)

Er kommt im Untersuchungsgebiet in unterschiedlicher Mächtigkeit vor (vgl. Tab. 3), was den Angaben von STILLE & LOTZE (1933:20) entspricht, die 80-150 m Mächtigkeit angeben. RITZKOWSKI (1978:189) ergänzt diese Mächtigkeitsangabe für den Raum westlich Witzenhausen, wo er Röt mit Mächtigkeiten bis zu 150 m nachweist. PFLANZL korrigiert seine Mächtigkeitsangabe von 70 m Röt (PFLANZL 1952:73) für den Hohen Meißner in Zusammenarbeit mit KUPFAHL, LAEMMLEN & PFLANZL (1979) auf 105-125 m. Insgesamt deutet sich auch hier eine Mächtigkeitsreduktion nach Südosten in den Bereich der Eichsfeld-Schwelle an. Eigene Geländebefunde - rezente Auslaugungserscheinungen - zeigen, daß die Lagerung der auslaugungsfähigen Substanzen des Röt zumindest linsenförmig durch deutlich größere Mächtigkeit als andernorts gekennzeichnet ist.

Das Röt setzt sich aus überwiegend tonigen Gesteinen von rotem, aber auch blaugrauem oder grünlichem Aussehen mit mergeligen Eigenschaften zusammen. Im Unteren Röt und nachgeordnet im Oberen Röt sind z. T. mächtige Gipslager eingeschaltet, denen sich im unteren Teil, in Bereichen ohne Auslaugung, auch Salze anschließen (STILLE & LOTZE 1933:4). Der ehemalige Steinbruch an der Straße Braunrode-Kella zeigt ein mächtiges Gipslager. Zwischen Eigenrieden und Effelder - auf DDR-Gebiet - weist STEINMÖLLER (1965:92) 40 m Steinsalz im Röt nach, dessen Verbreitung er ehemals im gesamten Gebiet annimmt (vgl. 2.2.2.7). RITZKOWSKI (1978:194) spricht zu Recht von den Mächtigkeitsunterschieden zwischen Tagesausstrich und den vorliegenden Bohrergebnissen. Sie sind auf Auslaugung der salinaren Serien zurückzuführen, die das benötigte Wasser durch den klüftigen Muschelkalk beziehen. Auslaugungsvorgänge im Röt sind stark an der Rutschungs- und Bergsturzdynamik der Muschelkalkstufe beteiligt (vgl. 4.9, 4.10).

#### Der Muschelkalk

Er gliedert sich in 3 Stufen:

- Oberer Muschelkalk,
- Mittlerer Muschelkalk und
- Unterer Muschelkalk.

Der Untere Muschelkalk

Geomorphologisch bedeutsam ist der Untere Muschelkalk, der durch seine Schichtstufen die südliche bis östliche Umrahmung des Untersuchungsgebietes bildet (vgl. Abb. 9).

Er erreicht im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes ca. 70 m, im östlichen und nördlichen Teil 100-110 m und auf der Westabdachung des Meißners maximal 170 m (KERSTEN 1986:34) Mächtigkeit. Die geomorphologisch widerständigste Schicht, die Terebratellzone - feinporöse (schaumige) Kalke (STILLE & LOTZE 1933:27) - bildet den Stufenrand und die Stufenfläche der weit über das Eschweger Becken hinausragenden Schichtstufe. In der südlichen Umrandung

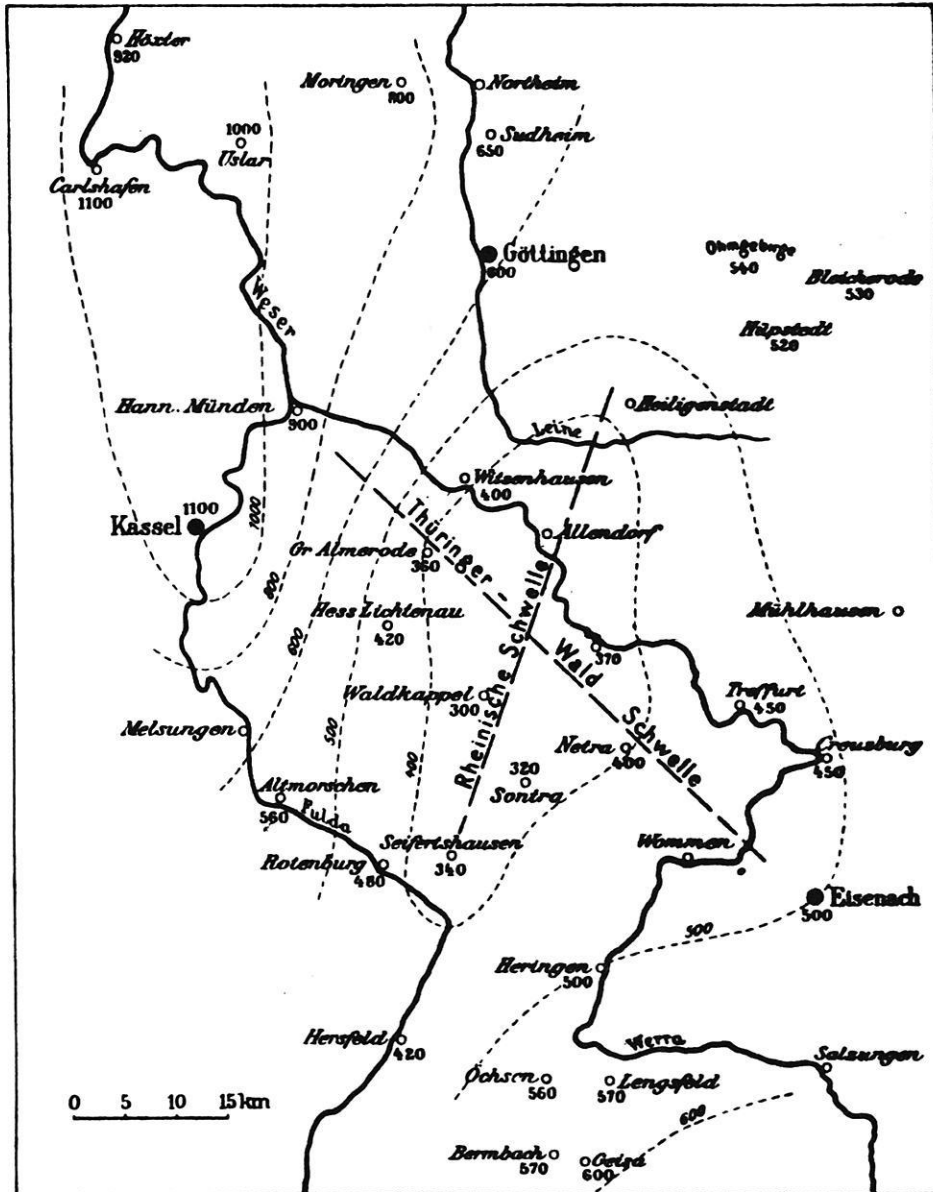


Abb. 10: Die Mächtigkeiten des Unteren und des Mittleren Buntsandsteins in Nordhessen / Südniedersachsen (aus BOSSE 1931:5).

Die Abbildung zeigt den Einfluß der Eichsfeldschwelle (Rheinische Schwelle) auf die Sedimentation des Unteren und des Mittleren Buntsandsteins.



des Untersuchungsgebietes treten die voll entwickelten Schichten des Unteren Muschelkalkes ebenso auf wie am Osthang des Altmorschen-Lichtenauer Grabens (MOESTA 1876b, c, 1886c, d).

Die Zitate zu MOESTA (1876a, b, c und 1886a, b, c, d) befinden sich im Kartenverzeichnis (Kap. 6.2).

#### Der Mittlere Muschelkalk

Die Mächtigkeitsangaben dieser Schicht schwanken zwischen 25 und 60 m, mit nach Südosten abnehmender Mächtigkeit. Er setzt sich zusammen aus einer Folge von ehemals dickbankig abgesetzten, hellgrauen bis gelblichen, mürben, schwach dolomitierten Mergelkalken und oft tonigen Mergeln (STILLE & LOTZE 1933:23). Gipse, wie sie am Werraufer zwischen Ludwigsstein und Flachs-bachtal vorkommen (RITZKOWSKI 1978:195), oder wie sie indirekt anhand von Erdfällen und Bodensenkungen im Tal der Gemeinde Weißenbach bzw. im Süden des Untersuchungsgebietes auf den Hochflächen zwischen Unterem und Oberem Muschelkalk nachgewiesen werden können, deuten auf unterschiedliche Sedimentationsbedingungen hin, zeigen aber auch ein mehr linsenförmiges Vorkommen dieser Residuen.

#### Der Obere Muschelkalk

Er beginnt mit der Zone des Trochitenkalles, dem Stufenbildner des Oberen Muschelkalkes im Untersuchungsgebiet. Er besteht aus dickbankigen, festen, spatigen Kalken, innen dunkelgrau, außen rötlich verwitternd (STILLE & LOTZE 1933:23). Durch seine geringe Mächtigkeit (10-20 m) paust sich die Auslaugung der Gipse des Mittleren Muschelkalkes häufig durch Einsturzdolinen an seine Oberfläche durch. Bestes Beispiel sind die Dolinen auf dem Heiligenberg, westlich des Muldentales, in dem die Gemeinde Weißenbach liegt.

Die auflagernden Cératitenschichten treten infolge ihrer geringen Abtragungsresistenz geomorphologisch zurück. Sie bestehen aus Wechselfolgen von plattigem, grauem Kalk und grauem bis blaugrünem, blättrigem, gelegentlich feinsandigem Ton, der zu

schmutziggelben Letten verwittert (STILLE & LOTZE 1933:23). Leitfossilien sind die Ceratiten, die in verschiedenen Arten auftreten und so eine Horizontierung dieser Schicht ermöglichen.

Die Mächtigkeit des gesamten Muschelkalkpaketes schwankt nach RITZKOWSKI (1978) in der Umgebung des Unterwerra-Sattels zwischen 230 und 250 m.

#### Der Keuper

Die Schichten des Keupers, die ursprünglich das gesamte Gebiet des Unterwerra-Sattels bedeckten (RITZKOWSKI 1978:197), sind im Untersuchungsgebiet generell abgetragen, nur in Zonen tektonischer Verstellung blieben Reste erhalten, wie im Netra- und im Altmorschen-Lichtenauer Graben sowie südlich des Ludwigssteins bzw. südöstlich Wendershausen.

Der Keuper wird unterteilt in:

- Oberer Keuper (Rhätkeuper),
- Mittlerer Keuper (Gipskeuper) und
- Unterer Keuper (Lettenkeuper).

Die im Untersuchungsgebiet angetroffenen Schichten werden vom Unteren und Mittleren Keuper gebildet.

#### Der untere Keuper

Nach STILLE & LOTZE (1933) charakterisiert diese Schicht den Übergang zwischen der marinen Sedimentation und rein festländischen Bildungen. Sie setzt sich aus insgesamt 30-50 m mächtigen Folgen von dunklen bunten Tonen, Dolomiten, Sandsteinen und feinsandig-schluffigen Mergelsteinen zusammen.

#### Der Mittlere Keuper

Diese Schicht, die im Untersuchungsgebiet nur in den Gräben erhalten ist, erreicht nach STILLE & LOTZE (1933) bis zu 350m Mächtigkeit und besteht aus bunten, tonigen Mergeln (rot, violett, grünlichgrau) mit Lagen von Gipsknollen und Gipsbänkchen, die aber nie die Mächtigkeit der Röt-Gipse erreichen.

Im Untersuchungsgebiet deutet sich der Mittlere Keuper häufig durch flache Bodensenkungen an, die auf Gipsauslaugung zurückgeführt werden. Eine geomorphologisch widerständige Schicht bildet der Schilfsandstein des Mittleren Keupers. Er neigt zur Stufenbildung. Der Obere Keuper kommt im Untersuchungsgebiet nicht vor.

Die in der Stratigraphie folgenden Schichten des Jura und der Kreide sind im Untersuchungsgebiet nicht zur Ablagerung gekommen.

#### Das Tertiär

Die Sedimentation setzte erst wieder im Tertiär ein, wie heute noch am Hohen Meißner sowie am Bilstein im Kaufunger Wald an Relikten nachweisbar ist. Nach RITZKOWSKI (1978:197) finden sich bei Laudenbach noch eozäne und oligozäne Sedimente, die auf dem Meißner nicht mehr vorhanden sind. Dort setzte das Jungtertiär erst mit den etwa mittelmiozänen, braunkohleführenden Schichten ein. GARLEFF (1985) stellt oligozäne sowie miozäne Sedimente, denen mittel- bis obermiozäne Vulkanite (Basalte) auflagern, im Randbereich der Grabenkreuzung (Altmorschen-Lichtenauer-Graben/Helsa-Großalmeröder Graben) fest und kommt zu der Aussage, daß sich diese Sedimente in abgesenkten oder durch auflagernde Basalte geschützten Positionen erhalten haben (GARLEFF 1985: 45).

In diesem Zusammenhang ist die Basis der Meißnerbasalte auffällig, die durch dreischüsselförmige Senken, in denen das Braunkohleflöz mit unterschiedlicher Mächtigkeit ansteht, gegliedert ist. FINKENWIRTH (1968) führt die unterschiedlichen Flözverdickungen auf Verdrückung, bedingt durch die austretenden Meißnerbasalte, zurück. MÜLLER (1985) sowie STÄBLEIN & MÜLLER (1986:308) sehen diese Senken als Auslaungsformen an, in denen sich die Braunkohlemächtigkeit im Zuge der Absenkung während präbasaltischer Auslaugung entwickelt hat (vgl. 2.2.2.7). Unterstützt wird diese Annahme durch die von (KREUTZER 1986) am benachbarten Hirschberg durchgeführten Untersuchungen. Er weist ebenfalls Auslaugung als Ursache für die Reliefverhältnisse der Braunkohlenlagerstätte nach. Auch die neue geo-

logische Grundaufnahme durch BALDSZUHN-STRAKA et al. (1985) weist auf subrosive Einflüsse des Zechsteinsalinars im Liegenden der Tertiärmulden des Hohen Meißners hin.

#### Der miozäne Basalt

Der 11,2 + 1,0 Mio Jahre alte Basalt (RITZKOWSKI 1978:197, n. mdl. Mitt. Prof. WEDEPOHL) bildet im topographisch höchsten Teil des Untersuchungsgebietes den Abschluß der sedimentären Oberlieferung der Tertiärzeit. Neben der großflächigen Verbreitung von Basalten treten kleinere, ähnlich datierte Basaltvorkommen auf, und zwar am Bilstein, am Schwiemelstein, am Heiligenberg, am Klepperberg, südwestlich Niddawitzhausen (am Rosenbühl) sowie an der Blauen Kuppe (KORITNIG 1978:237) und der Kleinen Kuppe bei Eschwege.

#### Das Quartär

Die jüngsten auftretenden Sedimente sind die im Laufe der pleistozänen Taleintiefung abgelagerten Werraschotter des Thüringer Waldes und der in der Umgebung anstehenden Gesteine. Sie befinden sich in unterschiedlichen Höhenlagen (nachweisbar von 2-140 m) über der heutigen Werra-Aue (vgl. 2.2.1.4), füllen aber auch den Grund des heutigen Werratales aus, der mit der jüngsten Sedimentschicht - dem Auelehm / Hochflutlehm - überdeckt ist (vgl. ELLENBERG 1968, 1970, 1975, 1976, BROSCHE 1984, 1986).

Neben diesen "Talsedimenten" hat sich im Lee der Gebirgszüge noch Löß abgelagert, der die fruchtbarsten Böden neben den Ablagerungen der Werra-Aue bildet. Löß überkleidet z.B. bei Langenhain südwestlich Eschwege das subkutane Relief mit Mächtigkeiten von über 10 m. In seinen obersten Bereichen ist er vollständig entkalkt und durch erosive sowie kryogene Prozesse deutlich umgelagert worden.

Hinzu kommen als quartäre Sedimente noch die Hangschuttdecken, die sich bei Hangneigungen über 7° flächenhaft erhalten haben. Sie greifen über alle Gesteine hinweg. Zu erwähnen sind auch die basaltischen Blockschuttdecken am Meißner, die Schutt-

decken des Buntsandsteins, die scherbige, sandige Schuttdecke der Grauwacke und die Schuttdecke des Muschelkalkes. Ihre Mächtigkeiten reichen von 30-40 cm bis zu mehr als 10 m.

Zum Abschluß des geologischen Überblicks zeigt Tab. 4 die Stratigraphie des Untersuchungsgebietes mit Anmerkungen zu geomorphologisch bedeutsamen oder durch Auslaugung beeinflussten Horizonten.

### 2.1.2 Die hydrographischen und geomorphographischen Verhältnisse der Täler

Hydrographisch gesehen gehört das gesamte Untersuchungsgebiet zum Einzugsgebiet der Werra, der alle Gewässer des Untersuchungsgebietes tributär sind. Im Verlauf einer Anzahl von Gewässern spiegeln sich die tektonischen Leitlinien wieder (vgl. Beilage 2).

Als Besonderheit sind die Gewässer des Hohen Meißners anzusehen, die das Bergmassiv zentrifugal entwässern und sich erst nach Verlassen des Steilhangbereichs den vorherrschenden tektonischen Lineamenten unterordnen.

Klar spiegeln sich in der Gewässerstruktur die geologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes wieder. Der Unterwerra-Sattel, die Grundgebirgsaufwölbung, wird von den breiten Kerbsohlentälern der Gelster und des Oberrieder Baches im nördlichen und im zentralen Teil durchschnitten. Im Süden des Sattels - eine Besonderheit im östlichen Meißnervorland - hat sich die Berka in der Schwächezone, die den Diabasaufstieg ermöglichte, eingetieft (vgl. 2.1.1). Alle drei Gewässer haben ihren Ursprung außerhalb des Unterwerra-Sattels und queren diesen. Ihre Talsohlen sind, neben Anteilen des unmittelbar Anstehenden, mit Basaltschottern verfüllt, denen eine mehrere dm mächtige Auelehmdecke aufliegt. Die Täler gelten als Vorzeitformen und unterscheiden sich in ihrem Habitus deutlich von den hängenden Kerbtälern des Dohrenbaches, des Soodenerbaches, des Steinbaches, des Kuhbaches und des Mittelbaches, die über ein heute noch konvexes Tallängsprofil verfügen und damit bei entsprechenden Nieder-

schlägen eine enorme Erosionskraft aufweisen (vgl. 2.1.3). Ihr Talverlauf liegt im Anstehenden der Grauwacke. Im Gegensatz zu den oben genannten Wasserläufen, verfügen der Dohlsbach und der Flachsbach als schmale Sohlentäler schon über ein ausgeglichenes Gefälle. Abschließend läßt sich feststellen, daß die Geschwindigkeit der Taleintiefung in den Unterwerra-Sattel von der Größe und der Charakteristik des Einzugsgebietes des jeweiligen Gewässers abhängt.

Der den Unterwerra-Sattel umrahmende Zechstein ist heute neben einigen Karstquellen (z.B. Kressenborn, Breitenborn) nur durch allochthone, im Buntsandstein entspringende Gewässer gekennzeichnet. Da er aber ebenso hohe Niederschläge (vgl. 2.1.3) erhält wie benachbarte Areale (Buntsandstein, Grauwacke), darf angenommen werden, daß die hohe Wasserwegsamkeit der permischen Formation zu unterirdischem Abfluß führt. Als Beleg für diese These gelten die Karstschwinden des "Verlorenen Baches" zwischen Roßbach und Kleinalmerode (R 355560/H 568773) sowie ähnliche Phänomene zwischen Fürstenstein und Leinenkuppe (R 357023/H 567751) (vgl. 4.11). Beiden ist gemeinsam, daß unterhalb der Schlucklöcher keinerlei Gewässeraustritte zu beobachten sind. Darüber hinaus deuten die geomorphologischen Verhältnisse auf vorzeitliche Entwässerung der Zechsteingebiete hin. Belege hierfür sind die Trockentäler, die sowohl im Kleinalmeroder Becken (vgl. 4.1) als auch im östlichen Meißnervorland (vgl. 4.4) auftreten. Im unmittelbaren Vorflutbereich der Werra und des Gelstertales zeichnen sich diese Trockentäler - schon POSER (1933:134) zeigt dies für das östliche Meißnervorland auf - durch kerbsohlenförmige Tiefenlinien, große Engständigkeit, gleichsinniges Gefälle und einem Hängen der Talgänge über der Werra aus (z.B. Beckingsgraben und Umgebung). Wasserführung ist hier nur periodisch im Anschluß an Starkregen (vgl. 2.1.3) zu beobachten.

Der dem Zechstein auflagernde Buntsandstein gilt in seiner untersten Abteilung, dem Unteren Buntsandstein, als wenig wasserwegsam. Bei durch Tektonik gestörter Lagerung oder bei durch Auslaugung zerrütteter Struktur kehrt sich dieses Verhalten um; es kann infolge der Durchlässigkeit des Mittleren Buntsandsteins mit hoher Wasser-

Tab. 4: Die Stratigraphie in der Umgebung des Unterwerra-Sattels unter besonderer Berücksichtigung auslaugungsfähiger Substanzen (aus MÖLLER & STÄBLEIN 1986:6, verändert).

| Formation /Abteilung                                 | Sediment /Gestein  | Mächtigkeiten                       | Hinweis auf lösliche Substrate ** |
|--|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Quartär (bis 20 m)</b>                            |  |                                     |                                   |
| qh Holozän   | Auelehm, Abraum  | bis 10 m                            |                                   |
| qp Pleistozän  | Terrassenschotter, Hangschuttdecken, Löß.  | bis 15 m                            |                                   |
| <b>Tertiär (bis 235 m)</b>                           |  |                                     |                                   |
| tpl Pliozän  | Fußflächengerölle (Fanger)   | bis 160 m                           |                                   |
| tmi Miozän   | Basalt, Braunkohle, Sande, Tone.   | bis 50 m<br>bis 25 m                |                                   |
| ----- Schichtlücke -----                             |  |                                     |                                   |
| <b>Keuper (über 275 m möglich)</b>                   |  |                                     |                                   |
| ko Oberer Keuper, Rhät                               | Sandsteine, Schiefertone   | bis 40 m                            |                                   |
| km Mittlerer Keuper, Steinmergelkeuper, Gipskeuper   | Mergelsteine, Tonsteine  | bis 100 m<br>bis 100 m              | A                                 |
| ku Unterer Keuper, Grenz-dolomit, Lettenkeuper       | Kalkstein, Kalk-, Dolomit-, Ton- und Mergelstein   | bis 35 m<br>ohne Angabe             | K<br>K, D                         |
| <b>Muschelkalk (247 m)</b>                           |  |                                     |                                   |
| mo Oberer Muschelkalk                                |  |                                     |                                   |
| mo2 Ceratiten-Schichten                              | Plattenkalke, Mergel   | bis 70 m                            | K                                 |
| mo1 Trochiten-Schichten                              | bankige Kalke  | bis 12 m                            | K                                 |
| mm Mittlerer Muschelkalk                             | Mergel, Kalke, Anhydrit-Schichten  | 25-50 m                             | K<br>A<br>(Na)                    |
| mu Unterer Muschelkalk                               | Wellenkalk-Schichten, getrennt durch Oolith-, Terebratel- und Schaumkalkzone   | 115 m                               | K                                 |
| <b>Buntsandstein (730 m, im Osten 520 m)</b>         |  |                                     |                                   |
| so Oberer Buntsandstein, Röt                         | Tonsteine mit Gipslagen (30 m), und Salz.  |                                     | A<br>(Na)                         |
| sm Mittlerer Buntsandstein                           | Sandstein-Wechselfolgen aus Solling-Folge Hardegsen-Folge Detfurth-Folge Volpriehausen-Folge<br>Grobsand- bis Tonsteinen | 280 m                               |                                   |
| su Unterer Buntsandstein                             | tonreiche Sandsteinfolgen.<br>Salmünster-Folge Gelnhausen-Folge Bröckelschiefer-Folge                                    | bis 350 m                           |                                   |
| <b>Zechstein (bis 228 m)</b>                         |  |                                     |                                   |
| zo Oberer Zechstein                                  |  |                                     |                                   |
| z4(-6) Aller-(Ohre-, Friesland-)Serie (obere Letten) | Schluff- und Sandsteine mit Dolomitknollen und Anhydrit, Salzresiduen, Salzton.  | bis 17 m                            | D<br>A<br>(Na)                    |
| z3 Leine-Serie (Hauptanhydrit und untere Letten)     | Hauptanhydrit Plattendolomit, Salzton.   | bis 20 m<br>bis 16 m<br>bis 35 m    | A<br>D<br>(Na)                    |
| z2 Staßfurt-Serie                                    | Basalanhydrit Hauptdolomit Salzton.  | bis 33 m<br>bis 70 m<br>bis 5 m     | A<br>D<br>(Na)                    |
| zm Mittlerer Zechstein                               |  |                                     |                                   |
| z1 Werra-Serie 2                                     | (Steinsalz), Steinsalzresiduen Anhydrit Karbonatbrekzie;   | (bis 117 m)<br>bis 100 m<br>bis 4 m | (Na)<br>A<br>K                    |
| zu Unterer Zechstein                                 |  |                                     |                                   |
| z1 Werra-Serie 1                                     | Kalk, Kupferschiefer, Zechsteinkonglomerat, Weißliegendes.   | bis 10 m<br>bis 0,61 m<br>bis 10 m  | K                                 |
| ----- Schichtlücke -----                             |  |                                     |                                   |
| <b>Devon</b>   |  |                                     |                                   |
| d Albunger Paläozoikum                               | Grauwacke, Schiefer.   | mehr als 20 m                       |                                   |

\*\* Hinweise auf lösliche Substrate:  
(Na) = Steinsalz bzw. Steinsalzresiduen, A = Anhydrit und Gips, K = Kalk, D = Dolomit.

ergiebigkeit gerechnet werden (vgl. 2.2.3). Letzteres spiegelt sich im Gewässernetz in der Umgebung des Kleinalmeroder Beckens wieder. Hier treten alle Gewässer im Unteren Buntsandstein aus und zeichnen sich durch starke Wasserführung in Richtung Werra aus. Subrosionsphänomene bewirken aber auch im Eschweger Becken erhöhte Wasserwegsamkeit des Unteren Buntsandsteins, wie sich an den Brunnen bei Aue, die im Unteren Buntsandstein stehen, zeigen läßt.

Die vorherrschenden Talformen im Unteren Buntsandstein sind Mulden-bis Sohlenformen mit begleitenden konvexen Hängen (vgl. die Umgebung der Blauen Kuppe als Fußflächenregion im Unteren Buntsandstein). Die Talprofile sind vom Mittellauf ab ausgeglichen. Im oberen Teil sind sie durch konkaven Verlauf geprägt; in dem kurzen nischen- bis wannenförmigem Reliefelement, das die Talzüge beschließt, erreichen sie beträchtliche Neigungen (z.B. am Nordostabfall des Kaufunger Waldes bis zu 30°). Die Sohlen dieser Talformen werden durch verlagerten Buntsandsteinschutt gebildet, der von Auelehm, einem vielfach verlagerten Löß, überdeckt wird.

Der auflagernde Mittlere Buntsandstein gilt als der beste und meistgenutzte Grundwasserleiter Nordhessens (FINKENWIRTH 1965:7). Er liegt selten im Vorflutniveau und damit kaum im grundwasserführenden Bereich. Sein zyklisch aufgebaute Gesteinskörper (vgl. 2.1.1) läßt Quellhorizonte und Stauanassen in Arealen mit wasserstauenden tonigen Sedimentschichten auftreten. Beste Beispiele für die Entwässerung des Mittleren Buntsandsteins sind zum einen die Quellhorizonte am östlichen Mittelhang des Hohen Meißners, zum anderen die Gewässer im Schlierbachswald, die an der Einfallrichtung der Gesteinsserien orientiert sind.

Die obere Abteilung des Buntsandsteins, das Röt, ist infolge seiner tonigen Zusammensetzung wasserstauend und daher Ursprung vieler Gewässer an der Röt-Muschelkalk-Grenze (Talkessel von Asbach, Ammicherode, Hitzelrode, Kella, Rambach, Weißenborn). Voraussetzung ist die gute Wasserwegsamkeit des Unteren Muschelkalkes, der die umrahmenden Höhen einnimmt (vgl. 2.1) und im Un-

tersuchungsgebiet durch kein kleinräumiges Gewässernetz gegliedert wird.

Charakteristische Talformen sind im Röt nicht vorhanden, da abgerutschte Muschelkalkpartien diese Gesteinsformation vielfach überdecken. Der hohe Gipsgehalt des Unteren Röt führt zur Auslaugung und Nachsackung des Hangenden, so daß im allgemeinen von einem welligen bis kesseligen und kuppigen Relief gesprochen werden kann. Die auftretenden Tiefenlinien sind am besten durch den Zusatz "kerbförmig" zu charakterisieren. Sie vereinigen sich zu Kerbtälern, die bis in den Mittleren Buntsandstein reichen.

Alle Talformen des Buntsandsteins sind in ihrer geomorphodynamischen Wirksamkeit von ihrer Lage zur Vorflut abhängig. Hiermit läßt sich die unterschiedliche Erosionstätigkeit erklären, die einerseits am Nordostabfall des Kaufunger Waldes auch in den steilen Tälern zum Stillstand gekommen ist, andererseits durch das starke Einschneiden des Hain-Bachs im Ammicheroder Talkessel auffällt.

Wie schon angedeutet, neigt der Untere Muschelkalk im Untersuchungsgebiet infolge seiner Klüftigkeit und seiner Entfernung zur Vorflut nicht zur Talbildung. Erst der geomorphologisch weiche Mittlere Muschelkalk bildet in der Sondersituation am Westhang des Meißners ein weitgespanntes Mulden-tal, welches durch eine Vielzahl von Dolinen gegliedert ist und heute im oberen und unteren Teil als Trockental gilt (Weibenbacher Tal - im untersten Abschnitt liegt ein fossiler Talboden). Auch die den Witzenbrachskopf (R 356325/H 568595) in nordwest-südöstlicher Richtung begleitenden Muldentäler des Unteren Muschelkalkes sind Trockentäler. In beiden Fällen handelt es sich um geologische Sondersituationen, und zwar eine Verstellung der Muschelkalkschichten durch tektonische bzw. subrosive Prozesse.

Der auflagernde Obere Muschelkalk gilt aufgrund seiner Klüftigkeit als ebensowenig wasserwegsam wie der Untere Muschelkalk und scheidet demzufolge für die Talbildung ebenfalls aus. Läßt sich in geomorphologischen Sondersituationen eine Talbildung im Oberen Muschelkalk beobachten, wie

z.B. am Westhang des Meißners unterhalb Bransrode sowie im Laudenbacher Hohl, so treten steilwandige und enge Talformen mit Klippenbildung auf. Auf gleiche Weise sind auch die Täler des Oberen Muschelkalkes, die in den Netragraben hineinreichen, zu interpretieren.

Der folgende Keuper, im Untersuchungsgebiet nur im oberen Gatterbachtal (R 358645/H5673 10) in natürlicher Position auftretend, findet sich im Netra- wie auch im Altmorschen-Lichtenauer Graben. Sein Gewässernetz ist, wie infolge der den Keuper aufbauenden wasserstauenden Tonschichten zu erwarten ist, vergleichsweise dicht. Dies hängt allerdings auch von dem zur Verfügung stehenden oberflächenhaften Abfluß ab. Allgemein läßt sich mit MATZ (1930 zit. nach GARLEFF 1985:16) sagen, daß die petrographischen Einheiten Einfluß auf die Gerinuedichte haben die sich auf Kalkstein-, Sandstein- und Ton- bis Schluffsteinausstrichen wie 1 : 1,5 : 2,5 verhält. Als Beispiel für die unterschiedliche Gerinuedichte infolge unterschiedlicher petrographischer Verhältnisse ist die Talwasserscheide zwischen Velmeden und Laudenbach anzusehen.

Das liegende Tertiär, das in größerer Verbreitung im Untersuchungsgebiet nur auf dem Hohen Meißner anzutreffen ist, gilt mit seinen tonig-feinsandigen Sedimenten als wasserundurchlässig und gibt als Wasserstauer den Meißnermulden ihre Schüsselfunktion. In ihnen sammelt sich das durch den klüftigen Basalt sickernde Wasser und tritt randlich über. Die zentrifugale Entwässerung des Meißners durch Oberlaufquellen verdeutlicht dieses Phänomen.

Jüngstes Glied der hydrographisch in Erscheinung tretenden Einheiten sind die quartären Ablagerungen in den Flußauen. Diese bis zu 11 m mächtigen Kieskörper werden in der Regel von einer bis zu 2 m mächtigen Auelehmdecke überlagert, in der sich teilweise Bänder des Laacher Bimsuffes nachweisen lassen. Nach Auskiesung der Schottervorkommen bilden sich in den nicht wieder rekultivierten Arealen See- flächen. Sie verdeutlichen die hydrographische Situation - den hohen Grundwasserspiegel - in diesen Gebieten. Vielfach werden die Schotterkörper als Brunnenstand-

orte für die Wasserversorgung herangezogen (vgl. 2.2.3).

### 2.1.3 Die klimatischen Verhältnisse

Die folgende Klimabeschreibung geht auf den Klima-Atlas von Hessen (KNOCH 1950) und auf das Klima von Hessen (Deutscher Wetterdienst, Offenbach 1981) zurück und wird durch punkthaft vorliegende Niederschlagsdaten ergänzt.

Die Lage des Untersuchungsgebietes im Bereich der vorherrschenden Westwinde führt zu Luvseiteneffekten mit stärkerer Bewölkung und größeren Niederschlagshöhen sowie zu ausgeprägten Leeseiteneffekten mit mehr Sonnenschein und geringeren Niederschlagsmengen. Die Niederschläge im Untersuchungsgebiet lassen sich folgendermaßen zuordnen:

- Das Werratal mit dem Eschweger Becken, dem östlichen Meißnervorland und dem Kleinalmeroder Becken als Niederung im Lee der Mittelgebirge weist gegenüber dem Umland höhere Lufttemperaturen und geringere Niederschläge aber auch veränderte Windgeschwindigkeiten und -richtungen auf (Deutscher Wetterdienst, 1981:6).
- Der Kaufunger Wald, der Hohe Meißner, die Gobert, die Graburg und der Schlierbachswald weisen die typischen Merkmale der Mittelgebirge auf, wobei die Gobert gegenüber dem westlich gelegenen Meißner und dem Kaufunger Wald im Lee liegt.

#### Niederschlagsverhältnisse

Bezogen auf die Auslaugung stellt sich die Verteilung der Niederschläge im Untersuchungsgebiet als wesentlich dar. Die zugänglichen Werte sind in Tab. 5 für den Hohen Meißner (Station Hausen in ca. 520 m NN auf der Luvseite) und in Abb. 11 für das Werratal wiedergegeben. Mangels ausreichend langen Beobachtungszeitraumes zeigt die Kurve der Meißnerniederschläge jedoch nur eine Tendenz der Niederschlagsverteilung und ihrer Menge an.

Der postulierte Leeseiteneffekt wird durch Daten des hydrologischen Versuchsfeldes Rautenbach/Ziegenhagen/Kaufunger Wald er-

Tab. 5: Niederschlagssummen an der Meßstation Hausen (1977-1981).

|      | 1977  | 1978  | 1979  | 1980  | 1981   | Mittel |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Jan  | 70,2  | 40,5  | 79,6  | 62,8  | 136,2  | 77,9   |
| Feb  | 75,2  | 50,7  | 38,6  | 56,9  | 43,4   | 53,0   |
| Mär  | 50,7  | 88,3  | 118,1 | 65,7  | 148,0  | 94,2   |
| Apr  | 83,7  | 20,2  | 89,2  | 80,1  | 64,4   | 67,5   |
| Mai  | 49,2  | 99,0  | 89,0  | 60,1  | 144,7  | 88,4   |
| Jun  | 83,3  | 73,5  | 83,7  | 138,3 | 231,4  | 122,0  |
| Jul  | 63,9  | 52,2  | 91,3  | 144,1 | 106,1  | 91,5   |
| Aug  | 127,8 | 11,3  | 46,8  | 43,1  | 151,7  | 96,1   |
| Sep  | 33,5  | 134,7 | 23,7  | 112,4 | 73,4   | 75,5   |
| Okt  | 74,8  | 32,6  | 6,2   | 56,7  | 102,7  | 54,6   |
| Nov  | 149,6 | 16,2  | 98,1  | 73,5  | 129,5  | 93,4   |
| Dez  | 115,9 | 95,1  | 135,8 | 117,1 | 151,6  | 123,1  |
| Jahr | 977,8 | 814,3 | 900,1 | 890,6 | 1573,1 | 1037,2 |

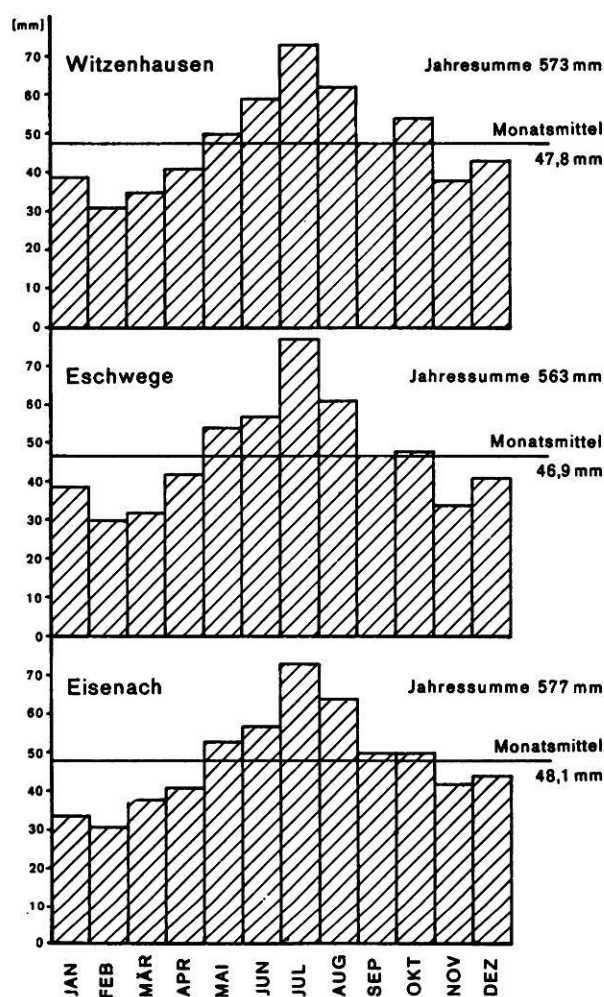


Abb. 11: Die Monatssummen der Niederschläge an den Talstationen Eisenach (210m NN), Eschwege (170m NN) und Witzenhausen (139m NN) für den Beobachtungszeitraum 1891 - 1930 (aus KNOCH 1951:52).

härter. Das Einzugsgebiet (Kleiner Steinberg, Haferberg, Ziegenhagen, mittlere Höhe 550 m NN) erhielt in der Beobachtungsperiode 1931-1960 zwischen 750 und 850 mm Niederschlag, im Beobachtungszeitraum 1958-1972 wurden im Mittel 853 mm gemessen (KILLE & RUDOLPH 1974:106).

Abschließend läßt sich feststellen, daß auf dem Hohen Meißner mehr als 1000 mm Niederschlag beobachtet werden, die unter Abzug der Verdunstungsrate von maximal 62% und des oberirdischen Abflusses von 21% (für Hessen gemittelte Werte aus: Der Hessische Minister für Landwirtschaft Forsten und Naturschutz 1985:26) in den tieferen Untergrund eindringen können. Das heißt, weniger als 10% des Niederschlages sind wasserwirtschaftlich nutzbar. So sind z.B. die Karstquellen des Kressen- und des Breitenborns anhand ihrer gleichmäßigen Schüttungen, die im östlichen Meißnervorland als Folge der wechselnden Niederschlagsverhältnisse nicht zu vermuten sind, an den Grundwasserlieferanten Hoher Meißner gebunden. Auch die Wässer der Steilstufe des Kaufunger Waldes, die perennierend das Kleinalmeroder Becken durchfließen, sind von den erhöhten Niederschlägen nördlich der Wasserscheide der Kaufunger Wald-Hochfläche abhängig.

#### 2.1.4 Die bodenkundlichen Verhältnisse

Die Bodenarten, das Ausgangssubstrat für die Bodenbildung, sind abhängig vom geologischen Untergrund oder von Korrelaten vorzeitlich geomorphodynamisch wirksamer Prozesse.

Tab. 6: Bodenarten und Bodentypen in Zuordnung zum Ausgangssubstrat.

| Gestein       | Bodenart   | Bodentyp  |
|---------------|--|---|
| Grauwacke     | Sand, sandiger Schluff, sandiger Lehm mit Steinen und Schutten als Beimengung  | Ranker-Braunerden<br>basenarme Braunerden   |
| Zechstein     | schluffiger Lehm, toniger Lehm, lehmiger Ton mit örtlichen Gesteinsbeimengungen  | dünne rendzinaartige Bodendecken auf Gips- und Dolomiterhebungen<br>Verwitterungslehme (tiefgründige Böden geringer bis mittlerer Basensättigung) auf Letten und Salztonen  |
| Buntsandstein | Sand, lehmiger Sand, schluffiger Sand, sandiger Lehm mit örtlichen Gesteinsbeimengungen  | – mäßig nährstoffreiche Braunerden auf Verebnungen des Unteren Buntsandsteins<br>– basenarme Braunerden und Podsol-Braunerden auf Hangschuttdecken des Mittleren Buntsandsteins<br>– schwere lehmige Braunerden und Pelosole auf Oberem Buntsandstein (Röt) |
| Muschelkalk   | toniger Lehm, schluffiger Lehm, Ton mit Gesteins- und Schuttbeimengungen   | – flachgründige Rendzinen auf Platten des Unteren Muschelkalkes, Mullrendzina an den Hängen<br>– fortgeschrittene Rendzinaentwicklung, Braune Rendzina bis Terra fusca auf Oberem Muschelkalk (Ceratitischichten)   |
| Keuper        | lehmiger Ton mit Gesteinsbeimengungen  | Braunerden, Pelosole, Gleye je nach Wasserverhältnissen   |
| Tertiär       | Ton, Sand, Lehm, schluffiger Ton in tertiären Lockersedimenten<br>sandiger Lehm mit Gesteinsbeimengungen auf Basalten  | basenreiche Braunerden bis Gleybildungen je nach Stauwassereinfluß  |
| Quartär       | Löß in Form von Residuen als Schluff, schluffiger Lehm, lehmiger Schluff auf allen Ausgangssubstraten. In den wenigsten Fällen tritt der Löß dominant auf.<br><br>Sand, Kies, sandiger Lehm als Auenböden<br><br>Basaltschutt, Muschelkalkschutt, Buntsandsteinschutt, Zechsteinschutt, Grauwackenschutt als Beimengung bzw. dominant an Steilhängen | Parabraunerden auf Löß in situ<br>Braunerden bis Parabraunerden auf Böden mit Lößanteilen<br><br>Auenlehme als Braune Auenböden   |

Im Untersuchungsgebiet lassen sich folgende Bodenarten in Zuordnung zu vorzeitlichen geomorphodynamischen bzw. geologischen Verhältnissen mit ihren Bodentypen ausweisen (Tab. 6). Die Bodeneigenschaften sind in ihrer Ausprägung abhängig von der Expo-

sition, der Neigung, der Durchfeuchtung und der Durchmischung mit anderen Komponenten. In Abhängigkeit von der Bodenart schwankt die Wasserdurchlässigkeit, so daß hierdurch sowohl Auslaugungs- als auch Bodenerosionserscheinungen beeinflußt werden.



## 2.2 Forschungsstand

Bezogen auf die Fragestellung der Arbeit und das umfangreich vorliegende Material erscheint es sinnvoll, die bisherigen Erkenntnisse der geowissenschaftlichen Disziplinen (Geomorphologie, Geologie, Hydrogeologie) im Untersuchungsgebiet und seiner Umgebung getrennt vorzustellen.

### 2.2.1 Geomorphologischer Forschungsstand

#### 2.2.1.1 Vorarbeiten

Beeinflußt durch die Arbeiten im Schwerpunktprogramm der Geomorphologischen Detailkartierung der Bundesrepublik Deutschland, insbesondere der GMK 25, Blatt 2, 5018 Wetter (GEHRENKEMPER, MÜLLER & STÄBLEIN 1978), wurde vom Verfasser die Geomorphologie des Gebietes an der unteren Berka bearbeitet (MÜLLER 1979). Dabei wurden die Talentwicklung und die großräumige Reliefentwicklung unter Vernachlässigung der Subrosion allein auf das klimagenetische Konzept reduziert. In der folgenden Arbeit über die Geomorphologie des Meißners und seines östlichen Vorlandes (MÜLLER 1982) kam der Gesichtspunkt der Auslaugung erstmalig, wenn auch untergeordnet, zum Tragen. Beide Arbeiten standen im Zusammenhang mit der GMK 25:17, 4725 Bad Sooden-Allendorf, deren Kartierung von mir 1983 abgeschlossen wurde und die nun publiziert vorliegt (MÜLLER & STÄBLEIN 1984). Die Detailkartierung gab den Ausschlag, die hier bearbeitete Fragestellung über Auslaugung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels anzugehen.

#### 2.2.1.2 Arbeiten in der weiteren Umgebung des Unterwerra-Sattels

An erster Stelle müssen hier die Arbeiten von WENZENS (1969, 1985) im Sontraer Becken und von LIEBMANN (1973) zwischen Waldkappel und Rotenburg/Fulda genannt werden. WENZENS (1969) veränderte die bis dahin gültige Abgrenzung der Salzverbreitung aufgrund geomorphologischer Indizien und beschäftigte sich mit der Beckenentwicklung aus geologisch-tektonischer, aber auch aus geomorphologischer Sicht. Er unterscheidet fünf Reliefgenerationen:

- eine mio-pliozäne Fläche, mittelpleistozän verstellt,
- eine jungtertiäre Fläche mit Flußschottern und Hangverebnungen an der Wende Plio-/Pleistozän und
- drei Terrassenniveaus, denen er fünf Terrassenkörper in unterschiedlicher Höhenlage zuordnet.

Ferner geht WENZENS davon aus, daß die Salzauslaugung die geomorphogenetische Bearbeitung eines tektonisch stark beeinflußten Gebietes erschwert und daß die folgende Gipsauslaugung die Oberflächenformung in langanhaltenden Zeiträumen verändert. WENZENS (1969:65) deutet das Sontraer Becken als typisches Gipskarstgebiet mit deutlichen Unterschieden zu Kalk- und Dolomitskarst.

Die Verbreitung von Erdfällen wird von WENZENS an steilen Hängen und auf Ebenheiten weit über dem Vorfluter festgestellt, aber auch in Talauen, wo der Auslaugungshorizont unterhalb des Grundwassers angenommen wird. Außerdem treten Erdfälle sowohl an tektonischen Leitlinien als auch ohne Verbindung zu Störungen auf, so daß keine Systematik zu erkennen ist. Als erdfallgeeignet werden noch Talschlüsse von Trockentälern aufgeführt.

Aus der Beschäftigung mit der Entstehung und Verbreitung von Erdfällen leitet WENZENS (1969:74) ab, daß durch sich erniedrigende Erosionsbasis die Entstehung von Hohlräumen dicht unter der Oberfläche begünstigt wird.

Die Arbeit von WENZENS (1969) ist neben der Arbeit von LIEBMANN (1973), die Karsterscheinungen unter der Fragestellung der Flächen im Fulda-Werra-Bergland mitbearbeitet, die einzige, die sich mit Karsterscheinungen in der näheren Umgebung des Untersuchungsgebietes beschäftigt. Weiter nördlich in einem Teilraum des Niedersächsischen Berg- und Hügellandes, zwischen Weser und Harz, arbeitete SEEDORF (1955) über die Reliefbildung durch Gips und Salz. Insbesondere beschäftigte er sich mit Salzbewegungen und den an der Erdoberfläche zu beobachtenden Folgeerscheinungen. Viele Talungen werden von SEEDORF auf Auslaugung (Salzspiegelabsenkung) zurückgeführt. Als Ergebnis seiner Arbeit sollte vermerkt

werden, daß dem Einfluß der Subrosion auf die Reliefentwicklung größere Bedeutung zukommt als das in der bisherigen geomorphologischen Literatur der Fall war. Zu erwähnen ist noch die Arbeit SEMMELs (1973), der sich im Kasseler Raum mit Fragen der Terrassenverstellung durch tektonische Impulse beschäftigt und hierbei die Auslaugung als wesentlichen Störfaktor (SEMMEL 1973: 31) betrachtet, sowie eine neuere Arbeit des gleichen Autors, in der das Vorkommen kleinerer Subrosionssenken im Grabenbereich des Michelrombacher-Grabens (Südabfall des Rheinischen Schiefergebirges) für die Annahme einer großen Subrosionssenke spricht (SEMMEL 1984: 84). Abschließend sei die Arbeit von BRUNOTTE, GARLEFF & JORDAN (1985) erwähnt, in der für das Gebiet der TK 4325 Nörten-Hardenberg die von GARLEFF (1985) vorgestellten Reliefstockwerke (vgl. 2.2.2.1) ausgewiesen sind. Absenkungen durch Subrosion sind erklärt, ihnen kommt aber nur lokale Bedeutung bei der ansonsten tektonisch und klimatisch gesteuerten Reliefentwicklung zu (BRUNOTTE, GARLEFF & JORDAN 1985:284).

### 2.2.1.3 Arbeiten zu komplexen Reliefausschnitten

Für das Untersuchungsgebiet liegt von Seiten der Geomorphologie, außer der Arbeit von JASCHKE (1888) über das Meißnerland und der auf den Schulunterricht ausgerichteten Arbeit von MEINICKE (1913), keine weitere gesamträumige Bearbeitung vor. Großräumigere Arbeiten sind die von POSER (1933), WEILAND (1937/38), TOLLE-KRIEGER (1941), KIRBIS (1950) und MAIER-SIPPELL (1952), die sich mit der Genese von größeren Reliefausschnitten im Gebiet des Unterwerra-Sattels auseinandersetzen (Abb. 12). Detailergebnisse dieser Arbeiten werden in Kap. 4 und 5 bei der Behandlung der geomorphologischen Raumeinheiten wieder aufgegriffen.

Hervorzuheben ist die Arbeit POSERs (1933), die neben den geologischen Arbeiten als die eigentliche geomorphologische Meißnerarbeit gilt. POSER diskutiert anhand einer sehr detaillierten Geländeaufnahme die Genese des Meißners und seines östlichen Vorlandes bis hin zu den Terrassen der Werra. WEILAND (1937/38) beschäftigt sich mit der Relief-

entwicklung des Kaufunger Waldes und stellt dabei eine Vielzahl von Flächensystemen unterschiedlichen Alters dar (Abb. 13). Auslaugungsphänomene werden von ihm nur in einer Fußnote erwähnt. MAIER-SIPPELL (1952) beschäftigt sich mit dem Roßkopf-Massiv - dem Zentrum des Unterwerra-Sattels - und stellt fünf verschieden alte Flächen vor (Abb. 13), die sie rein geomorphographisch ausweist. Ihre Fragestellung ist die Flächenentstehung unter Berücksichtigung tektonischer Einflüsse. HAGEDORN (1966) widerspricht dieser Flächendarstellung im obersten Bereich (Roßkopf I und II) und deutet diese Formen als durch pleistozän-kaltzeitliche Kryoplanationsterrassen herausgearbeitete Resistenzunterschiede der Grauwackenserie (GARLEFF 1985:51). KIRBIS (1950) liefert einen Beitrag zur Morphogenese der Gobert, wobei sie sich insbesondere mit der Genese der Talkessel von Ammicherode, Altenstein und des Heutals auseinandersetzt. Diesen großen "Zirkustalkesseln" (KIRBIS 1950:9), die in Sattelstrukturen liegen, weist sie eine geomorphologische Sonderstellung zu, die gekennzeichnet ist durch radial zur Kesselmitte angeordnete Rutschformen und das Fehlen einer ebenen Talsohle. Salzauslaugung für die Talkessel schließt sie nach Informationen zur Salzlagerung von RICHTER (1940) aus.

Die Diskussion vorgenannter Autoren faßt GARLEFF (1985) zusammen und gliedert im Rahmen seiner geomorphologischen Betrachtungen drei Reliefstockwerke aus:

- die alt- bis mitteltertiäre Oberfläche,
- ein mittel- bis jungtertiäres Reliefstockwerk, das nur wenig Abweichung von der alt- bis mitteltertiären Oberfläche zeigt (GARLEFF 1985:51), und
- ein Reliefstadium der alt- bis mittelpleistozänen Taleintiefung.

GARLEFF (1986:2 f) präzisiert die genannten Phasen der Reliefentwicklung, die durch Vorherrschaft kennzeichnender Reliefkomplexe ausgezeichnet sind: "Das alt- bis mitteltertiäre Altrelief umfaßt vor allem weitgespannte Kappungsflächen über hochresistenten Gesteinen. Merkmal des plio-/ältestpleistozänen Reliefzustandes sind insbesondere breite Täler und Fußflächen. Die folgende pleistozäne Formung ließ bevorzugt enge, steilhängige Täler, aber auch Fuß-

flächen über gering resistenten Gesteinen entstehen. In geologisch-tektonisch und hydrographisch geeigneten Positionen wurden allerdings in jeder Phase - z.T. in enger räumlicher Nachbarschaft - Täler, Strukturformen und Flachreliefbereiche gebildet."

#### 2.2.1.4 Arbeiten zur Talentwicklung der Werra

Vielfach sind die Beiträge zur Talentwicklung des Werra-Tales nicht nur ausschließlich auf dieses bezogen, sondern auch auf

die Entwicklung des Weser- bzw. Fulda-Tales (SIEGERT 1912, GRUPE 1909,1912,1926, SOERGEL 1927, AMTHAUER 1972). Die Arbeit MEINECKEs (1913) ist die erste, in der versucht wird, alle erkennbaren Terrassenniveaus des Werra-Tales zusammenzustellen und aufzulisten. MEINECKE konstruierte neun Terrassenniveaus, angefangen von einer 7 m-Terrasse bis zu einem Niveau in 155 m über der rezenten Werra-Aue. CLAASEN (1941, 1944) weist dreizehn verschiedene Terrassenniveaus für das Gebiet zwischen Bad Sooden-Allendorf und Hannoversch Münden nach. MENSCHING (1953:126) stellt für das Plei-

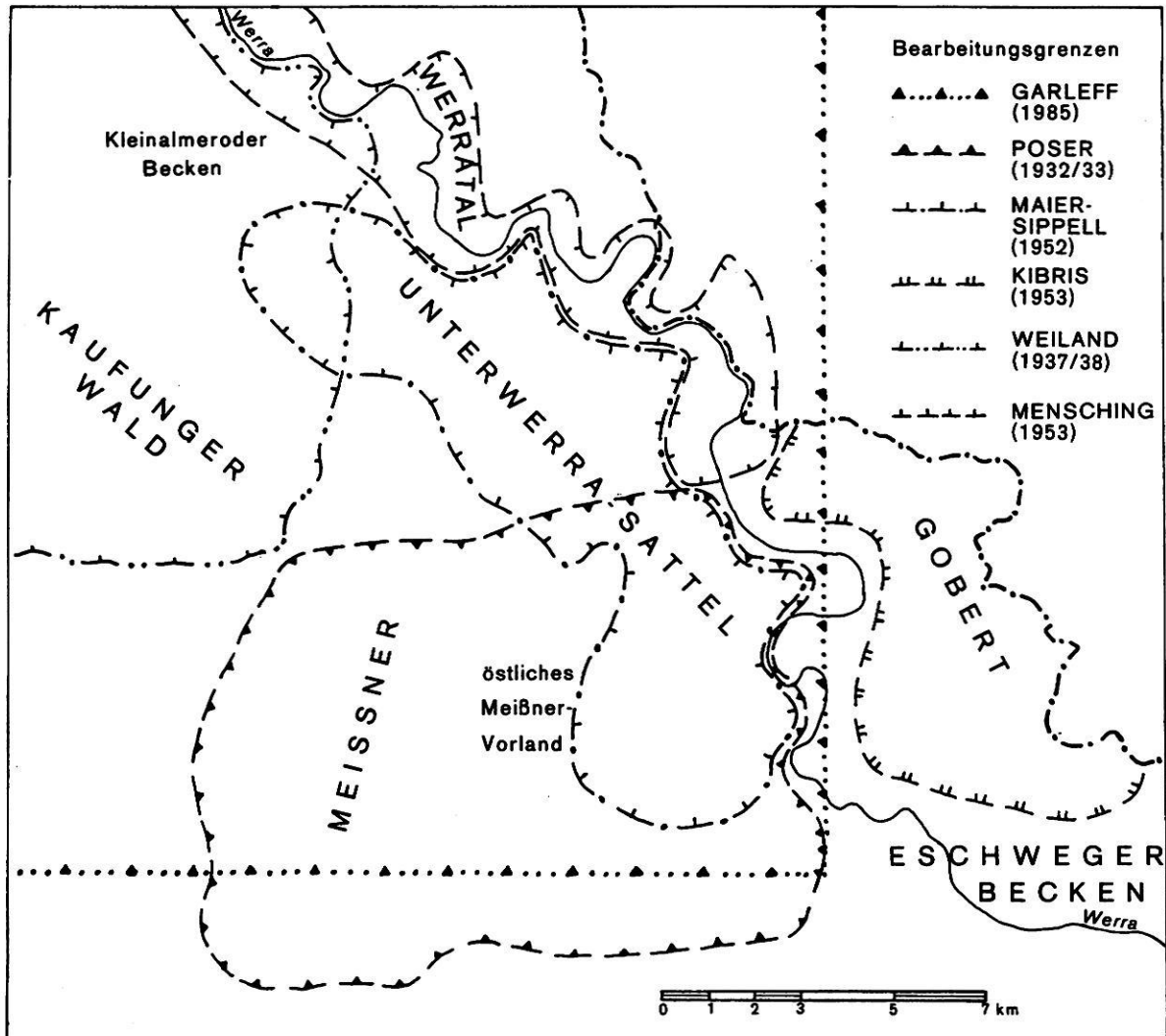


Abb. 12: Übersicht über die großräumigen geomorphologischen Arbeiten in der Umgebung des Unterwerra-Sattels.

Die Abbildung verdeutlicht die Lage der Gebiete, die bisher geomorphologisch bearbeitet worden sind. Bei der Auswertung dieser Arbeiten fällt auf, daß trotz der räumlichen Verzahnung, der Bezug der Arbeiten untereinander nicht immer gegeben ist (vgl. Abb. 13), so daß auch unterschiedliche geomorphogenetische Vorstellungen nebeneinanderstehen.

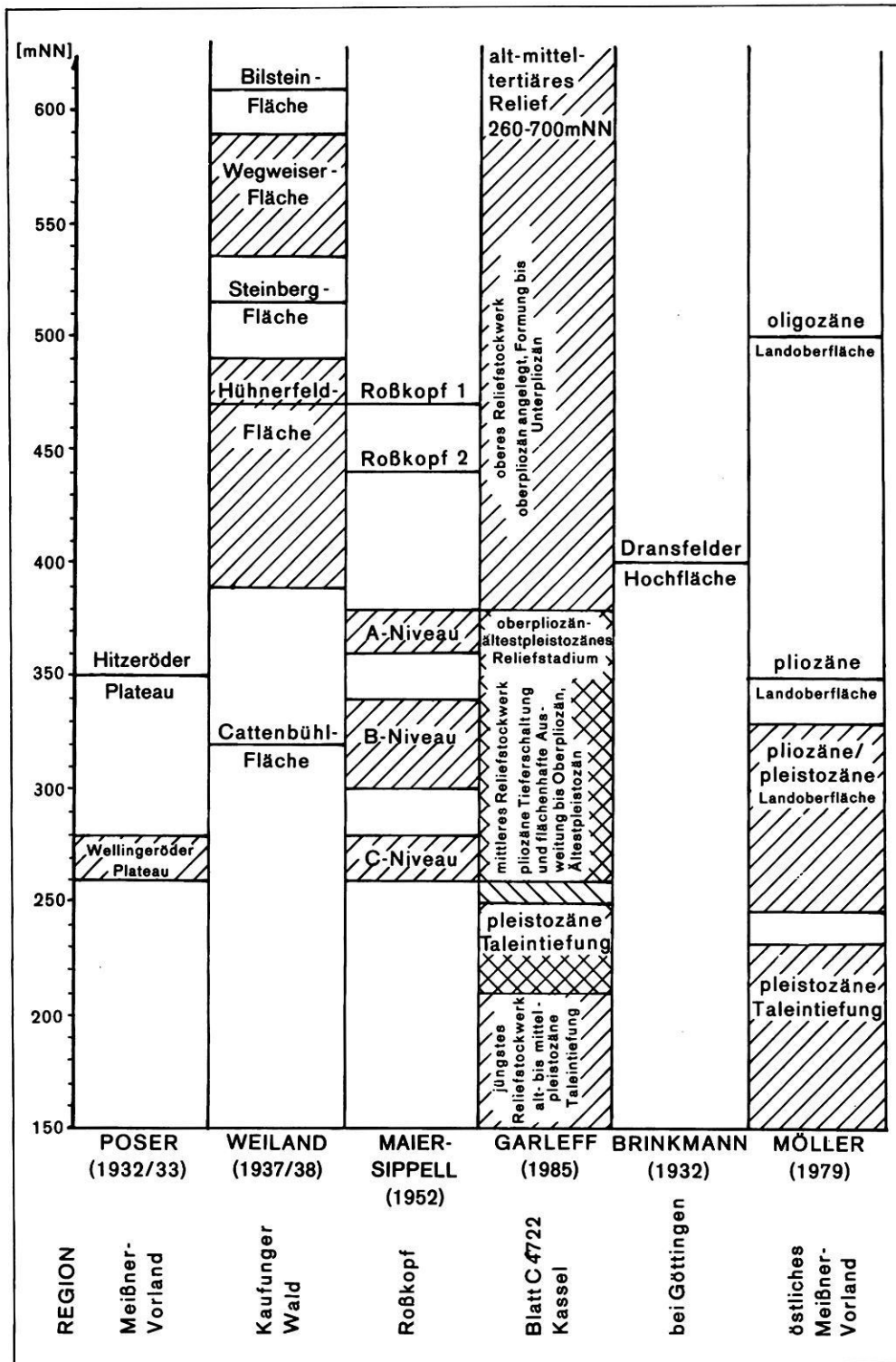


Abb. 13: Flächenniveaus in der Umgebung des Unterwerra-Sattels.

In Bezug zu Abb. 12 sind hier am Beispiel der ausgewiesenen Flächensysteme die unterschiedlichen geomorphogenetischen und geomorphochronologischen Einstufungen genannter Autoren im Untersuchungsgebiet und seiner engeren Umgebung aufgelistet.

stozän vier Terrassenhorizonte dar, die er zwischen Bad Sooden-Allendorf und Hannoversch-Münden verfolgt:

- die Oberterrasse in 55 m relativer Höhe
- die Mittelterrasse, aufgegliedert in
  - obere Mittelterrasse, abgelagert im älteren Alt-Riß, 30-35m relative Höhe und
  - Haupt-Mittelterrasse, abgelagert im jüngeren Riß, 10-15 m relative Höhe und
- die würmeiszeitliche Niederterrasse, die sich in ca. 4 m über dem heutigen Flußbett befindet.

GARLEFF (1966) unterscheidet in seinem Beitrag zur Deutung der Terrassen im Unteren Werratal drei Terrassenniveaus, die er später (GARLEFF 1985) modifiziert vorstellt als:

- einen altpleistozänen Oberterrassenkomplex,
- eine Mittelterrasse 5-15 m über der Werra und
- eine Niederterrasse 2-4 m über der Werra.

Aus dem südwest-thüringischen Werra-Gebiet ist noch die von ELLENBERG (1968) durchgeführte Arbeit zu nennen, in der die geomorphologische Talentwicklung im Pliozän und Quartär untersucht wird. Die Abweichung von den Ergebnissen anderer Bearbeiter wird mit dem "störenden Faktor der Subrosion sowie dem unzureichenden Kartenmaterial" (ELLENBERG 1975:1389) erklärt.

BROSCHKE (1984, 1986) untersuchte die jungpleistozäne und holozäne Entwicklung des Werratales zwischen Hannoversch Münden und Philippsthal und beschäftigte sich mit der Terrassenstratigraphie zwischen Bad Sooden-Allendorf und Philippsthal sowie der Schwemmkegelbildung im Berka-Werra-Zusammenfluß. Subrosive Einflüsse weist er in einem Mittelterrassenaufschuß bei Altenburschla nach (BROSCHKE 1986:9). Für das Eschweger Becken lassen sich nach dem Bölling-Interstadial keine subrosiven Absenkungen mehr nachweisen, da alle sedimentären Prozesse ohne synsedimentäre Absenkungen und Verwerfungen beschrieben sind.

#### 2.2.1.5 Arbeiten zur Auslaugung

Grundlegend ist hier die Arbeit von WEBER (1952), in der das Eschweger Becken wie

auch die Talweitung zwischen Wanfried und Treffurt als Phase 1 (Zechstein 1)-Formen angesehen werden. Das fehlende Steinsalz in der Bohrung Eschwege (Bohrung Großer Kurfürst) ist für WEBER (1952:120) sekundär, da er es als ausgelaugt ansieht. In der Umgebung des Eschweger Beckens entwickelte sich in der Folgezeit das Phase 3 (Z 1)-Gebiet mit zutage tretenden Dolomitklippen. Der Ringgauzipfel des Werra-Bekens im Norden hat dabei für WEBER (1952:122) durch einen Ausläufer über die Eichsfeldschwelle hinweg mit dem Bereich erhöhter Steinsalzmächtigkeit an der unteren Werra in Verbindung gestanden (vgl.2.1.1). Die Auslaugung selbst sieht WEBER als post-saxonisch an und führt ihre Wirksamkeit auf das Einfallen der Schichten zurück.

FINKENWIRTH (1970) übernimmt indirekt die Ansicht WEBERs und weist in seinen "hydrogeologischen Neuerkenntnissen in Nordhessen" den Salzhang - die primäre Verbreitungsgrenze des Na1 - in Abweichung von der Darstellung RICHTER-BERNBURGs (1955) aufgrund geomorphologischer und hydrogeologischer Kriterien in der Umgebung des Eschweger Beckens nach (Abb. 14).

GARLEFF (1985) macht Senkungsformen über großflächiger Salzauslaugung für die Erhaltung zahlreicher isolierter Tertiärvorkommen im Unterwerra-Gebiet verantwortlich, bemerkt aber einschränkend, daß bei größeren Formen der Absenkung eine differenzierte Rückführung auf subrosive oder tektonische Faktoren nicht möglich ist. So kann, wie er meint, im Bereich der Fußflächen im östlichen Meißner-Vorland nicht zweifelsfrei geklärt werden, in welchem Verhältnis Subrosion oder flächenhafte Denudation an der Reliefentwicklung beteiligt sind (GARLEFF 1985:54). Die auffälligen Talweitungen der Werra bei Bad Sooden-Allendorf, Unterrieden, Wendershausen und unterhalb Ermschwerd werden von ihm in Anlehnung an KLAUSING (1974) als großflächige Subrosionsbereiche angesehen. Die Indizien für die subrosive Anlage sind:

- Gefällsverhältnisse in den breiten Flußauen, Versumpfung übertieferer bzw. randlicher Flächen,
- rezente Erdfälle und Dolinen in unmittelbarer Umgebung abgesenkener Auentile,
- Absenkung von Terrassenschottern ein-

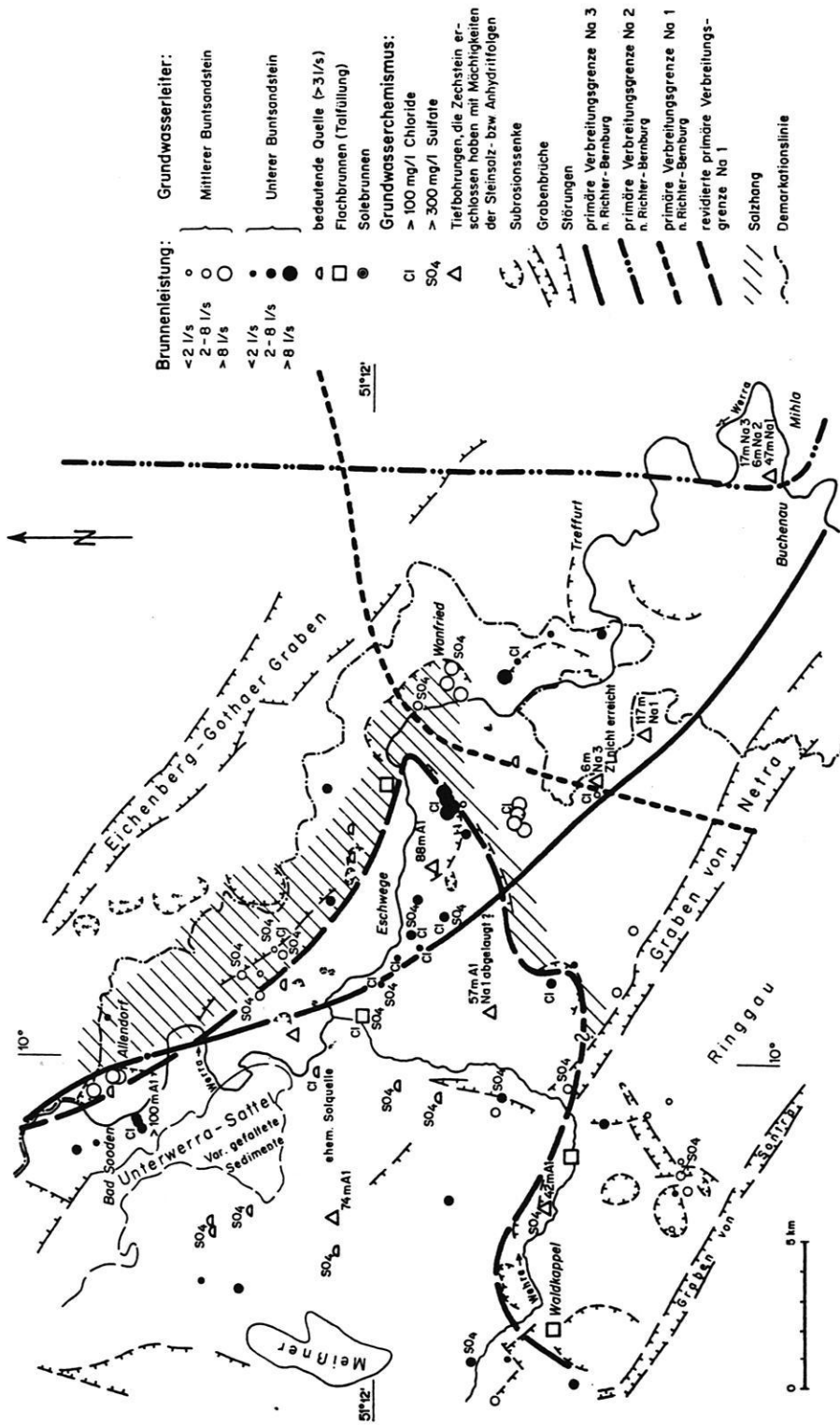


Abb. 14: Salzverbreitung und Abgrenzung eines Salzhanges in der Umgebung des Eschweger Beckens (aus FINKENWIRTH 1970:216). Anhand der hydrochemischen Eigenschaften der Gewässer sowie der seinerzeit bekannten Auslaugungsstrukturen korrigiert FINKENWIRTH die Lokalisierung der primären Salzverbreitung von RICHTER-BERNBURG (1955).

- schließlich der Deckschichten,
- 15 m-Absenkung der Unterkante mittelpleistozäner Schotter bei Witzenhausen (MENSCHING 1953:88) und
- Solequellen (gekennzeichnet durch halophile Vegetation) und Soleförderung aus Zechsteinsalinar, die Subrosion (nach RITZKOWSKI 1978:191) in der Talweitung von Bad Sooden-Allendorf wahrscheinlich machen.

Für GARLEFF (1985:54) gelten daher mittel- bis jungquartäre Absenkungen als erwiesen, wobei der weitflächigen Subrosion im Unterwerra-Bergland in Verbindung mit den Ergebnissen von CLAASEN (1941) und RÜSING (in: KUPFAHL et. al. 1981:88 ff) wesentliche Bedeutung beigemessen wird.

MÖLLER (1985), MÖLLER & STÄBLEIN (1986), STÄBLEIN & MÖLLER (1986), sowie STÄBLEIN (1986) greifen die Reliefentwicklung des engeren östlichen Meißner-Vorlandes auf der Grundlage der GMK 25:17 auf und kommen zu einer Reliefgliederung, die dem Einfluß der Subrosion Rechnung trägt (vgl. 5).

## 2.2.2 Geologischer Forschungsstand

Die geologische Bearbeitung des Untersuchungsgebietes ist durch 3 Phasen gekennzeichnet:

- die geologische Grundaufnahme,
- die Auseinandersetzung mit den Einflüssen der saxonischen Tektonik um 1930 und
- die geologische Neuaufnahme durch geologische Institute der Universitäten seit 1960 (Frankfurt, Göttingen, Berlin).

### 2.2.2.1 Die geologische Grundaufnahme

Die geologische Grundaufnahme des Untersuchungsgebietes brachte ab 1870 eine erste systematische Auseinandersetzung mit der geologischen Situation des Unterwerra-Sattels und seiner Umgebung. Neben einer großräumigen Einordnung des jeweils kartierten Gebietes erfolgte eine Beschreibung der Stratigraphie nach den damals gültigen Einteilungen, der Lage der jeweiligen Schichten, sowie der groß- und kleinräumig auftretenden tektonischen Leitlinien und Besonderheiten. Auslaugungsphänomene werden

nur im unmittelbar augenfälligen Bereich angesprochen, wie in Arealen mit nicht zu übersehenden Erdfällen und Dolinen (z.B. Hie- und Kriplöcher, Blatt 4725 Bad Sooden-Allendorf).

Es werden Tiefbohrungen vorgestellt, die im Zusammenhang mit der Saline Bad Sooden-Allendorf stehen (BEYSCHLAG 1886a: 64-66), bzw. das Steinsalzvorkommen (123,10 m Na 1) an der Mäusemühle bei Rambach belegen (NAUMANN 1907:12). Alle Bohrungen weisen mächtige Lagen von Gips und Anhydrit aus. Die beigegebenen Profile vermitteln einen guten, bis heute - abgesehen von den neueren stratigraphischen Einteilungen - nicht wesentlich veränderten Wissensstand über Aufbau, Lagerung und tektonische Einflüsse auf die geologische Situation im Untersuchungsgebiet.

### 2.2.2.2 Die saxonische Tektonik

Die Einflüsse der saxonischen (alpidischen) Tektogenese auf das Untersuchungsgebiet sind in Abb.15 dargestellt. Die Gebirgsbildung (Aufstieg des Unterwerra-Sattels, Grabeneinbrüche) fand in mehreren Phasen mit der Hauptfaltung vor Ablagerung des ältesten Tertiärs (STILLE & LOTZE 1933:12) an der Grenze Jura/Kreide statt. Wiederholungen dieser Faltungen im Tertiär sind nach den genannten Autoren an den Lagerungsverhältnissen tertiärer Sedimente ablesbar. Tektonische Bewegungen sollen ihnen zufolge bis in die jüngste Vergangenheit angedauert haben und durch Verbiegungen in älteren Einebnungsflächen sowie durch Verwerfungen im Altdiluvium belegbar sein.

Der Einfluß der hercynischen Pressungstektonik bestimmt die Lage des Unterwerra-Sattels, der im Südosten der Unterwerra-Scholle aufsteigt, die Altmorschen-Lichtenauer Grabenzone quert und sich weit in die Sollingscholle fortsetzt. Ihr schließt sich die rheinische Zerrungstektonik mit südwestlichem, also senkrecht verlaufendem Streichen an (STILLE & LOTZE 1933:35). Der Einfluß der hercynischen Pressungstektonik wird an den Zechsteinaufpressungen im Eichenberg-Gothaer Graben gezeigt. Als Besonderheit im Untersuchungsgebiet werden die als Grabenreste gedeuteten Triaschollen von Buntsandstein, Unterem und Oberem

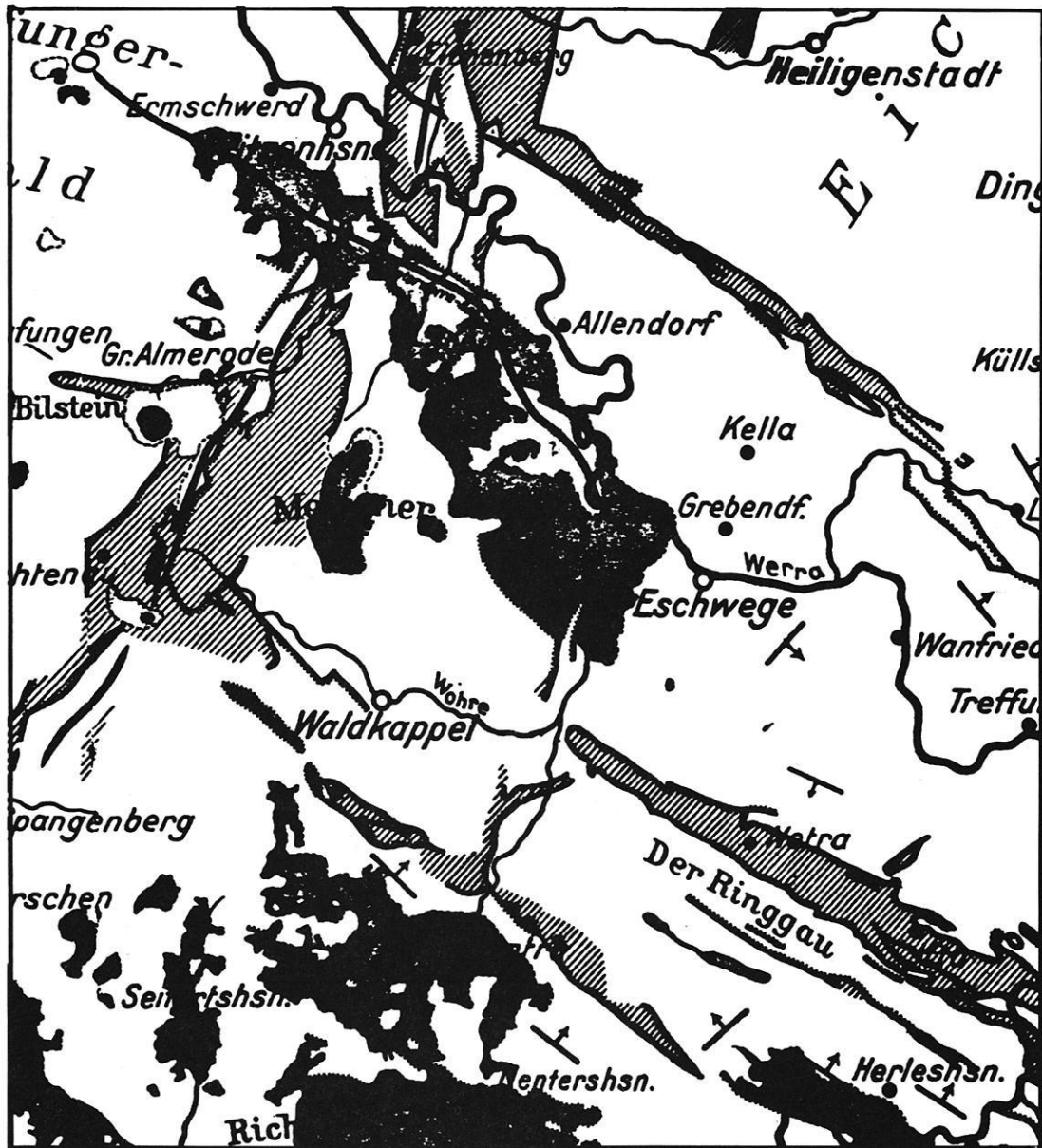






Abb. 15: Die Einflüsse der saxonischen Gebirgsbildung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels (Auszug aus STILLE 1922)\*.

-  Hebungsgebiete
-  Absenkungsgebiete (Gräben)
-  Verstellungen
-  Verwerfungen

\*Die Schwarzweißreproduktion der im Ursprung farbigen Karte bringt die Hebungs- und Senkungsgebiete des nordostthessischen Raumes deutlich zur Geltung. Ebenfalls gut zu erkennen sind die tektonischen Leitlinien des Reliefs (vgl. Abb. 9).



Muschelkalk auf dem Grundgebirgskörper erwähnt (vgl. 4.12.2). Die Arbeit von STILLE & LOTZE (1933) beinhaltet auch die Ergebnisse von SCHRÖDER (1925), BOSSE (1931) und PETRASCHKEK (1931 a,b), die sich mit tektonischen Studien im Umfeld des Unterwerra-Sattels sowie im Solling und am Südrand des Elfas beschäftigen und das Problem der saxonischen Gräben behandeln.

Bemerkenswert erscheint in diesem Zusammenhang die Auffassung SCHRÖDERS (1925), der der Auslaugung von Gipsen und Salzen im Umfeld des Unterwerra-Sattels bei der Gestaltung der Landschaft eine nicht unbedeutende Rolle zuspricht, wobei er allerdings der Ansicht von LACHMANN (1912a, 1917) widerspricht, der die Gräben Hessens insgesamt als Einstürze über ausgelaugten streifenförmigen Anschwellungen von Zechsteinsalzen (SCHRÖDER 1925:65) betrachtet und echte tektonische Einflüsse aufzeigt.

Der Deutung LACHMANNs wird aber auch von BOSSE (1931) widersprochen, der die Mächtigkeit des in der Umgebung der alten "Thüringer Schwelle" allein abgelagerten Älteren Steinalztes (Zechstein 2) als kleiner als 50 m ansieht (BOSSE 1931:30). Diese Salzmächtigkeit reicht nach BOSSE nicht aus, um mit Hilfe atektonischer Einbrüche zu besagten Grabenstrukturen zu kommen.

Nach der Aufarbeitung der Arbeiten STILLES würdigt RICHTER-BERNBURG (1977) noch einmal die Bedeutung STILLES für den Bereich tektonischer Forschung, dessen Ergebnisse für mein Arbeitsgebiet nach den Untersuchungen von GRUMBT & LÖTZNER (1983) bestätigt werden:

- der miozäne Basaltvulkanismus ist jünger als die Bruchdeformation und die damit verbundene Weitungstektonik,
- die postbasaltische Hebung dauerte bis ins Pleistozän an und
- die tektonisch-magmatischen Vorgänge werden wahrscheinlich im Oberen Jura begonnen und bis ins Quartär angedauert haben (GRUMBT & LÖTZNER 1983:943).

### 2.2.2.3 Neuere Arbeiten

In der folgenden Phase geologischer Bearbeitung des Untersuchungsgebietes betei-

gen sich die geologischen Institute der Universitäten Frankfurt, Göttingen und Berlin (Freie Universität). Das Umfeld des Unterwerra-Sattels wird im Rahmen von Diplom- und Doktorarbeiten neu aufgenommen. In Bezug auf Auslaugung seien folgende Arbeiten erwähnt:

- NIEBERDING (1972), der halokinetische Vorgänge bei der Anlage der Unterwerra-Mulde vorstellt,
- SCHALOW (1978), der neben einer detaillierten Zechsteingliederung und einer ausführlichen tektonischen Betrachtung noch ein umfangreiches Kapitel über die Verkarstung im Zechsteinausstrich an der Westflanke des Unterwerra-Sattels zwischen Frankershausen und Vollung zusammengestellt hat,
- KUNZ (1962), der inverse Erdfälle, Salzhang und Röttdolinen auf Blatt 4726 Grebendorf ausweist,
- MARTIN (1965), GRABNER (1970) und GANGEL (1970), die Röttdolinen im Oberen Buntsandstein sowie im Bereich der Wellenkalkstufe kartieren und
- KUNZ (1962) und GANGEL (1970), die Subrosionssenkten in der Werra-Aue kartieren.

Bemerkenswert ist, daß die auf den Zechstein zurückgehenden Beobachtungen nicht in den durch die saxonische Gebirgsbildung vorgegebenen Rahmen einbezogen sind.

In den durch das Geologische Institut der FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN im Untersuchungsgebiet durchgeführten, vorwiegend stratigraphisch orientierten Diplomarbeiten steht die tektonische Interpretation im Vordergrund. Speziell sei auf die Arbeiten im Bereich des abtauchenden Unterwerra-Sattels zwischen Wellingerode-Andreaskapelle und Vierbach-Reichensachsen-Eschwege (AMIRI 1976, YOUSSEFFI 1977, WOYZECHOWSKI 1984, MOLLER 1984, CHAWKI 1975) hingewiesen.

### 2.2.2.4 Die Geologie des Meißnergebietes

Hat die geologische Forschung bisher dem Einfluß der Auslaugung auf die Reliefentwicklung des Hohen Meißners nur wenig Bedeutung beigemessen, so zeigt die Neubearbeitung der Geologie des Meißners durch vier ineinandergreifende, jetzt abgeschlossene Diplomarbeiten unter der Betreuung von

JACOBESHAGEN, KUHNERT, RÜSING und WYCISK, daß der Einfluß der Auslaugung auf die Oberflächengestaltung des Meißners sowie auf die Ausbildung der Meißnermulden großen Anteil gehabt hat (HARLING 1986, KERSTEN 1986). Die neue geologische Karte des Meißners 1 : 25 000 (BALDSZUHN-STRAKA et al. 1985) zeigt die zur Subrosion gehörenden Klein- bis Mittelformen als Dolinen bzw. präbasaltisch als Subrosionssenken.

#### 2.2.2.5 Auslaugung im Untersuchungsgebiet

Neben der Vielzahl stratigraphisch und tektonisch ausgerichteter Arbeiten nimmt sich die Anzahl der Arbeiten, die sich mit Auslaugungsfragen beschäftigen, bescheiden aus. Es handelt sich um angewandte Beiträge, die sich mit der  $SO_4$ -Lösung und der daraus resultierenden Absenkung der Bundesstraße 27 (B 27) in der Umgebung des Bahnhofs Eschwege-West beschäftigen (PRINZ 1973b), sowie Gutachten, die sich im Weißenbacher Tal mit den Folgeerscheinungen der Gipsauslaugung im Mittleren Muschelkalk befassen (BEYSCHLAG 1910, UDLUFT 1951, STEINHAUSEN 1964, HOLTZ 1969), oder um die Inventarisierung von rezenten Erdfällen und ihren Formen und Ausmaßen (KAUFMANN 1980).

#### 2.2.2.6 Auslaugungsgebiete außerhalb des Untersuchungsgebietes

Um den geologischen Forschungsstand innerhalb der zu bearbeitenden Fragestellung aufzeigen zu können, ist es notwendig, über den Rahmen des Untersuchungsgebietes hinaus zu sehen und die für Mitteleuropa klassischen Auslaugungsgebiete im Südharz, in Thüringen, im Werra-Fuldagebiet und im Gebiet von Sontra in die Betrachtung mit einzubeziehen.

#### 2.2.2.7 Arbeiten im Südharz, Thüringen und im Werra-Kaligebiet (DDR-Gebiet)

Als grundlegende Arbeit für das Werra-Kaligebiet gilt, neben den Arbeiten von WEBER (1929, 1952) und FULDA (1928), die Arbeit HOPPEs (1944) über Auslaugungserscheinungen und ihre Bedeutung für Lagerstätte und Landschaftsformen. HOPPE setzt sich einer-

seits mit der Entstehung und Verbreitung der Werra-Kalialzlagertätte, mit den Ursachen der Auslaugungen und dem Einfluß auf die Kalialzlagertätte auseinander, andererseits versucht er, eine Altersangabe für die Auslaugungsvorgänge und die aus ihnen resultierenden Landschaftsformen zu geben.

Als Ursache der Auslaugung werden tektonische Vorgänge angesehen, die den Zutritt der auslaugenden Wässer seitlich vom austreichenden Gestein und auf Spalten und Klüften vom hangenden Gestein her ermöglichen.

Am Beispiel Frauensee zeigt HOPPE (1944), daß lokale Auslaugungstätigkeit über Spalten und Klüfte vornehmlich in der rheinischen, untergeordnet in der hercynischen Richtung durch absteigende Wässer wirksam ist, während die großräumigen Auslaugungen zum Salzhang und Salzspiegel seitlich zutretende Wässer benötigen. HOPPE diskutiert im Rahmen der lokalen Auslaugungstätigkeit die Meinung WEBERs (1929:369, 372), der aufsteigende Wässer als Ursache lokaler Auslaugungstätigkeit sieht und sich damit in Gegensatz zu der Meinung FULDAs (BÜCKING & FULDA 1925a:25, 1925b:22), aber auch zu den Beobachtungen HOPPEs begibt. SCHILDER & SCHWANDT (1983:1027) unterstützen die Ansichten WEBERs und stellen ein Schema der Subrosionsvorgänge in Salinargesteinen zusammen (Abb. 16).

Voraussetzungen zur Auslaugung sind demzufolge:

1. Vorhandensein eines Lösungsmittels und lösliches Gestein,
  2. Fließbewegung des Lösungsmittels am löslichen Gestein (SCHILDER & SCHWANDT 1983:1028);
- beides zusammen bewirkt flächenhafte oder hohlraumförmige Subrosion.

SCHILDER & SCHWANDT setzen sich schwerpunktmäßig mit der hohlraumförmigen Subrosion auseinander und stellen die Faktoren vor, die Auslaugung beeinflussen, wobei Elemente der Bruchtektonik (Spalten, Klüfte, etc.) Schwächezonen im Gebirgsverband darstellen, die von SCHILDER & SCHWANDT (1983:1028), im Gegensatz zur oben referierten Auffassung von HOPPE (1944) und BÜCKING & FULDA (1925a,b),

nicht als primäre Fließwege für Lösungsmittel angesehen werden. Ihre These besagt, daß die Steinsalzschutzschicht unabhängig von der tektonischen Beanspruchung und ab einer gewissen Teufe hydraulisch dicht ist. Sie wird belegt durch eine Darstellung der Abhängigkeit zwischen Schüttungsmenge der Zuflüsse von Salzlösungen und Wässern aus dem Hangenden und der Teufe (SCHILDER & SCHWANDT 1983:Abb. 6). Resultat ist, daß:

- bei Teufen > 200 m kein offener Hohlraum im Steinsalz auf Dauer bestehen bleibt und daher
- in Teufen > 500 m mit Lösungsmitteln gefüllte Fließwege (Klüfte, Schnitte etc.) auf Dauer nicht offen zu halten sind.

Dies gilt nicht, wenn die Auslaugungsgeschwindigkeit größer als die Fließbewegung des Gesteins ist.

Die Genese der Auslaugungsformen im Werra-Kaligebiet wird dann wie folgt abgeleitet:

- Beginnende Auslaugung durch Lösungsmittelabführung im Gebirge unterhalb des Salinars.

- Nachbruch des Salinars und des Deckgebirges im Bereich tektonisch ausgeprägter mechanischer Schwächeflächen.
- Bei der weiteren Auslaugung fließt das Lösungsmittel durch das Salinar, wobei das bekannte Bild der Auslaugungssenken entsteht (SCHILDER & SCHWANDT 1983:1030).

Das Faktorengefüge für das Auftreten von Subrosionserscheinungen wird erweitert bzw. ergänzt durch GRUMBT & LÖTZNER (1969:540), die als Wirkungsfaktoren ansehen:

- tektonische Störungen im Deckgebirge,
- Basaltdurchbrüche, insbesondere Schlotbreccien und Tuffröhren und die
- hydrogeologischen Verhältnisse, insbesondere die Menge des zur Verfügung stehenden Oberflächen- und Grundwassers.

Hinsichtlich der Basalteruption und der hydrogeologischen Situation wird festgestellt, daß die günstigste Voraussetzung für das Auftreten von subrosiven Erscheinungen Basaltschlote sind, die tektonischen Störungen aufsitzen und in einem wasserführenden Tal liegen. Die Vor-

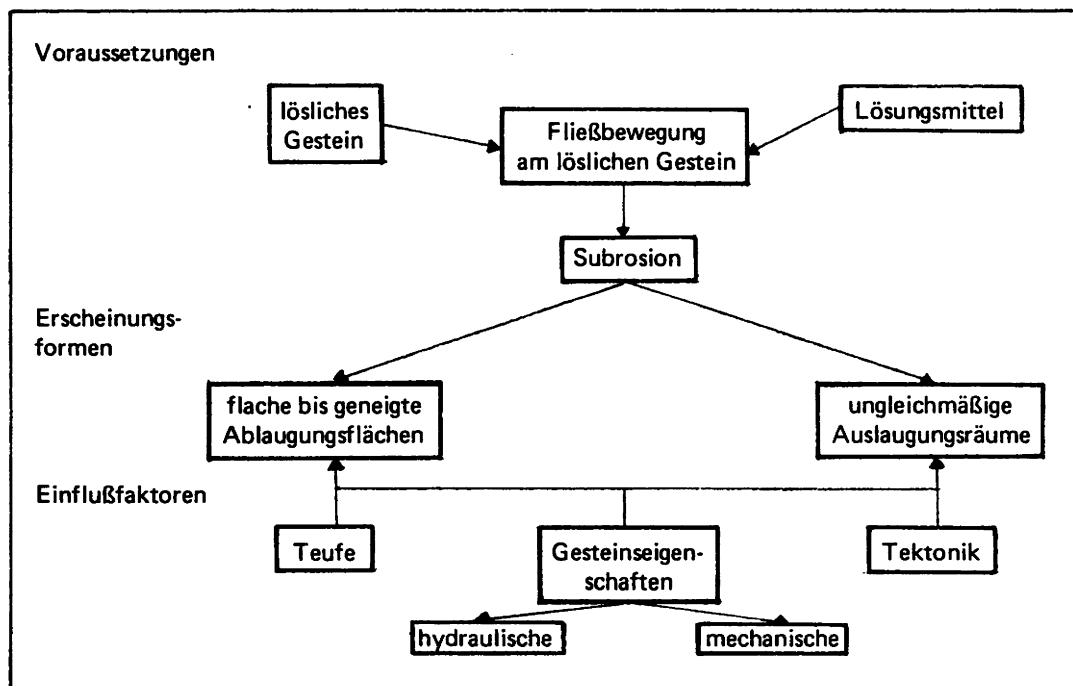


Abb. 16: Schema der Subrosionsvorgänge in Salinargesteinen (aus SCHILDER & SCHWANDT 1983: 1027).

In Ergänzung zu Abb. 5 zeigt dies Schema noch einmal die Einflußfaktoren der Subrosion. Im Untersuchungsgebiet wird aufgrund der besonderen Situation dem verstärkten Einfluß der Tektonik und der damit verbundenen Anlage ungleichmäßig verteilter Auslaugungsbereiche Rechnung getragen.

stellung ist dabei, daß mit eingeleiteter Subrosion erste Nachbrüche erfolgen, die dann, bedingt durch tektonische Störungen im Deckgebirge, Spaltenbildung und weitere Wasserzufuhr fördern. Dieser günstigste Fall wird von GRUMBT & LUTZNER (1966) am Beispiel der Auslaugungssenke Oberzella innerhalb des intakten Salzgebirges vorgestellt.

Die Erkenntnisse zur Voraussetzung bzw. zur Entstehung von Auslaugungsformen werden verfeinert und durch die Darstellung von Aufschlußarbeiten in einem Beitrag von HESSMANN & SCHWANDT (1981) über die unterschiedliche Wirkung der tektonischen Beanspruchung im Salinar einerseits und im Deckgebirge andererseits belegt:

- Der Buntsandstein wird als starres tektonisches Stockwerk gesehen, welches im wesentlichen mit Bruchverformung bei tektonischer Beanspruchung reagiert.
- Das Salinargebirge ist ein vorrangig mobiles tektonisches Stockwerk, welches sich gegenüber tektonischer Beanspruchung in seinen wesentlichen Schichtgliedern plastisch verhält.

Das "Fließen in festem Zustand", das plastische Verhalten der Salinarserien, wird als Ursache dafür gesehen, daß Deformationen im Salz (z. B. durch tektonische Beanspruchung) immer mit Materialwanderung einhergeht und zu einer Anordnung von Stau- und Fließfalten, Kuppen und Ausdünnungen, Sätteln und Mulden (HESSMANN & SCHWANDT 1981:285) im Salinar führen, die von letztgenannten Autoren als Ergebnis der jungmesozoischen/alttertiären Tektogenese angesehen werden.

Bezogen sich die bisher dargestellten Arbeiten vorwiegend auf Bedingungen zur und auf Abläufe der Auslaugung, so setzen sich die im folgenden aufgezählten Beiträge mit relativen Datierungsmöglichkeiten durch die Vorgänge bei der Anhydritumwandlung mit anschließender Gipslösung auseinander.

Für LANGBEIN & SEIDEL (1968) gibt es für die postsaxonische Auslaugung am Südrand des Harzes folgende Beweise:

- das Auftreten von Auslaugungsbreccien bis zum Buntsandstein,

- die parallel laufenden Auslaugungsgrenzen der Zechstein- und Triasssalze,
- die Obereinstimmung der Streichrichtung von Auslaugungsgrenzen mit saxonischen Elementen,
- die bis zu 100 m mächtigen känozoischen Schotter der Goldenen Aue und
- die petrographischen Beweise, wie z. B. die Zusammensetzung der Breccien usw. (LANGBEIN & SEIDEL 1968:540).

Aus diesen Beweisen schließen die Autoren auf eine vertikale, postsaxonische Zechsteinauslaugung von 100-200 m.

Interessant im Zusammenhang mit den petrographischen Beweisen ist aus den von LANGBEIN (1984) vorgetragenen Thesen zu subrosionsbedingten Gefügen in Anhydrit und Gipsgesteinen der Teil, der zeigt, "daß beim Anhydrit/Gips- Übergang keinerlei Anzeichen von 'Quellung', wie früher angenommen, auftreten, sondern die Gefüge werden zunächst ungestört in das Gipsgestein übernommen. ... Der höhere Volumenbedarf des Gipses (+11%) gegenüber dem Anhydrit wird dabei offensichtlich über eine partielle Auflösung von Calciumsulfat realisiert" (LANGBEIN 1984:358). Die geomorphologischen Folgen der Humidsubrosion - Auflösung von Gips durch Süßwasser - sind Höhlen, Schlotten und Karren, die beim Einbruch zur Oberfläche zu Dolinen werden und mit Einsturzmassen des Hangenden aufgefüllt sind. Es treten also keine Gipsquellkuppen. Die Kuppelstrukturen sind demzufolge als Randbereiche von Senken im Zechsteinmeer anzusehen, in denen es zur vermehrten Ausfällung von Calciumsulfat gekommen ist.

Die Altersstellung der Subrosionserscheinungen, bzw. der Beginn der Subrosion, kann weiter durch die Vorstellungen HOPPEs (1944) ergänzt werden. Er sieht die tektonischen Vorgänge als Voraussetzung für Auslaugung an und daher die Heraushebung des Thüringer Waldes und des Richelsdorfer Gebirges als verantwortlich für die Anlage des Salzhanges in jungmesozoischer Zeit (HOPPE 1944:265). Parallel zu den Ergebnissen WEBERs (1929) und HUMMELs (1929) kommt er zu der Auffassung, daß die Auslaugungen an die Grenze Tertiär/Pleistozän, eingeeengt auf die mit Tertiär erfüllten Auslaugungssenken bei Berka, denen er pliozänes Alter zuspricht, gehören (HOPPE 1944:

267). Als Beleg für die weiter gefaßte Datierung wird das Auftreten von Muschelkalkresten in obermiozänen Schlotbreccien von Hitzeroda und bei Salzungen angegeben, die die Verbreitung der Stufe des Unteren Muschelkalks aufzeigt, aber auch Beweismaterial für eine postobermiozäne Auslaugung ist.

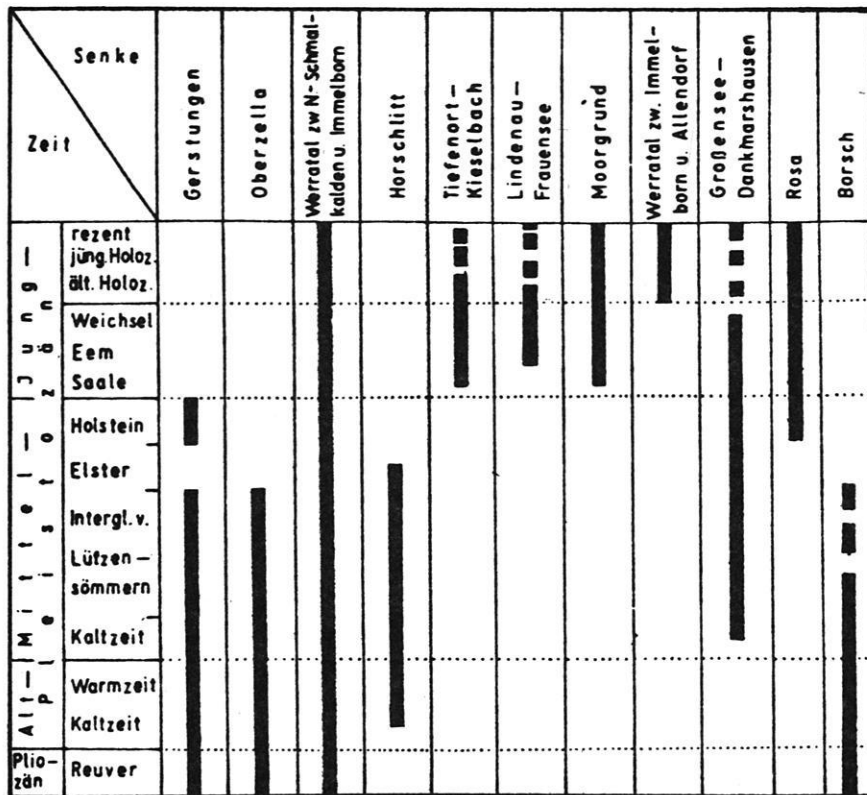
Detaillierter und kleinräumiger setzt sich ELLENBERG (1968, 1970, 1972, 1976, 1978 ff) mit der geologisch-geomorphologischen Entwicklung des südwestthüringischen Werra-Gebietes auseinander. Einen zusammenfassenden Stand gibt seine Arbeit über Subrosion im Werra-Kaligebiet der DDR wieder (ELLENBERG 1982). Voraussetzungen für Subrosion sind neben dem Vorkommen löslichen Gesteins:

- im Deckgebirge muß ein bestimmtes Erosionsniveau gegeben sein (Röt und Unterer Muschelkalk sind an der Grenze Plio-/

- Pleistozän abgetragen),
- es muß Wasser vorhanden sein (Werra und Nebenflüsse),
- das Wasser muß Zutritt zum Salinar haben (entlang tektonischer Störungen in Verbindung mit basaltischen Ereignissen unter der Voraussetzung, daß das Erosionsniveau erreicht ist) und
- die Sole muß wieder abfließen können (ELLENBERG 1982:62).

Die von ELLENBERG untersuchten Auslaugungssenken und die Dauer ihrer zeitlichen Absenkungen sind in Abb. 17 zusammengefaßt (ELLENBERG 1982:63).

Die Arbeit von SCHNEIDER (1972) über die Auslaugungssenke Horschlitt fügt sich in diese Darstellung ein. Die Einordnung auf Abb.17 basiert auf der litho- und biostratigraphischen Gliederung des Quartärs sowie des jüngsten Tertiärs. Sie läßt die



Die unterbrochenen Linien bedeuten, daß die Absenkung in Teilen der Senken noch anhält.

Abb. 17: Die zeitliche Stellung der Senkungsvorgänge am Beispiel der von ELLENBERG bearbeiteten Subrosionssenken (aus ELLENBERG 1982:63).

Anhand von Analysen der Füllungen von Subrosionssenken werden die zeitliche Dauer von Subrosionsvorgängen und ihre geomorphologische Auswirkung ermittelt. Hierbei zeigt sich, daß in den bearbeiteten Gebieten die Aussage, daß Subrosionsvorgänge im Hochglazial nicht stattfanden, nur begrenzt haltbar ist.

zeitliche Festlegung der einzelnen Senkungsprozesse in den jeweiligen Auslaugungsgebieten zu. Die Auslaugungssenke Oberzella ist Beispiel für die Zusammensetzung des limnischen Pliozäns. Die Absenktiefe für diese Auslaugungssenke wird aufgrund der Befunde mit 200 m angegeben (ELLENBERG 1982:67).

Aufgrund dieser Arbeit kommt ELLENBERG (1982:68) zu sechs Schlußfolgerungen, die sich in die bisher referierten Gesichtspunkte zur Auslaugung einfügen und sie ergänzen:

1. Das Störungsmuster als Ergebnis bruchmechanischer Beanspruchung des Deckgebirges ist Hauptvoraussetzung der Subrosionsprozesse.
2. Die Heraushebung des Thüringer Waldes und des Richelsdorfer Gebirges führt im Ausstrichbereich des Zechsteins zur Auslaugung.

(ELLENBERG (1982:67) führt das Voranschreiten der Ablaugungsfläche größeren Ausmaßes immer auf die Einbeziehung schon vorhandener Subrosionssenken in Ablaugungsflächen zurück).

3. Typische geomorphologische Kriterien für die Täler am Rande der Senken sind ein wannenförmiger Querschnitt und ein steiler, kurzer Talschluß.
4. Die quartärgeologische Entwicklung des Werra-Kaligebietes ist von dessen Subrosionsvermögen stark beeinflusst (Möglichkeiten litho- und biostratigraphischer Gliederung).
5. Die Abhängigkeit der Subrosionsgeschwindigkeit von der ausreichenden Wasserzufuhr spiegelt sich im zyklischen Aufbau der Senkenfüllungen wieder, gibt aber auch Auskunft über zyklisches Senkungsverhalten.
6. ELLENBERG stellt zur Terminologie fest, daß die Auslaugung eines Salinars letztendlich nur den Abtransport des Salzes in Form von Sole bewirkt, und daß man sich demzufolge, unabhängig von geologischen und geomorphologischen Ausprägungen an der Oberfläche, auf die materialabhängigen Begriffe Karst, Gipskarst und Subrosion bzw. Salzkarst beschränken sollte (vgl. 1.2).

Zum Abschluß der Betrachtungen des geologischen Forschungsstandes im thüringischen Bereich will ich für zwei Aspekte meiner Arbeit noch einige geologische Argumente bringen.

Zum einen, und das betrifft auch die Meißner-Genese, führt JANKOWSKI (1964) die Entstehung der kohleführenden Tertiärbecken des südöstlichen Harz-Vorlandes auf die Subrosion im tieferen Untergrund zurück. Alle anderen Erklärungsansätze:

- Entstehung flacher Senken durch Abdämmung,
- Entstehung flacher Senken durch Winderosion,
- Hohlformen, die tektonischen Vorgängen ihre Entstehung verdanken,

werden aufgrund der Flachwelligkeit und der Härte der triassischen Serien verworfen. JANKOWSKI (1964) teilt die auftretenden Tertiärbecken in verschiedene Typen ein und stellt Übereinstimmung von Phasen verstärkter Ab- und Auslaugung mit tektonischen Phasen fest, die er an die Grenze Paläozän/Eozän und an die Grenze Pliozän/Pleistozän stellt. Diese Arbeit knüpft an die Ergebnisse und Argumente R. HERRMANNs (1930) für die Salzauslaugung und Braunkohlenbildung im Geiseltal an, in denen HERRMANN die Theorie WEISSERMELs (1930), daß es sich bei den Braunkohlebecken des Geiseltals um äolisch angelegte Formen handelt, widerlegt. HERRMANN führt an:

- Die Auslaugungsgrenze steht in Beziehung zur Regionaltektonik.
- Die Hohlform der Braunkohlenlagerstätte ist durch Einsenkung über dem zurückschreitenden Salzhang in der Zeit der Flözbildung entstanden (vgl. auch SEEDORF 1955:63).
- Der Abbruch des Muschelkalkrandes steht über dem Salzhang.
- Die Bohrungen belegen, daß die Breite des Geiseltalbeckens den Fortschritt angibt, den die Salzauslaugung während der Sedimentation des Eozäns und der Kohlebildung gemacht hat. Mit Abschluß dieser Bildung ist die dem eozänen Salzhang vorgelagerte Senke durch Tertiärbildungen konserviert. Die Salzauslaugung kommt zum Erliegen (HERRMANN, R. 1930:477).

Zum anderen, und das betrifft die Arbeit von STEINMÖLLER (1965), der Salzverbreitung, insbesondere die Rötsalzverbreitung, in Zusammenhang mit Auslaugung, Lagerungs- und Oberflächenformen nördlich des Eichenberg-Gothaer-Grabens untersucht. Er zeigt durch Auswertung von Bohrungen im Bereich des Blattes Heiligenstadt (L 4626) auf der Nordseite des Eichenberg-Gothaer-Grabens folgende Salzmächtigkeiten auf:

Z4 Na 7 bis 14 m  
Z3 Na 35 bis 70 m  
Z2 K 12 bis 16 m  
Z1 Na 13 bis 22 m

Nordwestlich Eigenrieden (R 3591 / H 5677) erreicht das Staßfurt-Steinsalz sogar eine Mächtigkeit bis 70 m. Steinsalz tritt in diesem Bereich zwischen Eigenrieden und Effelder (R 3586-92 / H 5576-79) auch an der Basis des Röt mit einer Mächtigkeit von 40 m auf. Es dürfte nach STEINMÖLLER (1965: 92) ehemals im gesamten Gebiet, also auch in meinem Untersuchungsgebiet, ausgebildet gewesen sein.

Bohrergebnisse weisen die im Aller- und Leine-Steinsalz ausgebildeten Salzhänge unter dem markanten Dün-Abfall nach. Daraus folgt, daß die von Norden nach Süden fortgeschrittene reguläre Auslaugung im Sinne WEBERS (1930) von großem Einfluß auf die Rückverlegung der Muschelkalkstufe ist.

Depressionen auf dem Plateau ordnet STEINMÖLLER (1965) sowohl der tektonischen Beeinflussung als auch atektonischen Absenkungen infolge Zechsteinsalzauslaugung zu. Rötsalzauslaugung erfolgte demgegenüber gleichmäßig auf grösserer Fläche, so daß keine Veränderungen der Lagerungsformen eintraten (STEINMÖLLER 1965:92/93).

In den Schichten des Mittleren Buntsandsteins werden Großformen beschrieben, die durch flache, z.T. versumpfte Talweitungen gekennzeichnet sind (Leinefelde, Westhausen, Uder) und nicht petrographisch erklärt werden können. Sie werden ebenso wie kleinere Hohlformen, die sich durch geringe Neigung der Sohlen, ungewöhnliche Breite und halbkreisartige, steile Umrahmungen auszeichnen, auf Auslaugung im tieferen Untergrund zurückgeführt.

Erwähnenswert aus der Arbeit STEINMÖLLERS sind noch die als Auslaugungsformen gedeu-

teten, ausgedehnten, flachen Depressionen mit Ried-Füllungen im Chirotherien-Sandstein, sowie der Zusammenhang zwischen Auslaugung, Bergstürzen und Rutschungen an der Muschelkalkstufe, die in Bereichen auftreten, wo Aussolung durch Bohrungen nachgewiesen ist. "Atektonische Absenkungen des Buntsandsteins vor der Wellenkalkstufe erklären eine starke Klüftung des Wellenkalkes und wenigstens teilweise eine hohe Mobilität der Rötschichten als Voraussetzung für intensive Absetzungsvorgänge"(STEINMÖLLER 1965:94).

2.2.2.8 Arbeiten im Fulda-Kaligebiet, der Hessischen Senke, deren nördlicher Fortsetzung und im Südharz

Eine Übersicht über die auftretenden Karst- und Korrosionserscheinungen in unterschiedlichen Gesteinen und ihre regionale Verbreitung gibt Tab. 7. Für Nordhessen sieht PRINZ (1982) die Erdfallgebiete zwischen Rotenburg an der Fulda und Witzenhausen im Zusammenhang mit intensiver Korrosion von Gipsvorkommen an Talrändern und Seitentälern. Für die Sulfatlager beschreibt er örtlich bis zu 100 m Mächtigkeit (PRINZ 1982:372) und folgert, daß Erdfälle in schon verkarsteten Zechsteinkarbonaten selten und im allgemeinen auf liegenden Sulfatkarst zurückzuführen sind.

Prozeß- und lagerungsbedingt sowie bezüglich tektonischer Einflüsse werden die unterschiedlichen Folgen tiefen Salinarkarstes einer Kombination von Chlorid- und Sulfatkarst zugerechnet, da die verschiedenen Becken des Zechsteinmeeres, die durch Schwellen voneinander getrennt waren, unterschiedliche Fazies aufweisen. Chloridfazies im Beckeninneren, gebunden an tektonische Mulden (LAEMMLEN, PRINZ & ROTH 1979:209), wechselt in den Schwellenregionen mit dem Sulfat-Saum und der Verzahnung beider Faziestypen in den Obergangszonen. Fossile Einbruchsschlote liegen in Schwellenbereichen mit mächtiger Sulfatfazies (LAEMMLEN, PRINZ & ROTH 1979). Schichtverkipungen mit deutlichen Zerungserscheinungen, intensiver Hangreißung bis zur Spaltenbildung oder grabenartigen Einsenkungen bzw. einzelnen oder auch Serien von Erdfällen zeichnen dagegen das Formengefüge aus, das umlaufende lokale Salzhänge prägt (PRINZ 1982:375-377).

Tab. 7: Tabellarische Übersicht über Gesteine, in denen Karst- und Korrosionserscheinungen beobachtet werden (aus PRINZ 1983:369).

| Formationen<br>Unterformationen<br>Abteilungen | Gesteine mit Korrosions-<br>und Karsterscheinungen | Regionale Verbreitung                         |  |
|--|--|---|--|
| Quartär  | Holozän<br>Pleistozän                              | Löß, Hangschutt                               | Mittelgebirgsländer  |
| Tertiär  | Pliozän<br>Miozän<br>Oligozän<br>Eozän + Paläozän  | Kalkmergelstein<br>Nagelfluh                  | Mainzer Becken<br>Untermaingebiet<br>Albsüdrand (Donaugebiet),<br>Allgäu                   |
| Kreide   | Oberkreide   | Kalkstein                                     | Westfalen, Aachen, Alpen<br>Hannoversches Bergland, Nord-<br>deutschland (Einzelvorkommen) |
|  | Unterkreide  | Kalkstein                                     | Alpen  |
| Jura   | Malm   | Kalkstein, Dolomitstein,<br>Gips, Steinsalz   | Fränk. u. Schwäb. Alb, Weser-<br>Emsgebiet, Alpen  |
|  | Dogger   | Kalkstein (Hauptrogenstein)                   | Oberrhingebiet   |
|  | Lias   | Kalkstein                                     | Alpen  |
| Trias  | Keuper   | Gips, Steinsalz, Kalkstein                    | Süd- u. Südwestdeutschland,<br>Alpen   |
|  | Muschelkalk  | Kalkstein, Dolomitstein,<br>Gips, Steinsalz   | Süd- u. Südwestdeutschland,<br>Alpen, Wesergebiet  |
|  | Buntsandstein                                      | Gips und Steinsalz                            | Weserbergland, Nord- u.<br>Osthessen, Alpen  |
| Perm   | Zechstein  | Gips u. Steinsalz, Kalkstein,<br>Dolomitstein | Norddeutschland, Harzrand,<br>Fulda-Werra-Gebiet, Ostrand<br>Rhein. Schiefergebirge        |
|  | Rotliegendes                                       | Steinsalz                                     | Norddeutschland, Nordsee-<br>becken  |
| Karbon   | Unterkarbon<br>(Kulm)                              | Kalkstein                                     | Westdeutschland  |
| Devon  | Ober   | Kalkstein                                     | Harz, Rheinisches Schiefer-<br>gebirge   |
|  | Mittel   | Kalkstein                                     |  |
|  | Unter  |   |  |
| Silur  |  |   |  |
| Ordovicium                                     |  |   |  |
| Kambrium                                       |  |   |  |

Die Auslaugungstätigkeit im Salinar erfolgt nach WEBER (1929:43), R. HERRMANN (1969) und SCHILDER & SCHWANDT (1983) durch Solung von unten durch aufsteigende Wässer. Sie schaffen im Übergangsbereich der Faziestypen die Wasserwege sowie die hydrodynamischen und chemischen Bedingungen für die Sulfat-Korrosion (PRINZ 1973b).

Die Frage ist, wenn Einbruchsschlote auf der Randfazies des Zechsteins - also auf Sulfatgestein mit Steinsalzeinschaltungen - nachzuweisen sind, wie weit dann ein Umkehrschluß von Einbruchsschloten auf die zu erwartende geologische Situation zulässig ist. Diese Frage ist von LAEMMLEN, PRINZ & ROTH (1979:246) für den tiefen Salinarkarst zwischen Fulda und der Spessart-Rhön-Schwelle beantwortet worden. Aus dem Auftreten von fossilen Einbruchsschloten und dem Vergleich mit vorhandenen Bohrungen

werden Gesetzmäßigkeiten abgeleitet, die ein gehäuftes Auftreten von Einbruchsschloten am ehemaligen Rand der Salzverbreitung bzw. dem Schwellenbereich der Becken belegen.

Darüber hinaus wird das Auftreten von subrosiven Großformen einerseits an eine mindestens mehrere Dekameter mächtige Salzlagerstätte im Untergrund geknüpft, da bei geringerer Mächtigkeit die Absenkung des Hangenden durch Auflockerungserscheinungen kompensiert wird. Andererseits - und das gilt insbesondere für die irreguläre Auslaugung - setzt die Subrosion bevorzugt an tektonischen Hochlagen der Salzlagerstätte an, wobei die Bruchtektonik die Wasserwegsamkeit durch tiefgreifende Verwerfungen vorbereitet (LAEMMLEN, PRINZ & ROTH 1979).



Für das von LAEMMLEN, PRINZ & ROTH (1979: 248) bearbeitete Gebiet läßt sich hervorheben, daß die bekanntgewordenen Einbruchsschlote in geringer Entfernung vom heutigen Salzhang auftreten, was bei Tiefbohrungen mit Restsalzmächtigkeiten belegt wird. Daraus folgt, daß der heutige Salzhang auf weiten Strecken mit der ursprünglichen Verbreitungsgrenze der Salinarlagerstätte übereinstimmt.

Die großräumig angelegte Arbeit im Fulda-Gebiet wird durch zahlreiche punkthafte Darstellungen ergänzt, die sich im regionalen Kontext mit genetischen Fragen von Erdfällen auseinandersetzen (FINKENWIRTH & HOLTZ 1974, HERRMANN, R. 1972, GRIMM & LEPPER 1973, MEIBURG & KAEVER 1977, HIEKE & RITZKOWSKI 1968) oder sich mit Methoden zur Ausweisung von Erdfallbereichen beschäftigen (GREILING 1977, PLAUMANN & LEPPER 1979). Auch Altersfragen dieser Erscheinungen werden diskutiert und vorgestellt:

- FINKENWIRTH & HOLTZ (1974:211 ff) kommen für das Seeloch bei Bad Hersfeld auf ein palynologisch nachgewiesenes Einbruchsalter, das vor dem Riß-Interglazial liegt,
- R. HERRMANN (1972:191) weist die Wolkenbrüche bei Trendelburg für die Zeit um 1645 aus historischen Quellen nach,
- BAUMEISTER & SCHROER (1977:164 f) weisen im Reinhardswald - je nach Örtlichkeit - den Subrosionserscheinungen gemäß der Zusammensetzung ihrer Füllungen die ganze Bandbreite des Tertiärs zu,
- GRIMM & LEPPER (1973:4 f) sehen den Vorgang lokaler Salzauslaugung im Solling vom Jungtertiär bis in die Gegenwart wirksam, gebunden an eine Heraushebung des Solling-Gewölbes,
- HIEKE & RITZKOWSKI (1968:194) datieren die Subrosion um Fürstehagen aufgrund von Sedimentfolgen und ihrer Interpretation in die Tegelen-Zeit,
- MEIBURG & KAEVER (1977:288) sehen die Subrosion Obereozän-Unteroligozän und verstärkt seit dem Miozän wirksam, wobei die Mächtigkeit des Deckgebirges berücksichtigt werden muß.

Diese zufällige Aufreihung von Erdfällen und ihre zeitliche Stellung, die sich beliebig erweitern ließe, zeigt, daß eine altersmäßige Einordnung nur in größeren Räu-

men und nur begrenzt vorgenommen werden kann. Die Faktoren, die Erdfälle auslösen, variieren in dem betrachteten mitteleuropäischen Raum so stark, daß eine Übertragung der Ergebnisse von einer Örtlichkeit zur anderen nur dann zulässig ist, wenn mit gleichen Methoden und Voraussetzungen gearbeitet wird.

Geologische Ergebnisse, die den weiteren Rahmen im Nordwesten des Untersuchungsgebietes erfassen, sind von BACKHAUS et al. 1980 im Rahmen der Erläuterungen zur Geologischen Karte des Reinhardswaldes 1:50 000 (Hess. L.-A. Bodenforsch. 1980) erarbeitet worden. Subrosive Vorgänge, bedingt durch Auslaugung des Zechsteinsalinars, werden auch hier für Lagerungsstörungen verantwortlich gemacht, können aber nach ihrem Anteil an der geologischen Entwicklung noch nicht abgeschätzt werden (BACKHAUS et al. 1980:26). Erdfälle mit Muschelkalkfüllungen, die infolge Röt-Erosion als inverse Dolinen (Muschelkalkkuppen) auftreten, werden am östlichen Rand der Zierenberger Scholle beschrieben.

Ober den westlichen Rand des Arbeitsgebietes hinaus weist die Geologische Karte von Hessen 1:25 000, Blatt 4723 Oberkaufungen (Hess. L.-A. Bodenforsch. 1981) in den von KUPFAHL (1981) herausgegebenen Erläuterungen folgende subrosive Einflüsse auf:

- kesselförmige Senken auf den Flanken des Quenteler Horstes
- Subrosionssenken:
  - Ölberg-Senke
  - Stellberg-Mulde
  - Eschenstruther-Senke
- kleine Subrosionssenken
  - am Setzebach
  - am Franzosendriesch
- einige Röt-Dolinen.

Die Aufarbeitung des geologischen Forschungsstandes, der im Untersuchungsgebiet überall Subrosionserscheinungen aufzeigt, wäre unvollständig ohne die Arbeiten von RÜSING (1953, 1956a,b, 1971), der sich erstmals sowohl mit der Entstehung von Erdfällen als auch mit der Behandlung großräumiger Subrosionsphänomene im nordhessischen Raum beschäftigt. Darüber hinaus werden Subrosionserscheinungen von RÜSING (1956b, 1966) im Bereich der Blätter 4622 Kassel-West und 4621 Wolfhagen dargestellt.

### 2.2.3 Hydrogeologischer Forschungsstand

RAMBOW (1977) hat die "Grenzen der Grundwassernutzung in Nordhessen" untersucht und zu den Grundwasserleitern und ihrer Ertragsfähigkeit Stellung genommen. Innerhalb des Untersuchungsgebietes sieht er eine Trinkwassererschließung im Zechstein aufgrund der hohen Härten, insbesondere der Sulfathärten, als nicht möglich an. Dem auflagernden Unteren Buntsandstein wird wegen seiner geringen Durchlässigkeit ebenfalls schlechte Erschließungsfähigkeit zugesprochen. Erst der Mittlere Buntsandstein gilt in Einklang mit MATTHES (1970) als der wichtigste Grundwasserspeicher Nordhessens. Hier sind es die Wechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins, insbesondere die Volpriehausen- und die Detfurth-Folge (MARTIN 1965:80), die jeweils über eine wasserhöffige Grobsandsteinlage verfügen, deren Wasser genutzt werden kann. FINKENWIRTH (1970:214) relativiert diese Aussagen durch hydrogeologische Untersuchungen im Rahmen eines umfangreichen Gutachtens zur Wasserversorgung der Gemeinden im Meißnergebiet (FINKENWIRTH 1965:7).

Was den südlichen Teil des Untersuchungsgebietes betrifft, so greift FINKENWIRTH (1970) die Folgen der Zechsteinauslaugung aus geologischer, hydrogeologischer, hydrochemischer und morphologischer Sicht auf. Er verändert die Grenze der primäre Salzverbreitung - in Ergänzung zu RICHTER-BERNBURG (1953) - anhand von hydrochemischen und geomorphographischen Erkenntnissen für den Eschweger Raum (vgl. Abb. 14) und spricht dem Unteren Buntsandstein, der über ausgelaugtem Gebiet nachgesackt ist, im Gegensatz zu MATTHES (1970) und RAMBOW (1977), hohe Wasserwegsamkeit zu, was er anhand von Beispielen der Brunnenstandorte für die Stadt Eschwege belegt. In Einklang mit RAMBOW (1977) geht er davon aus, daß salzhaltige Wässer aus dem tieferen Untergrund aufgrund der hydraulischen Situation nur in Tälern und Tiefenlinien aufsteigen und sich dort mit den Grundwässern mischen. Als Beispiel hierfür werden Flachbrunnen angeführt, in denen in Trockenjahren der Salzgehalt (Chlorid- bzw. Sulfatanteil) erheblich ansteigt. Neben diesen auf Salzauslaugung hindeutenden Indizien weist er die für Subrosionsgebiete typischen, stark schüttenden

Kluftquellen nach, auf die sich der Grundwasserabfluß aus quellarmen Gebieten mit hoher Versickerungsrate konzentriert. Ergebnis der Betrachtungen von FINKENWIRTH (1970:220) ist, daß aufgrund der Kombination geologischer, hydrogeologischer, hydrochemischer und geomorphologischer Befunde sowohl unter der Gobert als auch unter dem nach Osten schwingenden Schlierbachswald die Salzverbreitung des Zechstein 1 anzunehmen ist.

Mit einer noch kleinräumigeren Einheit, und zwar mit der westlichen Umgebung des Unterrerra-Sattels, setzt sich SCHALOW (1978) auseinander. Insbesondere behandelt er den nördlichen Teil des östlichen Meißnerlandes sowie den Zechsteinausstrich nördlich Hilgershausen und gibt für sein Arbeitsgebiet folgende Grundwasserleiter an:

- Gesteine mit einem hohen Anteil an Karstgrundwasser, die an ihrer Oberfläche durch Trockentäler und Bachschwinden bzw. ohne oberflächenhafte Entwässerung gekennzeichnet sind,
- Gesteine die überwiegend Kluftgrundwasser führen (Grauwacken, Tonschiefer des Unteren bzw. Mittleren Buntsandsteins),
- Gesteine die überwiegend Porengrundwasser enthalten (bindemittelarme Mittel- bis Grobsandsteine des Unteren und des Mittleren Buntsandsteins sowie Lockeresedimente (Schutt, Kies, Löß) und
- Gesteine, die aufgrund tonreicher Einschaltungen grundwasserstauend wirken.

Infolge dieser Verhältnisse bilden sich die entsprechende Grundwasserstockwerke aus. Diese sind nach SCHALOW (1978:170) auch im Zechstein möglich. Sie entstehen aufgrund von Faziesunterschieden, Verkarstungsvorgängen und tektonischen Einflüssen aus, stehen jedoch oft, wie in Karstwassersystemen üblich, in hydraulischer Verbindung miteinander und sind somit nicht mehr zu trennen. Als zugehörige Quellen weist SCHALOW (1978) aus:

- Karstquellen (perennierend im Gips- und Salzkarst)
- Verwerfungsquellen
- Schuttquellen
- Grauwackenquellen

Südlich, zwischen Eschwege und Weißenborn, untersuchte THEURER (1983) die Ursachen zunehmender Gesamtmineralisation in Wässern

aus Trinkwassererfassungsanlagen der Stadtwerke Eschwege. Ihre Arbeit steht in Zusammenhang mit dem Problem der Werraversalzung und möglichen Ausbreitungswirkungen wie auch mit dem Phänomen des Aufstiegs versalzener Tiefenwässer unterlagernder Salzstöcke bzw. Gipshüte sowie mit dem Problem der anthropogenen Beeinflussung der Wasserqualität durch Düngemittelverwendung.

Für die hohe Mineralisation einzelner Wässer gibt es nach diesen Untersuchungen keinen monokausalen Zusammenhang. Der Versalzungsgrad der Wässer des Unteren Buntsandsteins ist abhängig vom Zufluß söltiger Tiefenwässer. In Trockenjahren beeinträchtigt zusätzlich Werrawasserinfiltrat die Mineralisation der Wässer. Die mit ihrem Einzugsgebiet vorwiegend im Mittleren Buntsandstein liegenden Gewässer zeigen relativ geringe Gesamtmineralisation. Ihre Schwankungen werden auf geogene Faktoren bzw. anthropogene Eingriffe zurückgeführt. Lediglich der Brunnen im Wiesental, nordöstlich Weißenborn, wird durch die Auslaugung unterlagernder Zechsteinsalze beeinträchtigt. Im Gegensatz zu den beschriebenen Wässern weisen die Wässer der Werratalaue die höchste Gesamtmineralisation (Ausnahme: Werrawasser) aus. Sie ist eindeutig bedingt durch die Infiltration von Werrawasser. Untergeordnet spielt der Düngemittelintrag eine Rolle. Das Werrawasser ist für alle Verwendungen unbrauchbar. In Spitzenzeiten führt es bis zu 19 000 mg/l  $\text{Cl}^-$  und mehr mit sich (THEURER 1983).

Untersuchungen zu den Brunnen bei Weißenborn wurden von MARTIN (1965) durchgeführt. Er beschreibt, daß der 1952 auf 99 m Tiefe

gebohrte Brunnen eine Versalzung des Wassers von 400 mg/l  $\text{Cl}^-$  aufwies. Die Versalzung wird nach MARTIN (1965:80) auf das 6 m mächtige Salzlager der Leine-Serie zurückgeführt, die unmittelbar neben der Bohrung Großer Kurfürst II nachgewiesen ist.

Die Wasserversorgung aus dem Unteren Buntsandstein führt MARTIN (1965) auf subrosive Einflüsse und die damit verbundene Klüftigkeit im Hangenden zurück. Ebenso ist der Aufstieg basaltischer Magmen an diese Klüftigkeit gebunden (vgl. 2.2.2). Die Grenze Unterer Muschelkalk / Oberer Buntsandstein - als Quellhorizont bekannt - ist durch stark schwankende Wasserführung in Abhängigkeit von den Tageswässern gekennzeichnet. Die im Schichtfallen des Unteren Muschelkalkes austretenden Wässer verfügen nach MARTIN (1965:79) über eine Härte von 14 bis 16° dH. Unterhalb der Schichtgrenze, nach Durchfluß durch die Röt-Rutschungen, erhöht sich dieser Wert infolge Gipsaufnahme auf ca. 40° dH. Ein maximaler Härtewert wird von KUNZ (1962:82) unterhalb des Röt mit 92° dH festgestellt.

Das im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprogramms "Meißner-Forschung der Freien Universität Berlin" von Prof. BRÜHL durchgeführte hydrogeologische Meßprogramm befindet sich noch in der Auswertephase. Hier sind rund um den Meißner nach geowissenschaftlichen Gesichtspunkten 36 Meßstellen eingerichtet worden, die zwei Jahre kontinuierlich beprobt und auf ihr Abflußverhalten untersucht wurden.

Im Zuge der regionalen Analyse der Auslaungsformen (vgl. Kap. 4) wird auf die bereits ermittelten hydrochemischen Werte zurückgegriffen.

### 3. Arbeitsmethoden

Hauptarbeit im Gelände war die Kartierung der Auslaugungsformen und das Probennehmen in Oberflächengewässern zur Erfassung der hydrochemischen Parameter, die Hinweise auf aktuelle Geomorphodynamik geben können.

Auslaugungsformen sinnvoll (Abb. 18). Unabhängig davon wurden die großräumigen Strukturen (Schichtstufen, große Talungen usw.) dargestellt, in die die Subrosionsformen eingebettet sind (vgl. Beilage 1).

#### 3.1 Kartierung der Auslaugungsformen

Die in Kap. 1.2 geschilderten Auslaugungsformen, ausgenommen die Pico- und Nanofor- men, wurden flächendeckend erfaßt. Je nach ihrer Größe wurde direkt oder indirekt kartiert (über geomorphographische Parameter wie Wölbungen, Neigungen der flächenhaften Reliefelemente, Verlauf der Wölbungen). Tab. 8 ordnet jeder Form die zugehörige Aufnahmemethode zu. Als Aufnahmemaßstab im Gelände erwies sich wegen der Größe des Untersuchungsgebietes der Maßstab 1:25 000 als sinnvoll.

#### 3.1.2 Kartenauswertung

Die Topographie des Untersuchungsgebietes (vgl. 2.1) ist auf neun Blättern der TK 25 dargestellt. Für diese Blätter liegen auch geologische Karten im Maßstab 1:25 000 vor. Darüber hinaus geben die neueren geologischen Diplomarbeiten und -kartierungen (vgl. 2.2.2) sowie die geologischen Übersichtskarten in Maßstäben 1:200 000 (MOTZKA et al. 1979) bzw. 1:300 000 (Hg. RÜSING 1976) detaillierte Informationen über das Untersuchungsgebiet. Eine Übersicht über das vorhandene Kartenmaterial gibt Abb. 19.

##### 3.1.1 Geomorphologische Detailkartierung

Anhand der Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Detailkarten im Maßstab 1:25 000 (LESER & STÄBLEIN 1975 ff) und der Erfahrung mit dieser Legende aus der Kartierung und Umsetzung der GMK 25:17, erschien eine Reduktion der Kartierinhalte auf die morphographischen Merkmale der

Die Kartenauswertung bezog sich auf das Studium der geologischen Verhältnisse, der kartierten Erdfälle und Dolinen und der Anordnung von Verwerfungen. Die topographischen Karten lieferten vereinzelt Hinweise für Auslaugungsformen (flache abflußlose Senken, Trichter, Trichterfelder, Schwundstellen) sowie das Gewässernetz, das bei den Geländebegehungen, wo notwendig, revidiert und ergänzt wurde.

Tab. 8: Aufnahmeverfahren der Auslaugungsformen in der Umgebung des Unterwerra-Sattels.

| Karstformen   | Erfassung   |
|---|---|
| Karren<br>Laughöhlen<br>Schlucklöcher<br>Dolinen<br>Erfälle | } direkte<br>Kartierung   |
| Zerrungsformen<br>großräumige Auslaugungs-<br>bereiche      | } indirekte Erfassung<br>über die Anordnung geomorphographi-<br>scher Parameter, wie Wölbungen, Täler<br>und Tiefenlinien, Neigungsverhältnisse |
| Salzhang  | indirekte Erfassung<br>über die Kombination geomorphologi-<br>scher, geologischer und hydrochemischer<br>Ergebnisse                             |

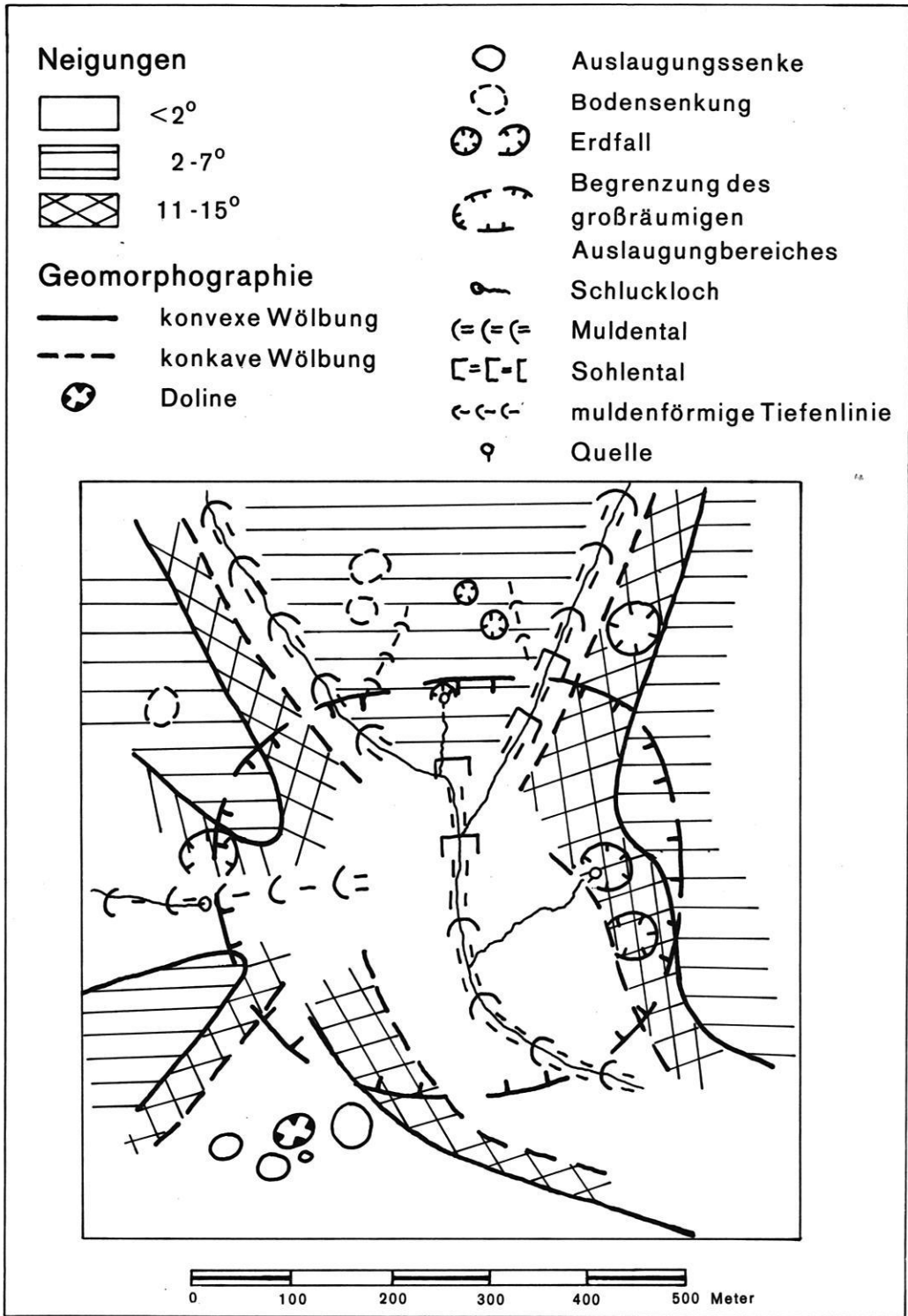


Abb. 18: Schematische Reliefkonfiguration zur Ausweisung eines großräumigen Auslaugungsbereiches.

Am Beispiel des großräumigen Auslaugungsbereiches von Vockerode wird schematisch zusammengefaßt, was als Indiz zur Ausweisung solcher Subrosionsstrukturen herangezogen wird. Neben den vielen Kleinformen der Subrosion erweisen sich die Wölbungen für diese Aufgabenstellung als nützlich.

Die verwendeten Signaturen beruhen auf den Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Detailkarten (LESER & STÄBLEIN 1975 ff).

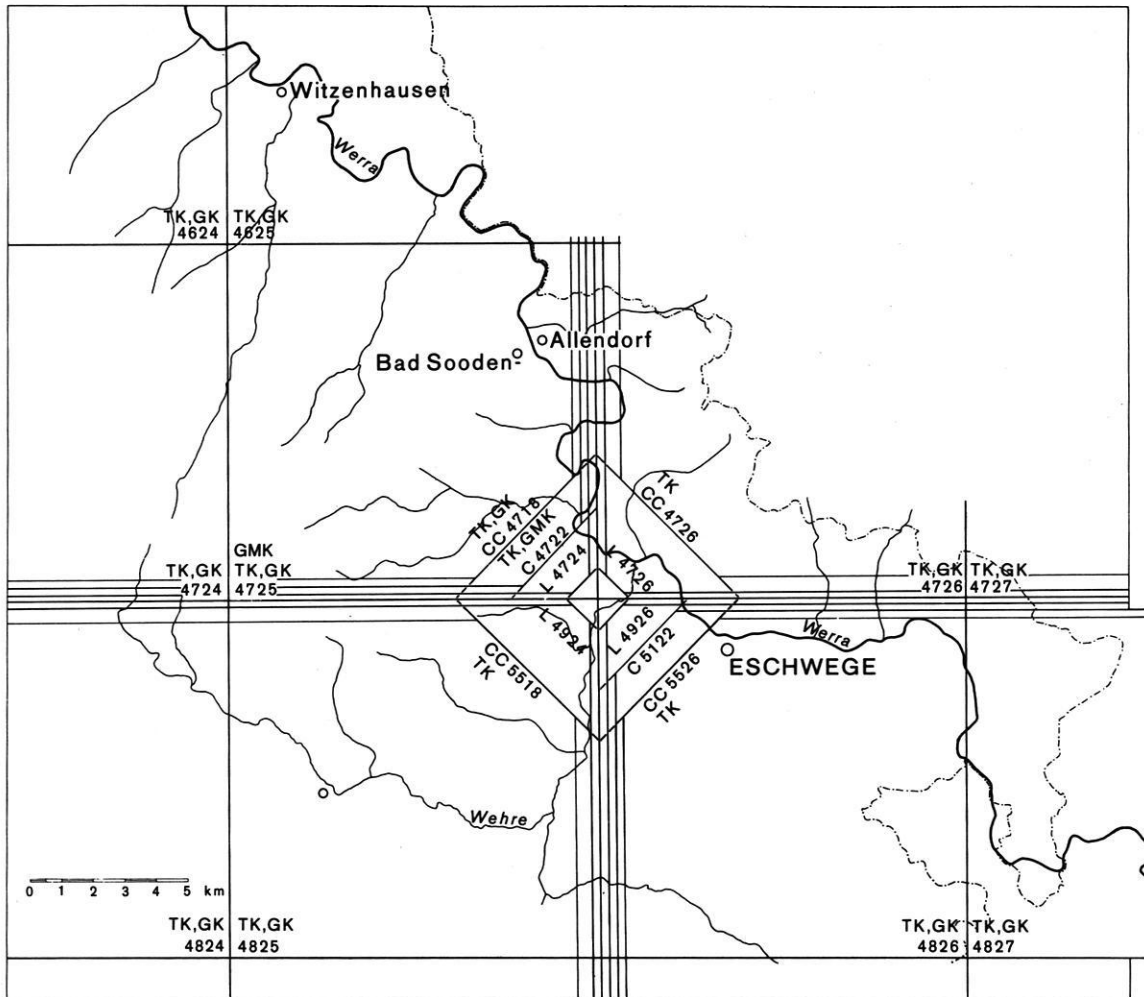


Abb. 19: Übersicht des für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Kartenmaterials.  
TK = Topographische Karte, GK = Geologische Karte, GMK = Geomorphologische Karte.

Die Abbildung macht die unterschiedliche Materiallage in den verschiedenen Abschnitten des Untersuchungsgebietes deutlich. Aus geomorphologischer Sicht ist zu bemängeln, daß weder flächendeckende Detailkartierungen noch ebensolche Übersichtskartierungen vorliegen. Zudem ergibt sich durch den Schnittpunkt aller Kartenwerke westlich von Eschwege das Problem der Erstellung einer in sich abgestimmten Situation für das Untersuchungsgebiet.

### 3.1.3 Luftbildauswertung

Für das Untersuchungsgebiet lagen Luftbilder zur stereoskopischen Betrachtung im Maßstab 1:12 000 vor (Abb. 20). Sie wurden, bezogen auf den Mikro- bis Mesoformenbereich, ausgewertet. Die stereoskopische Betrachtung wurde mit dem OLD DELFT SCANNING STEREOSCOPE - ODSS III durchgeführt. Dieses Gerät ermöglichte die Wahl zwischen zwei Maßstäben. Das Luftbildmaterial wurde im Maßstab 1:12 000, also 1:1, betrachtet und unterstützte die Erfassung des Mikro- und

Kleinformenschatzes. Der Verkleinerungsmaßstab 1:4, also ungefähr 1:50 000 eignete sich besser für die Oberblickskartierung. Viele Auslaugungsformen bzw. großräumige Auslaugungsbereiche wurden über das Luftbild ermittelt und anschließend durch Begehung überprüft. Besonders hilfreich war die Luftbildauswertung bei der Ausweisung von Bodensenken und Auslaugungssenken in vegetationsfreien Arealen. Im Mesoformenbereich konnten mit dem Luftbild eine Vielzahl von Subrosionsstrukturen auch unter Wald nachgewiesen werden.

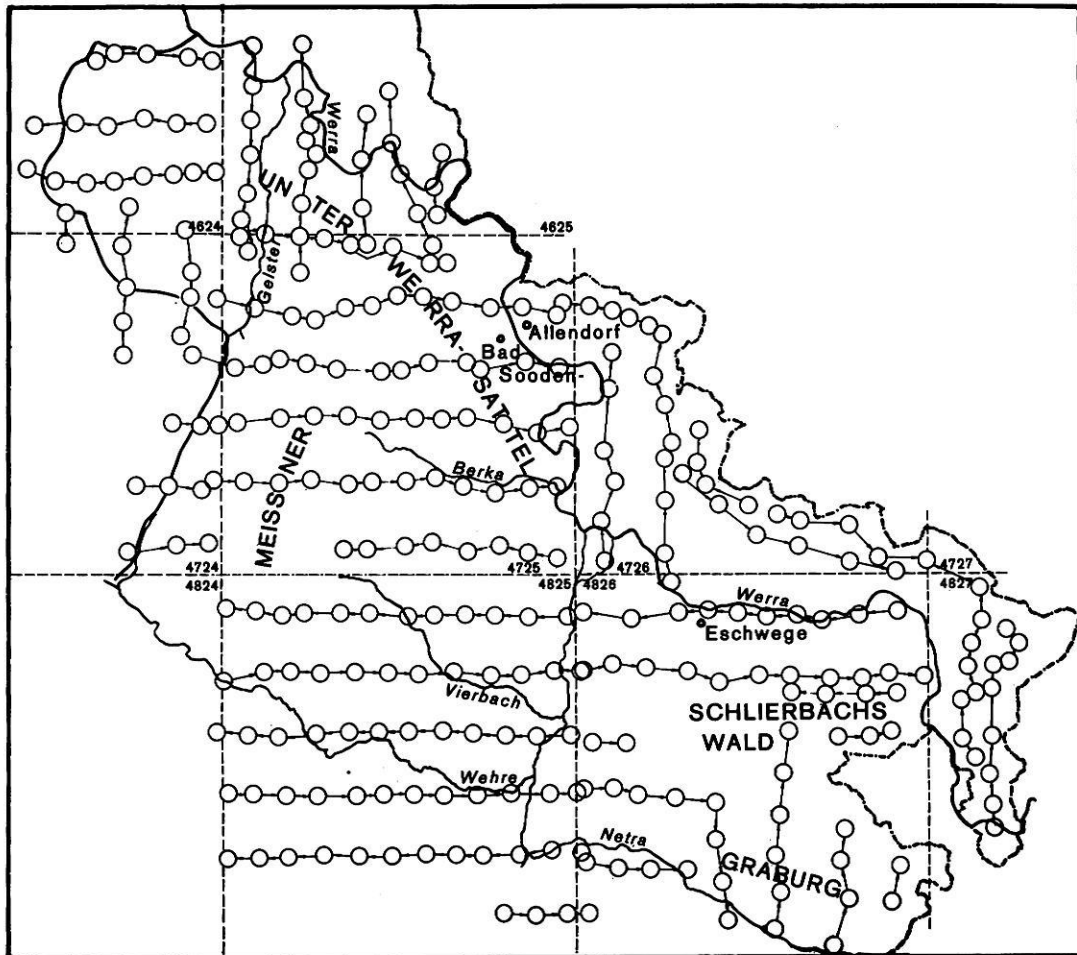


Abb. 20: Übersicht der für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Luftbilder im Maßstab 1 : 12 000 - 1 : 15 000.

Die Kreise geben jeweils den Bildmittelpunkt, die Pfeile die Befliegungsrichtung an. Die gestrichelten Linien zeigen die Blattbegrenzung der TK 25 an.

### 3.2 Hydrochemische Parameter von Oberflächenwässern und von wasserwirtschaftlich genutzten Wässern

Grundlage der hydrochemischen Untersuchung war die Hypothese, daß sich die Vielzahl sichtbarer Auslaugungsformen in den Anteilen gelöster Bestandteile der jeweiligen Wässer niederschlagen muß. Das heißt, oberflächennahe Senkungsformen, die in jeder lösungsfähigen Schicht ermittelt werden konnten, sind in ihrem Ursprung auf ein Massendefizit im Untergrund zurückzuführen (vgl. 1.3), das durch die Lösung und den Abtransport lösungsfähiger Substanzen im Untergrund erzeugt wird. Bezüglich der Gesteine des Untersuchungsgebietes müssen sich besonders Chloride, Sulfate und

Carbonate in den Wässern bemerkbar machen. Dementsprechend wurde ein Probenplan für die Oberflächenwässer des Untersuchungsgebietes zusammengestellt (vgl. Anhang und Beilage 2). Dabei wurde bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Kellaer Bach, Frieda) Wert darauf gelegt, nur Wässer zu erfassen, die ausschließlich geogener Belastung unterliegen und im Zusammenhang mit kartierten Auslaugungsformen zu sehen sind. Ziel sollte sein, den Anteil der gelösten Substanzen qualitativ in Zusammenhang mit der beobachteten Geomorphographie zu stellen, um Aussagen zur rezenten Geomorphodynamik treffen zu können.

Die Beprobung der Wässer erfolgte zwischen Juni 1984 und September 1986 (vgl. Analy-

senwerte im Anhang). Den einzelnen Gewässern wurden jeweils Proben von 250 ml (Plastikflaschen) entnommen, die am gleichen Abend im Labor untersucht wurden. Der Analysengang sah zunächst die Ermittlung der Temperatur mit dem PT 100 von WTW vor. Sie wurde benötigt, um die Leitfähigkeit mit der LF-Elektrode von WTW zu bestimmen. Die ermittelte Leitfähigkeit erbrachte unter Hinzuziehung der Faustformel von HÖLTING (1980:193):

$$Lf \times 0,65 = \text{Gesamtmineralisation des Wassers (in mg/l)}$$

einen ersten Überblick über die Gesamtmineralisation des Gewässers.

In den folgenden Arbeitsschritten wurden

- der Chloridgehalt (Nachweis gelöster Salze),
- der Sulfatgehalt (Nachweis gelösten Gipses bzw. Anhydrits) und
- der Karbonatgehalt (Nachweis gelösten Kalkes)

des Wassers bestimmt.

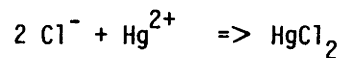
Zielsetzung der Analyse war nicht, eine vollständige Anionen- und Kationenbilanz zu ermitteln, sondern einen Überblick über die Anteile der genannten Substanzen zu erhalten. Die Analysedaten der wasserwirtschaftlich erfaßten und regelmäßig untersuchten Wässer wurden freundlicherweise von der Unteren Wasserbehörde in Eschwege - Herrn MEINER - zur Verfügung gestellt. Die Daten (vgl. Anhang) wurden zwischen 1975 und 1984 vom Wasserwirtschaftsamt Kassel ermittelt. Um Vergleichbarkeit mit den von mir ermittelten Werten zu erhalten, wurden der Sulfat- und der Karbonatgehalt nach der zu schildernden, hydrochemisch verkürzten Methode ermittelt. Die in der Beilage 2 dargestellten Anteile der gelösten Substanzen beziehen sich auf die ungewichteten arithmetischen Mittelwerte, die über die Werte aus der genannten Probenzahl gebildet wurden.

### 3.2.1 Chloridgehalt

Die am leichtesten lösliche Substanz innerhalb der betrachteten Stratigraphie ist das Steinsalz. Es liegt im Arbeitsgebiet vor allem im Zechstein 1 vor, kann aber

auch im Oberen Buntsandstein auftreten. Da es sich hierbei um das Halit Natriumchlorid handelt, war es ausreichend, ausschließlich den Chloridgehalt nachzuweisen. Die Untersuchung wurde mit der Schnellbestimmungsmethode von AQUAMERCK (Best. Nr. 11 106) mit einer graduierten Titrierpipette (Abstufung 2 mg/l) durch mercurimetrische Titration gegen Diphenylcarbazon durchgeführt.

Die Bestimmung des Chloridionengehaltes erfolgte durch Titration mit Quecksilber-(II)-Nitrat wobei die Quecksilber (II)-Ionen mit den Chloridionen reagieren und zu undissoziierbarem Quecksilber (II)-Chlorid führen.



Die überschüssigen Quecksilber (II)-Ionen bilden mit dem Indikator Diphenylcarbazon in der vorher eingerichteten salpetersauren Lösung (gelb) eine blauviolettgefärbte Komplexverbindung.

Die bei dieser Methode auftretenden Fehler wurden vernachlässigt. Es wurde angenommen, daß keine Bromid- und Jodidionen vorhanden sind und daß auch der Gehalt an Eisenionen unterhalb der Beeinträchtigungsgrenze von 5 mg/l liegt. Ebenso wurden die Einflüsse nicht nachgewiesener Sulfid- und Sulfitionen sowie ein eventueller Anteil von Schwefelwasserstoff außer Betracht gelassen. Die in mg/l ermittelten Chloridionen wurden in Protokollbögen (vgl. Anhang) eingetragen.

### 3.2.2 Sulfatgehalt

Ebenso wie für die Chloridbestimmung wurde bei der Bestimmung des Sulfatgehaltes der methodische Ansatz dahingehend vereinfacht, daß der Sulfatgehalt über die Differenz der direkt zu bestimmenden Gesamthärte und der Karbonathärte aus der Nichtkarbonathärte bestimmt wurde. Die Vereinfachung beruht darauf, daß die Nichtkarbonathärte (NKH) als der Anteil gesehen wird, der das zu ermittelnde Calciumsulfat (gelöster Gips) wiedergibt. Unberücksichtigt blieb der Anteil des Magnesiumsulfats, der normalerweise den zum Calciumsulfat komplementären Anteil der Nichtkarbonathärte bildet. Er ist in den betrachteten geologischen Ein-



heiten, bezogen auf die geomorphologische Fragestellung, unerheblich.

Um den Sulfatanteil zu bestimmen, wurde die Gesamthärte (GH) mit dem Schnellbestimmungssatz 8039 AQUAMERCK durch die komplexometrische Titration mit Titriplex III gegen einen Mischindikator ermittelt. Die Titration erfolgte mit einer graduierten Titrierpipette (Teilung 0,2° d) bis zum Farbumschlag nach Grün. Im nächsten Arbeitsschritt wurde die Karbonathärte (KH) mit dem Schnellbestimmungssatz 8048 AQUAMERCK ermittelt, dem als Methode die acidimetrische Titration gegen einen Mischindikator mit graduiertes Titrierpipette (Teilung 0,2° d) bis zum Farbumschlag nach Rot zugrunde liegt.

Aus der Differenz  $GH - KH = NKH$  wurde die Nichtkarbonathärte ermittelt. Sie wird als Maß des Calciumsulfatanteils der betrachteten Wasser angesehen. Um eine vergleichbare Größe (mg/l) zu erhalten, wurde die Nichtkarbonathärte, die in °d angegeben ist, umgerechnet. Über die Beziehung

$1^\circ d = 7,13 \text{ mg/l}$  gelöstes Calcium und aus dem Verhältnis des Atomgewichtes von Calcium zu Calciumsulfat wie 1:3,4 wurde der Calciumsulfatanteil in mg/l errechnet. Folgende Beziehungen stellen den Ermittlungsgang dar:

$$\begin{aligned} GH (\text{°d}) - KH (\text{°d}) &= NKH (\text{°d}) \\ GH \times 7,13 \text{ (mg/l Ca)} - KH \times 7,13 \text{ (mg/l Ca)} &= NKH \times 7,13 \text{ (mg/l Ca)} \\ NKH \times 7,13 \times 3,4 \text{ (mg/l CaSO}_4\text{)} &= \text{Sulfatanteil} \end{aligned}$$

Die analytisch ermittelten Werte wurden neben dem errechneten Sulfatanteil in das Analysenprotokoll eingetragen (vgl. Anhang).

### 3.2.3 Carbonatgehalt

Der Gehalt an Calciumkarbonat (Lösungsprodukt anstehender Kalksteine) wurde aus der Karbonathärte rechnerisch ermittelt. Es wurde von der folgenden Beziehung ausgegangen:

$$1^\circ d = 17,9 \text{ mg/l gelöstem CaCO}_3.$$

### 3.3 Flachbohrungen

Im Rahmen der Kartierung der GMK 25:17 wurden ca. 2200 1 m-Pürckhauer-Bohrungen nie-

dergebracht. Mit ihnen wurde neben der Bodenart auch die Bodenmächtigkeit bestimmt. Hinsichtlich der Auslaugungsformen ergaben sich unterschiedlichste Ergebnisse.

In frischen Einsturzformen wurden aufgrund des Gesteinsschuttes Bohrtiefen von 30 bis 50 cm selten überschritten, in älteren mit Kolluvium im Tiefsten wurden Feinsedimentmächtigkeiten von mehr als 100 cm erbohrt. In einem Fall wurde mit dem Schappenbohrer eine Tiefe von vier Metern ermittelt, ohne daß das Anstehende erreicht wurde. Eine größere Tiefe konnte aufgrund nachbrechender Bohrlochwände und einfließenden Grundwassers in dem Substrat mit hohem organischen Anteil nicht erreicht werden.

Unterschiedliche Sedimentmächtigkeiten, jeweils in Abhängigkeit vom Untergrund, wurden in den Flachformen (schüssel- und schalenförmigen) sowie in den schalenförmig ausgebildeten Bodensenkungen angetroffen.

### 3.4 Flachseismik

Die Oberlegung, mit dem Einsatz seismischer Verfahren auslaugungsfähige Substanzen im tieferen Untergrund bzw. durch Auslaugung beeinflusste Untergrundstrukturen zu ermitteln, mußte aus nachstehend aufgeführten Gründen verworfen werden.

Zur Verfügung standen der Bison-Signal-Enhancement Seismograph Modell 5070 C sowie ein tragbares 12-Kanal-Gerät. Der Einsatz beider Geräte brachte nicht die gewünschten Ergebnisse. Ursachen hierfür waren:

- das schlechte Refraktionsverhalten in einem durch Auslaugungsprozesse zerrütteten Schichtverband,
- das Erreichen zu geringer Tiefen durch die 1-Kanal-Anlage,
- Störfaktoren beim Einsatz der Mehrkanalseismik (Wind im Baumbestand, landwirtschaftliche Maschinen im Einsatz, Schwerlastverkehr, Bahnverkehr).

### 3.5 Relative Altersbestimmungen

Ausgehend von der rezenten Geomorphodynamik, die aktiv auf die Flußauen einwirkt,

wurde die Altersbestimmung der Reliefgenerationen in Ermangelung absoluter Daten in relativem Vergleich gewonnen. Als Impuls zur Reliefentwicklung wird der Aufstieg des Unterwerra-Sattels an der Wende Jura/Kreide (STILLE & LOTZE 1933:12) gesehen. Eine weitere Zeitmarke liefert der mit 11,2 - 1 Mio. Jahren vor heute datierte Basalt des Meißners (WEDEPOHL zit. nach RITZKOWSKI 1978:197). Weiterer Bezugspunkt ist die Talentwicklung der Werra, für die neben einer Niederterrasse auch eine Mittel- und Hauptterrasse nachgewiesen werden konnte. Innerhalb dieser Grenzen muß sich die gesamte Reliefentwicklung von den durchgehenden Schichten der hangenden Serien im Jura bis zum heutigen zertalten Relief ereignet haben.

### 3.6 Graphische Darstellung der Ergebnisse

In den im Anhang befindlichen Kartenbeilagen 1 und 2 sind die zur Interpretation der Reliefentwicklung und der aktuellen Geomorphodynamik notwendigen Daten zusammengestellt. Kartengrundlage ist eine Montage der amtlichen topographischen Karten 1:50 000, die das Untersuchungsgebiet erfassen (vgl. Abb. 19). Um eine bessere Lesbarkeit der aufgenommenen Informationen zu erreichen, wurde die Situation durch eine 60%-Aufrasterung in einen Grauwert überführt. Die anschließende Verkleinerung der Vorlagen hat keinerlei Informationsverlust zur Folge.

#### Beilage 1: Auslaugungsformen in der Umgebung des Unterwerra-Sattels

Sie beinhaltet die geomorphologischen Elemente, die sich aus Einzelsignaturen, Signaturenfeldern und übergeordneten Eingrenzungen von Auslaugungsphänomenen sowie übergeordneten geomorphologischen Strukturen zusammensetzen. Hierbei wird auch der Verlauf des Salzhangs, der nur indirekt ermittelt werden konnte, mit aufgezeichnet. Die aus der großmaßstäbigen Aufnahme gewon-

nenen Mesoformen, die indirekt über die Neigungsverhältnisse und den Wölbungslinienverlauf ausgewiesen sind, werden durch den Begriff des großräumigen Auslaugungsbeereichs, der mit einer eigenen Signatur wiedergegeben ist, dargestellt.

Ein Vergleich dieser Karte mit den Beilagen des Internationalen Karstatlas (PFEFFER 1986a) zeigt, daß die dort verwendete Darstellungsart sich an der Erfassung weniger spektakulärer Formen orientiert (PFEFFER 1986b, BÄR, FUCHS & NAGEL 1986). Die farbliche Gestaltung dieser Beilagen faßt Relieftypen und ihre Eigenschaften zusammen, ohne über flächendeckende Detailinformationen zu verfügen. Vor dem Hintergrund der dort erarbeiteten Fragestellungen mag dies vertretbar erscheinen. Für meine Aussagen ist eine vollständige Inventarisierung aller Karstformen zur Ableitung reliefbezogener Vorstellungen unverzichtbar (vgl. LESER 1979, 1982). Ich schließe mich daher der Darstellungsweise von JULIAN & NICOD (1976) an und reduziere dabei die Inhalte auf die karstmorphologisch kartierbaren Formen, die durch Signaturen, Signaturenfelder und Signaturenkombinationen dargestellt sind.

#### Beilage 2: Gelöste Karbonate, Sulfate und Chloride in Oberflächen- und wasserwirtschaftlich erfaßten Wässern

Hier werden in Säulendiagrammen die gemittelten Ergebnisse der Analysen von Oberflächenwässern und die vorhandenen Daten von wasserwirtschaftlich genutzten Wässern dargestellt. Die Skalierung erfolgt linear in mg/l. Bei Überschreitung des Anteils von 1000 mg/l bzw. aus Darstellungstechnischen Gründen wurde die entsprechende Säule durchbrochen dargestellt. In ihrem oberen Teil ist dann der Absolutwert der ermittelten Substanz numerisch wiedergegeben. Die unterschiedlichen Substanzen werden zur besseren Unterscheidbarkeit farblich differenziert (Chlorid/grün, Sulfat/gelb und Karbonat/blau).

#### 4. Auslaugungsformen im Untersuchungsgebiet, regionale Analyse

Aufgrund der Größe, der geomorphologischen Vielfältigkeit, der geologischen Varianz und der hydrochemischen Verhältnisse wird das Untersuchungsgebiet zur Beschreibung der Auslaugungsphänomene in Teilabschnitte gleicher Charakteristik, bezogen auf geomorphologische und geologische Eigenschaften, untergliedert (Abb. 21, Beilage 2). Die Einflüsse der klimagenetisch gesteuerten Reliefentwicklung, die parallel zu den Auslaugungsvorgängen wirksam waren bzw. - nicht von diesen zu trennen sind, werden in Kap. 5 abgehandelt.

##### 4.1 Das Kleinalmeroder Becken

Nach WEILAND (1937/38) umfaßt diese Raumeinheit das Zechsteingebiet in der Nordwestummantelung des Unterwerra-Sattels, das nach KLINK (1969) auch Klein-Almeroder Hügelland genannt wird. Für die Untersuchungen wurden die Randbereiche bis zum Top des Buntsandsteins, repräsentiert durch den Warte-, Eller- und Rodeberg, im Nordosten den Wacholderkopf und Kühlestuhl im Nordwesten, sowie die Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins, den Steilabfall des

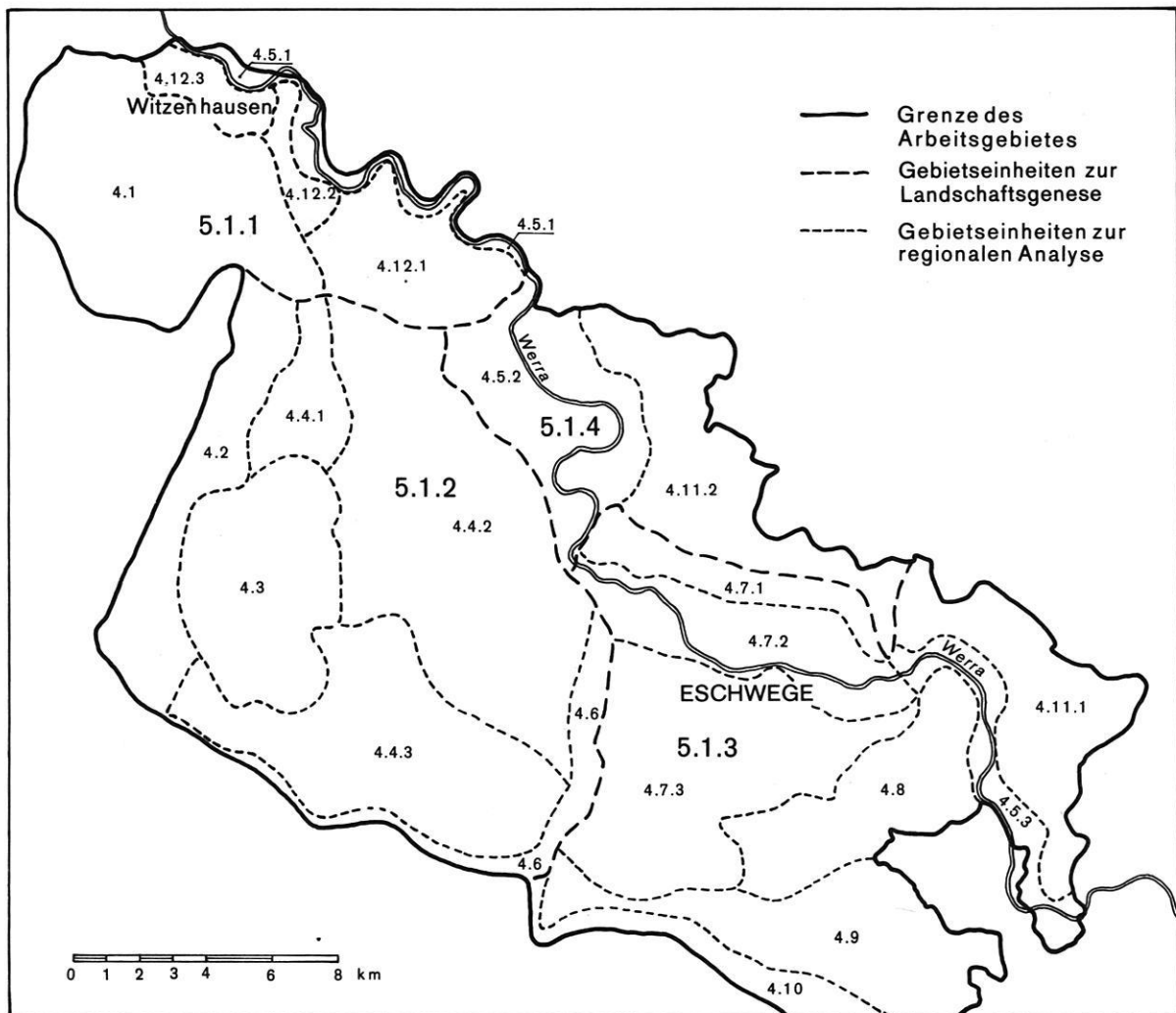


Abb. 21: Übersicht über die untergliederten Raumeinheiten.

Die Unterteilung des Untersuchungsgebietes, die sich aus arbeitstechnischen Gründen als notwendig erwies, wurde aufgrund struktureller sowie naturräumlicher Gegebenheiten durchgeführt. Die Legende zu dieser Abbildung befindet sich auf der gegenüberliegenden Seite.

Kaufunger Waldes im Südwesten mit in diese Einheit einbezogen. Erweitert wurde das Gebiet über das Gelstertal hinaus, an der Schichtgrenze des Mittleren Buntsandsteins entlang bis zum Roggenberg nach Süden, abknickend zum Wasserscheidenbereich zwischen Flachsbach/ Sehlenbach (R 356160/H 568425) und von dort in nördlicher Richtung über Behälterskopf, Klepperberg und Sulzberg zum Warteberg als der östlichen Grenze des Kleinalmeroder Beckens (vgl. Abb. 21).

Die Basisdistanz zur Werra beträgt im engeren Kleinalmeroder Bereich, der im Mittel bei 260 m NN liegt, ungefähr 130 m bei einer Horizontaldistanz von 4,0 bis 6,5 km. Die umgebenden Höhen der Nordostbegrenzung - die Vorberge - erreichen im Mittel 320 bis 340 m NN und nehmen um gut 80 m zum Beckeninneren hin ab. Im Südwesten steigt

der Kaufunger Wald auf Höhen von bis zu 642 m NN (Bilstein) an, was einer Basisdistanz zum Beckeninneren von ca. 380 m bei einer Horizontaldistanz von 4,5 bis 4,8 km entspricht. Der Teil des Kleinalmeroder Beckens, der zum Einzugsgebiet der Gelster gehört, steigt von Westen 60 bis 80 m relativer Höhe bei einer Horizontalerstreckung von ca. 1,0 km, von Osten aber zwischen 300 m (Roggenberg 507 m NN - Gelstertal bei Hundelshausen bei ca. 200 m NN) und 100 m relativer Höhe (Höhe 225,6 R 356033/H 568860) bei Längserstreckungen von unter 1 km. Durch diese unterschiedlichen Gefällsverhältnisse ist die geomorphologische Ausprägung wesentlich beeinflusst worden.

Das Becken zwischen Kleinalmerode und Dohrenbach weist infolge der geologischen Verhältnisse (vgl. Abb. 9) eine Vielzahl

## GEBIETSGLIEDERUNG

### Der Nordwesten des Unterwerra-Sattels zwischen Werra und der Landstufe des Kaufunger Waldes (5.1.1)

- Das Kleinalmeröder Becken (4.1)
- Die Nordostabdachung des Unterwerra-Sattels (4.12)
  - *Die Sattelflanke zwischen Ahrenberg und Flachsbach* (4.12.1)
  - *Die Abdachung des Unterwerra-Sattels zwischen Wendershausen und Witzenhausen* (4.12.2)
  - *Der Nordostabfall des Kleinalmeröder Beckens zwischen Witzenhausen und Ermschwerd* (4.12.3)
- Das Werratal zwischen Ermschwerd und Wendershausen (4.5.1)

### Der Westen des Unterwerra-Sattels bis in den Altmorschen-Lichtenauer Graben (5.1.2)

- Der Altmorschen-Lichtenauer Graben (4.2)
- Der Hohe Meißner (4.3)
- Das östliche Meißnervorland (4.4)
  - *Die Buntsandsteinbedeckung zwischen Frankenhain und Hilgershausen* (4.4.1)
  - *Der Zechsteinausstrich zwischen Hilgershausen und Niddawitzhausen* (4.4.2)
  - *Die Buntsandsteinbedeckung zwischen Reichensachsen, Rodebach und Küchen* (4.4.3)
- Das Wehretal (4.6)

### Der Südosten des Unterwerra-Sattels bis zu den umrahmenden $m_U$ -Stufen (5.1.3)

- Das Eschweger Becken (4.7)
  - *Die Buntsandsteinterrassen zwischen Frieda und Fürstenstein* (4.7.1)
  - *Die Werratalaue* (4.7.2)
  - *Die Fußflächenregion des Unteren Buntsandsteins* (4.7.3)
- Der Schlierbachswald (4.8)
- Die  $m_U$ -Schichtstufe zwischen Graburg und Trimberg (4.9)
- Der Abfall zum Netrtal (4.10)
- Das Werratal zwischen Frieda und Heldra (4.5.3)
  - *Der Schichtstufenabfall zwischen Karnberg-Keudelskuppe-Eichenberg* (4.11.1)

### Der Osten des Unterwerra-Sattels bis zu der $m_U$ -Stufe der Gobert (5.1.4)

- Die Talkessel der Gobert (4.11.2)
- Das Werratal zwischen Bad Sooden-Allendorf und Albungen (4.5.2)

Abb. 21: Legende.

von Auslaugungsformen auf. Der als Härtling herauspräparierte Plattendolomit ist gekennzeichnet durch die Höhenzüge: Auf der Warte, Sommers-Berg, Weißer Stein, durch die Erhebung des Pfaffen-Berges bzw. des Ameisenkopfes und die Höhen zwischen Kleinalmerode und Ellingerode. Er ist von einer Vielzahl von Einsturz- und Schwunddolinen umgeben, die in ihrer heutigen Ausprägung dem Gipskarst zugeordnet werden. Darüber hinaus treten Auslaugungsformen in regelloser Vergesellschaftung im ganzen Kleinalmeroder Becken auf. Besonders ausgeprägt sind sie in der Umgebung des Schluckloches am Verlorenen Bach nordwestlich des Sägewerkes von Roßbach (Abb. 22) und südwestlich Ellingerode sowie nordöstlich Kleinalmerode. In ihrer Ausdehnung erreichen sie bis zu 120 m Durchmesser bei Tiefen zwischen 2 und 11 m. Einige Einsturzdolinen in fortgeschrittenem Stadium erreichen bis zu 20 m Durchmesser bei Tiefen von bis zu 8 m. Ergänzt werden diese Formen durch längliche Bodensenkungen nordöstlich Hubenrode (R 355528-70/H 569026-72), südlich Kleinalmerode (R 355500-45/H 568840-60) und südlich der Warteberge (R 355805-85/H 568817). Letztere befindet sich im Zechstein 1 und ist auf die Gipsauslaugung des Werra-Anhydrit zurückzuführen, die übrigen sind durch Nachbrechen des hangenden Unteren Buntsandsteins infolge Gipsauslaugung des Hauptanhydrit (Zechstein 3) entstanden.

Die Umrahmung des Zechsteinausstriches ist gekennzeichnet durch Erdfälle und Bodensenkungen. Die Häufigkeit und die Erstreckung der Auslaugungserscheinungen ist an das Schichteinfallen der umgebenden Gesteinsserien gebunden. So fällt der Nordostrand des Kleinalmeröder Beckens nach WEILAND (1937/38:17) mit 30 bis 35° zur Werratal-Mulde ein (siehe auch HAFFER 1956:Anl. 4). Dementsprechend schmal sind die einzelnen Schichtausstriche; und damit sind auch die Bedingungen für das Auftreten von Auslaugungsformen reduziert. In einem schmalen Saum am Südhang der Warteberge sowie um die Hermannseiche finden sich schüsselförmige Erdfälle und Bodensenkungen, die zum Teil Nischencharakter haben. Sie sind alle an den Ausstrich des Unteren Buntsandstein gebunden und werden durch Mächtigkeitsschwund im Hauptanhydrit ausgelöst.

Im nordwestlichen Abtauchen der permischen Schichten finden sich in einer schmalen

Zone zwischen Hubenrode und dem Anstieg zum Wacholderkopf eine geringe Anzahl von Bodensenkungen, die auf Auslaugung des Hauptanhydrits zurückzuführen sind.

Hingegen ist die südwestliche Umrahmung des Kleinalmeröder Beckens durch eine Vielzahl von Erdfällen und Bodensenkungen geprägt, die bis zu einer Höhe von 380 m NN reichen. Kennzeichnend sind vermoorte, trichterförmige Erdfälle, wie südwestlich Haßhagen (R 355525 / H 568645, 370 m NN), deren ausgeprägteste eine elliptische Form von 55 m zu 88 m bei 8,5 m Tiefe erreicht. Alle dort auftretenden Erdfälle liegen in einem abgesenkten Areal von 120 m Durchmesser und sind ebenfalls vermoort. Ein ähnlich großes Areal schüsselförmiger Erdfälle liegt am Wolfsberg (R 355682 / H 568593, 350 m NN). Die Erdfälle verfügen hier über geringere Tiefe. Beide Areale gehören einer obersten Zone von Erdfällen an, die sowohl vereinzelt (R 355492/H 568717, 365 m NN), meistens aber in Erdfallgruppen isohypsenparallel aufgereiht auftreten. Sie sind Indizien für die rezente wirksame Gipsauslaugung der Werra-Serie.

Über den Kleinformenbereich hinaus treten im Kleinalmeroder Becken großräumige Auslaugungsbereiche auf (vgl. Beilage 1), die die Zechsteingliederung nachzeichnen. Diese Subrosionsstrukturen sind auf die Gipslösung des Zechstein 1 (Auslaugungsbereiche Dohrenbach, Ellingerode) bzw. Zechstein 2 und Zechstein 1 (Auslaugungsbereiche Roßbach und Kleinalmerode) zurückzuführen und heute noch mit zahlreichen Kleinformen vergesellschaftet. Inwieweit diese Mesoformen in ihrer Uranlage auf ausgelaugte Salze zurückgehen, kann nicht nachgewiesen werden.

Im Randbereich des Beckens, unterhalb der Schichtstufe (Achterstufe) des Mittleren Buntsandsteins zu, fallen oberhalb der beobachteten Erdfälle Mesoformen auf, die in solcher Form auch im Gefolge von Salzhängen im Werra-Kali-Gebiet beobachtet werden können. Es handelt sich um steile, wannenförmige Talschlüsse, die mit mehr oder weniger kesselförmigen Arealen vergesellschaftet sind, in denen sich die Wässer der Talschlüsse sammeln und dem Kleinalmeroder Becken zustreben. Diese Areale setzen entweder mit Beginn des Mittleren Buntsandsteins südwestlich Fahrenbach (Abb. 23) und

südwestlich Roßbach ein oder reichen südwestlich Kleinalmerode und südwestlich Oberroßbach direkt bis an die Schichtstufe des Kaufunger Waldes heran. Sie sind heute

strukturell geprägt, gehen in ihrer Anlage aber auf die um sich greifende Salzauslaugung zurück, die zu einem Nachsacken des Unteren Buntsandsteins über ausgeaugten

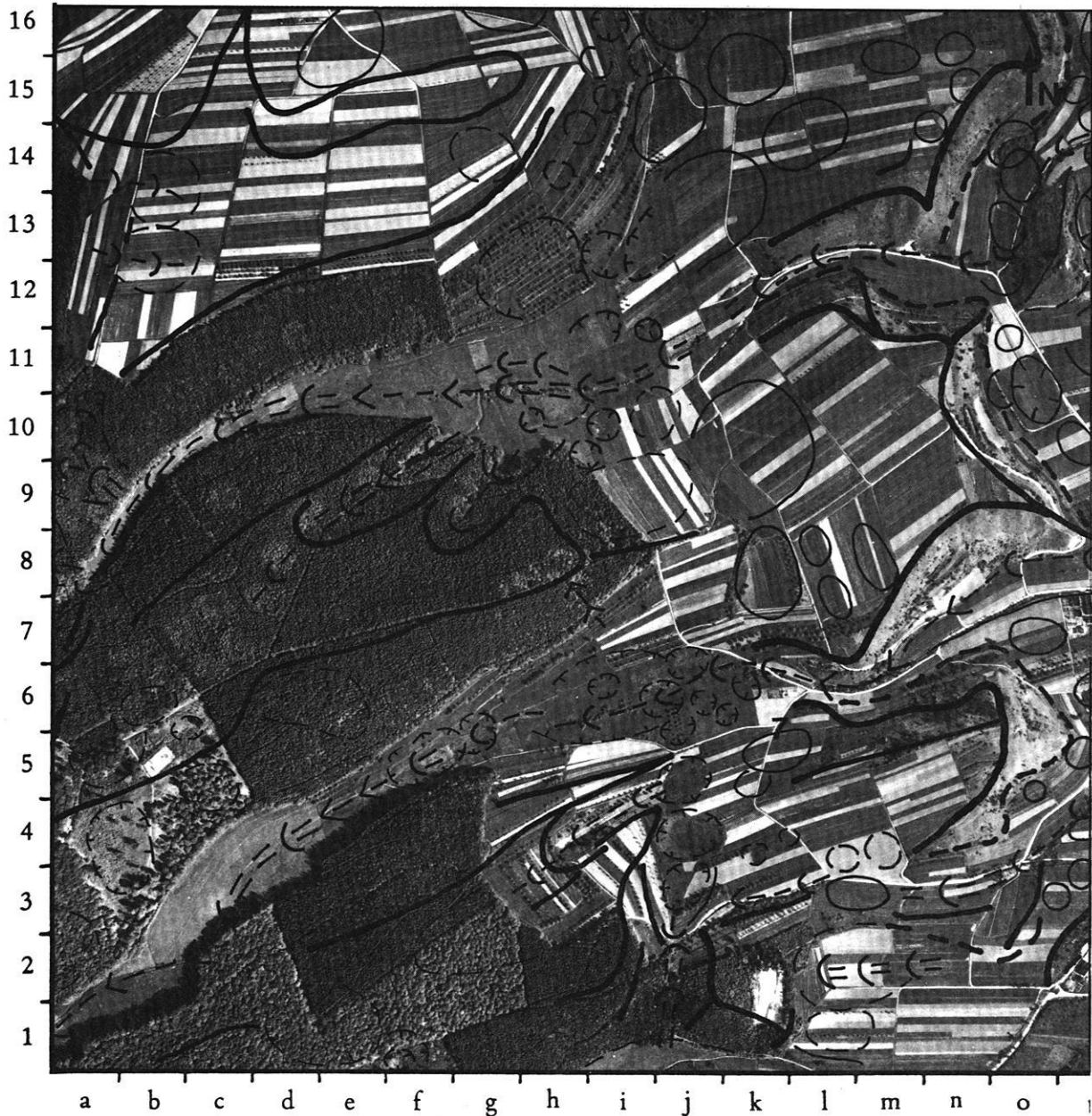


Abb. 22: Auslaugungsformen westlich der Ortschaft Roßbach.  
 (Luftbild freigegeben unter Pk 1371/ 59 durch Reg. Präsident in Münster/Westf.,  
 Bildmaßstab ca. 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Von Osten nach Westen zeigt sich hier der Übergang vom Zechstein in den Buntsandstein. Die west-östlich ausgerichtete Zertalung (a-o/1-12), die senkrecht auf der Sattelachse steht, wird von Wölbungslinien, die im östlichen Bildbereich ebenfalls nord-süd ausgerichtet sind, begleitet (m-o/1-16). Die Wölbungen zeichnen den geomorphologisch wirksamen Zechstein nach. Sowohl die Areale im Zechstein wie auch diejenigen im Unteren Buntsandstein sind durch eine Vielzahl von Auslaugungsphänomenen gegliedert.

Zechsteinschichten geführt hat. Sie sind durch pleistozäne Einflüsse deutlich überarbeitet worden. Die Talkessel sind durch steil ansteigende Talschlüsse (größer als 25°) gekennzeichnet, in deren Zentrum meist ein Rücken des Unteren Buntsandstein mäßig steil einfällt (kleiner als 15°).

Aus diesen Beobachtungen läßt sich eine vorläufige chronologische Reihenfolge der Reliefentwicklung ableiten (vgl. 5.1.1):

1. Aufstieg des Unterwerra-Sattels,
2. parallel dazu Einsetzen der Abtragung und Beginn der Auslaugung,
3. um sich greifende Salzauslaugung, die gegen die Schichtstufe des Kaufunger Waldes wandert; Bildung des Salzhanges, Zerbrechen des Mittleren / Unteren Buntsandsteins über der Auslaugungsfront, Bildung der Talkessel,
4. Anhydritumwandlung und Gipsauslaugung in den Zechsteinserien, Nachbrechen des Hangenden im Ausstrichbereich der auflagernden Serien, Bildung der großräumigen Auslaugungsbereiche,
5. Oberprägung der Auslaugungsbereiche und ihrer Randlagen durch submontane Gipslösung, Entstehung der beschriebenen Dolinen und Erdfälle; letztere bilden sich bis zur Grenze der zerstörten Struktur des Unteren Buntsandstein in 380 m NN aus; legt man den Buntsandsteinausstrich am Anstieg zum Kaufunger Wald bei ca. 280 m NN zugrunde, so durchschlagen die Erdfälle wenigstens 100 m mächtige Buntsandsteinschichten.

Der östliche Teil - jenseits der Gelster - ist durch besondere Bedingungen geprägt. Einerseits wirkt sich die Basisdistanzvarianz bei geringer Horizontalausdehnung aus. Andererseits sind es die geologischen Verhältnisse hier im Randbereich des Altmorschen-Lichtenauer-Grabens / Unterwerra-Sattels, die besonderen Einfluß auf die Reliefgestaltung haben. Das Einfallen der Zechsteinschichten, hier an der Südwestflanke des Unterwerra-Sattels, beträgt ca. 15° (FAUPEL 1971:25). Die Zechsteinschichten sind komplett ausgebildet, einschließlich der mehr als 80 m mächtigen Gipse des Zechstein 1, die bei Hundelshausen anstehen.

Dementsprechend sind die geomorphographischen Verhältnisse geprägt. So finden sich

südlich des Gelsterhofes eine Reihe von Dolinen, die auf die Gipsauslaugung des Basalanhydrits zurückzuführen sind. Südlich davon, den Schmachteberg hinaufziehend, belegt eine Dolinenreihe die Lösungsfähigkeit des Werraanhydrits. Weiter südlich sind die Hochflächen um den Ellerstein (R 356026 / H 568551) ebenfalls durch eine Vielzahl von Karstformen gekennzeichnet, und im Anschluß daran tritt der großräumige Auslaugungsbereich von Rückerode auf (R 3560-61 / H 568435-8556), der durch Einsturz- und Schwunddolinen bzw. durch Erdfälle (kessel-, trichter- und schüsselförmige) im Unteren Buntsandstein gekennzeichnet ist. Alle diese Formen gehen auf die Auslaugung des umgewandelten Werra-Anhydrits zurück.

Letztgenannter ist in den Gipsbrüchen bei Hundelshausen aufgeschlossen. An sie schließt sich nach Osten und Südosten ein weit fortgeschrittenes Gipskarstgebiet an. Es ist durch Einsturzdolinen in vielfältiger Verzweigung mit Tiefen über 20 m gekennzeichnet, die zu regelrechten Kesselfeldern zwischen dem Gipsbruch und dem Alten Gericht (R 356079/ H 568451) zusammenwachsen. Das Muldental zwischen dem Gipsbruch und dem Gut Rückerode ist gegliedert durch Schwunddolinen von über 150 m Durchmesser und relativen Tiefen von bis zu 8 m. Hin zum Gut Rückerode finden sich Auslaugungsformen des Gipskarstes in großer Vielfalt und Ausdehnung, so daß lediglich die umgebenden Wölbungslinien mit radial verlaufenden Riedeln zur Abgrenzung dieser Großform herangezogen werden können (GMK 25:17). Das Gut Rückerode selbst liegt ebenfalls in einer solchen Auslaugungsform. Weiter nach Osten finden sich trichterförmige Erdfälle, die diesen großräumigen Auslaugungsbereich begrenzen.

Südlich findet sich zwischen dem Alten Gericht und dem zur Abgrenzung dieser Einheit genutzten Wasserscheidenbereich zwischen Flachsbach und Sehlenbach der Bereich einer Karstlandschaft vom Typ "bedeckter Karst" (Abb. 24). Der Untere Buntsandstein ist hier infolge der Auslaugung des Zechstein-1-Gipses im Untergrund durch eine Vielzahl von aktiven Erdfällen gegliedert. Kesselförmige Formen wechseln mit trichterförmigen Erdfällen ab. Die Subrosionerscheinungen sind abhängig von der Stand-

festigkeit des hier stark zerrütteten Unteren Buntsandsteins, der sich in der unmittelbaren Nachbarschaft der Grauwacke befindet - ca. 50 m Horizontaldistanz, die durch den Bröckelschiefer eingenommen werden. Die Tageswässer des Roggenberges und seiner östlichen Hänge können so den unterlagernden Gips auslaugen. Die Erdfallformen, die bis in eine Höhe von 440 m NN rei-

chen, haben Durchmesser zwischen 2 und 150m bei Tiefen von 3 bis 35 m. Die durch dieses Gebiet führende Landstraße von Hilgershausen nach Rückerode sackt ständig nach. Inwieweit dieses Areal durch Salzauslaugung in Richtung Westen vorbelastet ist, kann aus der geomorphographischen Situation nicht abgeleitet werden. Vom Standort Ellenstein fallen nach Süden hin zwei extrem



Abb. 23: Geomorphographische Elemente zur Salzhangausweisung am Beispiel des Dohrenbachtals. (Luftbild freigegeben unter 774 / 75 durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca. 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Der nördlich gelegene Talzug (b 11-1 14) stellt das obere Dohrenbachtal, der südliche (c 4 - o 11) das Fahrenbachtal dar. Beide haben ihre Talschlüsse an der Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins. Sie sind durch die umlaufenden Wölbungen und ihren steilen, wannenförmigen Charakter gekennzeichnet. Subrosionserscheinungen in Form von Auslaugungs- und Bodensenkungen zeigen die heute noch aktiven Prozesse an (e-1/9-14). In der Bildmitte ist das Gut Fahrenbach (i8), am südöstlichen Bildrand (h 1 - o 9) die südliche Grabenschulter des Altmorschen-Lichtenauer Grabens zu erkennen.



steile Talschlüsse auf (Neigungen größer als 30°), deren Obersteilung durch Salzauslaugung oder durch die gegen den Roggenberg wandernde Subrosion des Werra-Anhydrits verursacht sein kann. Die Vorstellung von partiellen Gipsanschwellungen im Randbereich des Zechsteinmeeres und deren heutige Auslaugung könnten diese Deutung untermauern (vgl. 2.2.2).

Die hydrochemischen Werte dieses Gebietes sind in Kap. 7.1 und 7.2 dargestellt. Die extrem starke Auslaugung im zuletzt beschriebenen Gelände, das dem Flachsbach tributär ist, spiegelt sich im Sulfatgehalt des nördlichen Zuflusses (Probe O 4625/7) nur bedingt wieder. Dieser Zufluß kommt aus dem Tal von Rückerode, er enthält 152 mg/l Sulfat. Der südliche Abfluß (Probe O 4625/8) erreicht hingegen 1278 mg/l SO<sub>4</sub> und hat fast die dreifache Leitfähigkeit (680/1828 µS). Die Ursache für diese unterschiedliche Mineralisation der Oberflächenwässer ist im Schichteinfallen in Richtung auf das Gelstertal zu sehen. Der neue Hochbehälter von Hundelshausen (W 4725/1) weist dagegen lediglich eine Leitfähigkeit von 161 µS bei einem Sulfatgehalt von 48,5 mg/l auf, was zeigt, daß der Einzugsbereich der gefaßten Quellen den Zechstein

nicht erreicht und daß die versalzten Wässer im tieferen Untergrund dem Gelstertal tributär sind.

Der Kern des Kleinalmeroder Beckens weist im Bereich wasserwirtschaftlich gefaßter Wässer Sulfat-/Chloridgehalte zwischen 51/8 und 218/152 mg/l bei Leitfähigkeiten von 320 bis 856 µS auf. Die Werte sind vergleichbar denen der Oberflächenwässer, die von 78/19 bis 135/26 mg/l reichen und Leitfähigkeiten von 205 bis 426 µS besitzen (Tab. 9, Beil. 2). Die höchsten Werte auf der Chloridseite wurden am Beckenausgang bei Ermschwerd (Probe O 4624/6) und nordöstlich Ellingerode (Probe O 4624/7) ermittelt. Es handelt sich in beiden Fällen um anthropogen belastete Gewässer. Der Sulfatgehalt ist in beiden Wässern mit 275 und 135 mg/l relativ gering. Die hydrochemischen Werte zeigen, daß im Beckenbereich durch die Analyse von wasserwirtschaftlich genutzten Wässern und Oberflächenwässern keine aktiven Auslaugungsprozesse nachzuweisen sind. Es ist anzunehmen, daß die gelösten Substanzen, und zwar vor allem die Sulfate, mit den Tageswässern in den tieferen Untergrund abgeführt werden und bei der Untersuchung nicht erfaßt worden sind.

Tab. 9: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Kleinalmeroder Becken.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf<br>(µs/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|------------|-----------|----------|--------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
|            | R         | / H      |              |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| O 4624/ 1  | 355637    | / 568681 | 10.84 - 9.86 | 5 | 205          | 8,1        | 3,0        | 5,1         | 53,7                        | 124,1                                   | 19,4                      |
| O 4624/-2  | 355586    | / 568722 | 10.84 - 9.86 | 5 | 285          | 7,9        | 4,7        | 3,2         | 84,5                        | 77,6                                    | 19,6                      |
| O 4624/ 3  | 355557    | / 568767 | 7.84 - 9.86  | 6 | 269          | 8,0        | 4,6        | 3,4         | 81,7                        | 82,8                                    | 20,4                      |
| O 4624/ 4  | 355443    | / 568939 | 10.84 - 9.86 | 5 | 253          | 5,9        | 3,2        | 2,7         | 57,3                        | 66,4                                    | 18,6                      |
| O 4624/ 5  | 355422    | / 569000 | 7.84 - 9.86  | 6 | 355          | 10,5       | 6,5        | 4,0         | 116,1                       | 96,6                                    | 21,4                      |
| O 4624/ 7  | 355755    | / 568982 | 7.84 - 9.86  | 6 | 426          | 10,8       | 5,2        | 5,6         | 92,5                        | 134,5                                   | 25,8                      |
| W 4624/ 4  | 355320    | / 568946 | 3.84         | 1 | -            | 3,9        | 1,4        | 2,5         | 25,1                        | 60,6                                    | 7,7                       |
| W 4624/ 5  | 355378    | / 568788 | 5.80 - 5.81  | 2 | -            | 3,9        | 1,8        | 2,1         | 32,2                        | 50,9                                    | 10,6                      |
| W 4624/ 6  | 355749    | / 568738 | 5.79 - 5.82  | 4 | 320          | 13,1       | 9,3        | 3,8         | 166,8                       | 92,1                                    | 20,4                      |
| W 4625/ 5  | 355871    | / 568765 | 5.82 - 5.84  | 2 | 856          | 22,0       | 13,0       | 9,0         | 232,7                       | 218,2                                   | 151,5                     |
| W 4625/ 6  | 355912    | / 568765 | 5.82 - 5.84  | 3 | 528          | 18,5       | 11,6       | 6,9         | 207,6                       | 167,3                                   | 110,4                     |
| W 4625/ 7  | 356407    | / 568651 | 5.81 - 8.83  | 3 | 524          | 21,7       | 15,4       | 6,3         | 275,7                       | 152,7                                   | 83,4                      |

#### 4.2 Der Altmorschen-Lichtenauer Graben

Die Grenze des Untersuchungsgebietes verläuft im Westen in der Tiefenlinie des Altmorschen-Lichtenauer Grabens. So wird dieses Gebiet durch die Gelster und den Laudnbach zwischen Hundelshausen und der Wasserscheide zwischen Laudnbach und Velmeden sowie durch den Verlauf der Velmede und der Wehre zwischen dem Wasserscheidenbereich und Küchen begrenzt (vgl. Abb. 21, Beil. 2). Geologisch gehört dieser Bereich zu den Einflußzonen der saxonischen Tektonik (vgl. 2.2.2.2). Im Tiefsten des Grabens

liegt der Keuper (Mittlerer und Unterer Keuper), während an den Flanken Muschelkalkschichten ausstreichen, die bis zu 30° einfallen. Sie bilden Schichtstufen und Schichtkämme. Darüber hinaus tritt im Süden und Norden dieser Einheit der Mittlere Buntsandstein als Stufenbildner hervor (Roggenberg, Schwiemelstein, Krückenkopf im Norden, Kesselberg, Steinberg im Süden).

Auf Subrosion deutende Hinweise finden sich im Mittleren Muschelkalk, der weite Ausraumzonen aufweist (z.B. im Tal der Gemeinde Weißenbach, in der Talung zwischen

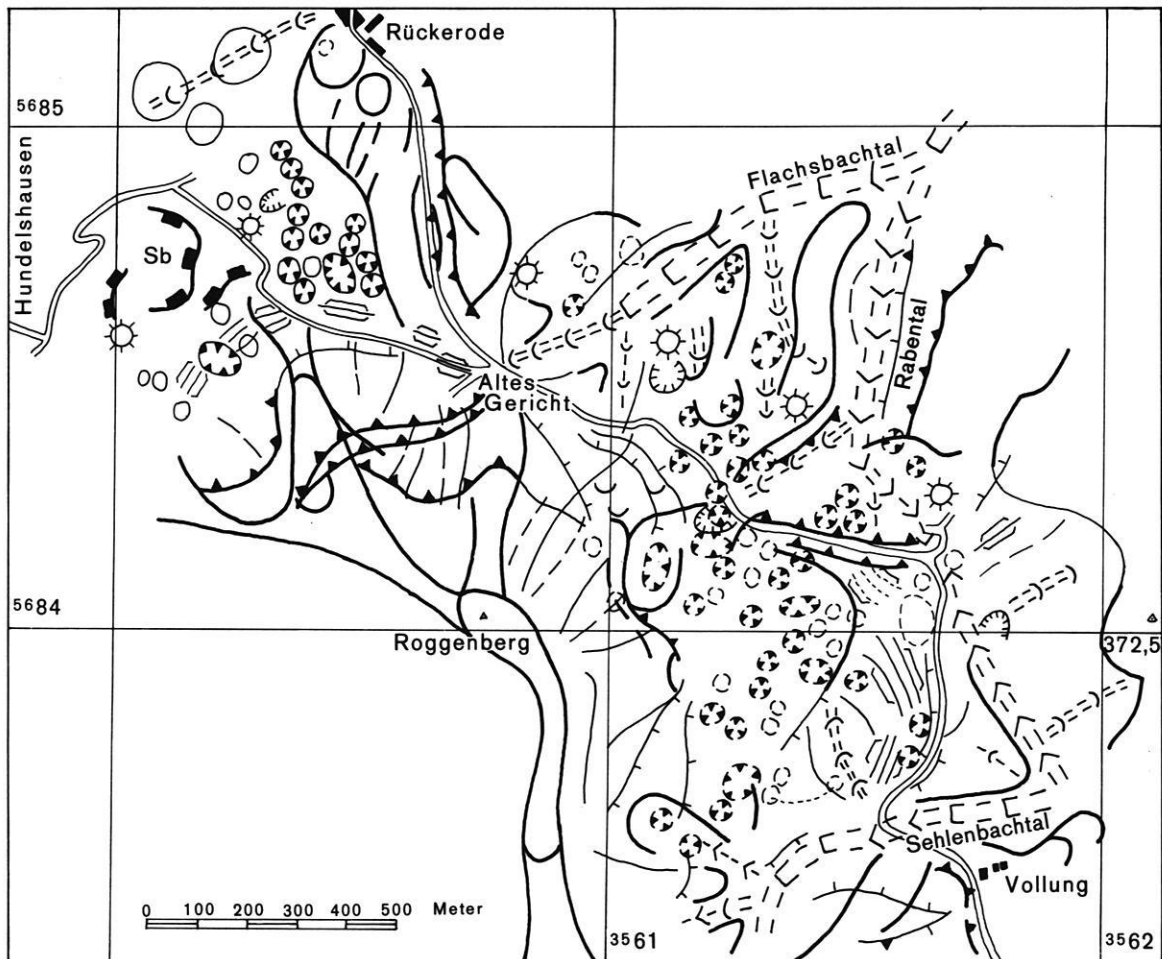


Abb. 24: Einsturzdolinen- und Erdfallfelder in der südlichen Umgebung der Domäne Rückeroede.

Auf der Grundlage der Feldbücher zur GMK 25: 17 sind hier die Dolinen- und Erdfallfelder in Korrespondenz zu anderen geomorphographischen Elementen dargestellt. Auffällig ist, daß der Zertalungsgrad in den weniger durch Auslaugung beeinflussten Gebieten höher ist als in denjenigen Gebieten, in denen der Oberflächenabfluß direkt in den zerrütteten Untergrund abgeführt wird.

In Abweichung zu den in Abb. 18 erklärten Signaturen ist in dieser Abbildung sowohl die Wölbungsliniendarstellung als auch die Stufen- und Kantendarstellung stärker differenziert. Wölbungslinien treten in 2 Klassen, Stufen und Kanten differenziert nach Höhe und Basisbreite auf (vgl. LESER & STÄBLEIN 1975 ff).

Steinberg, Langer Steinberg und Meinetsberg sowie am Steinberg bei Hausen). Das Weißenbacher Tal zeigt die geomorphologische Wirksamkeit der Gipsauslaugung im Mittleren Muschelkalk (Abb. 25). Sie wurde verstärkt durch die Anlage des Bransröder Stollens 1696 bzw. des Wilhelmshäuser Stollens 1792 und der damit verbundenen künstlichen Entwässerung des Abbaubereiches durch das Weißenbacher Tal. Seit der Fassung der Grubenwässer hat die Auslaugung, die sich in Dolinen aller Art und Größe widerspiegelt, nachgelassen. In ihrer Uranlage wird die Weißenbacher Talung nicht durch Auslaugung allein, sondern durch Ausraum unter periglazial-fluvialen Bedingungen erklärt. Die Auslaugung hat, verstärkt durch die künstliche Wasserzufuhr, das primär eiszeitlich geprägte Relief umgestaltet.

Die Auslaugungsphänomene des Mittleren Muschelkalkes beschränken sich nicht nur auf diese Schicht, sondern pausen sich auch in den Oberen Muschelkalk (Trochitenkalk des Heiligenberges) durch. Sie setzen sich mit dem Einfallen der Muschelkalkschichten (25 - 30°) auf den Altmorschen-Lichtenauer Graben zu fort. Geomorphologisch eindeutiges Indiz hierfür ist die Doline westlich des Heiligenberges (R 355895 / H 567870).

Darüber hinaus zeigen die geomorphographischen Merkmale des Meißnerwesthanges, daß sich Auslaugungsphänomene auch mit großräumigen Auslaugungsbereichen bis in das Grabentiefste fortsetzen. Zu nennen wären die Areale östlich Uengsterode, östlich der Käsemühle und südlich Laudenbach im Wasserscheidenbereich. Charakteristisch für diese Formkomplexe ist der unvermittelte Abriß des Mittleren Keupers (KUPFAHL et al. 1979) gegen den Stufenrückhang des Oberen Muschelkalkes mit kurzen, steilen wannenförmigen Talschlüssen sowie die ausgeprägt auftretenden Quellhorizonte auf dem undurchlässigen Keuper, die insgesamt ein Einsinken des Keupers vermuten lassen. Nicht beurteilt werden kann, welche Schicht im Untergrund ausgelaugt worden ist. Vom Zechstein bis zum Gipskeuper kommen hier alle salz- bzw. sulfatführenden stratigraphischen Einheiten in Frage (vgl. Tab. 4).

Eine Beurteilung der Genese des Altmorschen-Lichtenauer Grabens allein aufgrund der geomorphologischen Befunde ist nicht mög-

lich. Während GARLEFF (1985:49) kleinräumige, tektonische Absenkung für den Raum Großalmerode und subrosiv bedingte Absenkung für den Raum Fürstenhagen angibt (vgl. HIEKE & RITZKOWSKI 1968:194 ff), sieht z.B. BROSIUS (1957:130) den Grabenknoten von Hessisch-Lichtenau als durchaus durch Salzauslaugung beeinflusst an, da er der saxonischen Tektonik nicht so mächtige Sprunghöhen - für seinen Bereich 370 m - zuordnet. Die Verknüpfung der kartierten Formen und Auslaugungsbereiche mit den in Kap. 1.3 aufgezeigten Randbedingungen für die Entstehung von Auslaugungsformen läßt die in Kap. 4.3 erwähnte These der innerhalb eines tektonischen Gitters irregulär wirkenden Auslaugung (ELLENBERG 1982:67) auch für diesen Gebietsabschnitt als zutreffend erscheinen.

Die Gewässeranalyse dieses Areals erbrachte analog zu den ebenfalls durch Muschelkalk beeinflussten Analysen im Gobertbereich (vgl. 4.11.2) erhöhte Carbonatwerte (Tab. 10). Die Sulfatwerte liegen hier, mangels Kontakt zu den Schichten des Rötts, deutlich niedriger als an der Gobert. Die Chloridwerte bleiben generell unter 50 mg/l. Eine Ausnahme bezüglich der Sulfatwerte bildet der Abfluß aus dem Bransröder Gebiet (O 4725/14). Er weist einen Sulfatgehalt von 1097 mg/l auf, der auf den Kontakt zur Braunkohle bzw. zu den Gipsen des Röt und des Mittleren Muschelkalkes zurückzuführen ist. Sein Einzugsgebiet berührt alle drei Schichtpakete.

#### 4.3 Der Hohe Meißner

Die Abgrenzung des Hohen Meißners, dessen Hochfläche durch das Basaltplateau gebildet wird, erfolgte unter Einbeziehung der Gehänge (vgl. Abb. 21, Beil. 2). Der Steilanstieg des Meißners am Osthang bildet die Grenze zum östlichen Meißnervorland. Westlich der Ortschaft Frankenhain setzt die Gebietsabgrenzung nach Norden ein, wobei sowohl die Bergwiesen als auch die Talschlüsse von Ottersbach und Dudenbach mit erfaßt sind. Nördlich der Baumbachsquelle verläuft die Grenze im Dudenbachtal, quert den Sattel zwischen Bransrode und Heiligenberg, verläuft im Taltiefsten fast bis zur Straße Weißenbach-Laudenbach und knickt

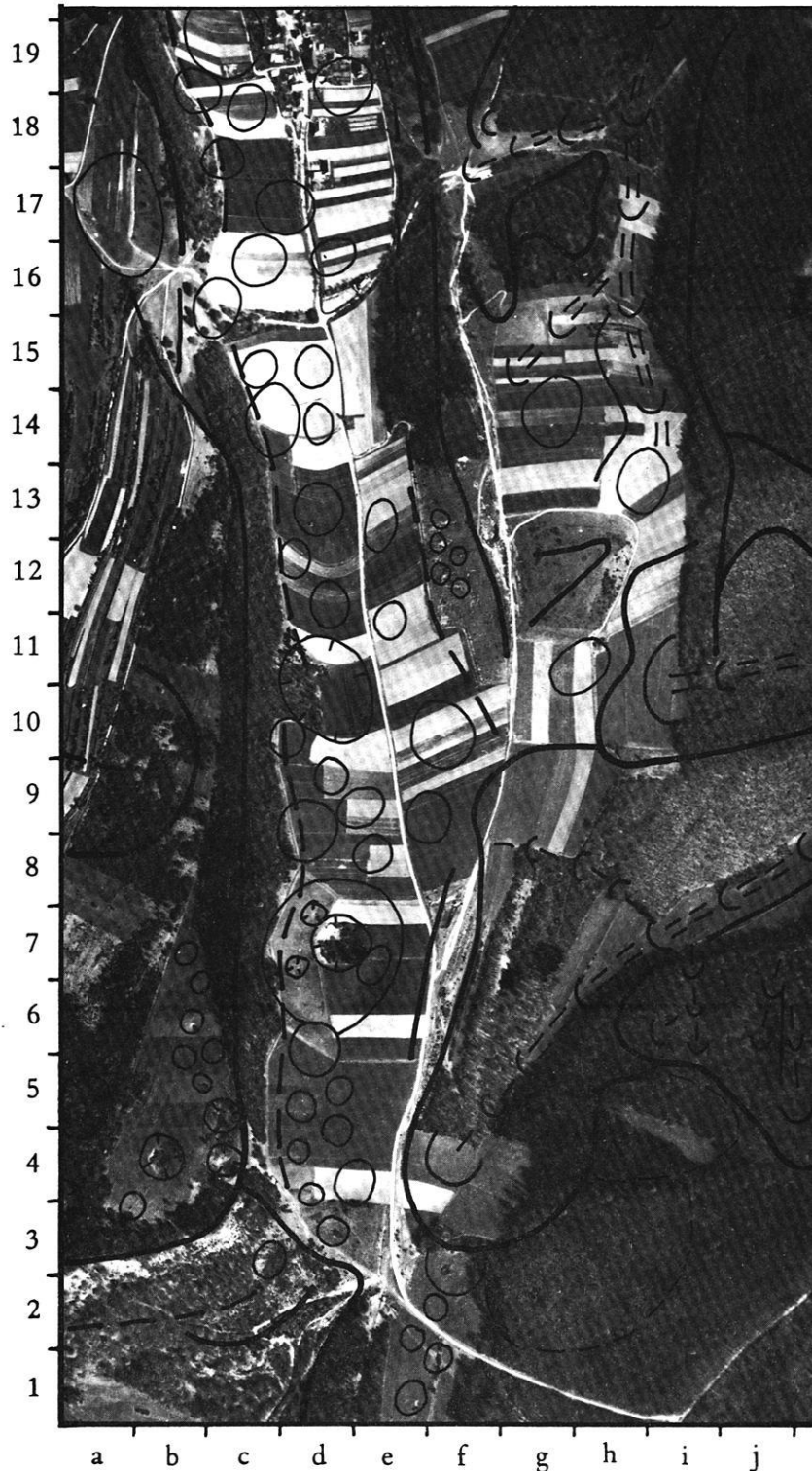


Abb. 25: Dolinen im Tal von Weißenbach.  
 (Luftbild freigegeben unter Pk 1371/ 59 durch Reg. Präsident in Münster/Westf.,  
 Bildmaßstab ca. 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Das Luftbild zeigt das süd-nord verlaufende Tal von Weißenbach (d/e 4 - cd 19), das durch eine Vielzahl von Subrosionserscheinungen geprägt ist. Sie gehen auf die Gipslager im Mittleren Muschelkalk zurück. Der westliche Bildrand, westlich der durchlaufenden Wölbungslinie (a 3 - b 19) wird durch den Oberen Muschelkalk eingenommen. Auch hier pausen sich die Auslaugungserscheinungen des Mittleren Muschelkalkes durch (a-c/3-7). Östlich des Weißenbacher Tales läßt sich die nord-süd streichende Abfolge: Unterer Muschelkalk (Bühlichen, g-h 12) - Röt (Ausraumzone h-i/9-17) - Mittlerer Buntsandstein (Stufenbildner unter Wald i11 - j19) verfolgen.

dort nach Süden unter Einbeziehung des Laudnbacher Hohls um. Ober die Heilstätte hinaus, südlich der Ortschaft Hausen, knickt die Gebietsgrenze nach Südosten ab. Der Talschluß des Weißbachs und die Rottwiesen werden in diese Einheit mit einbezogen. Nach Süden liegt die Gebietsgrenze zu dem in Kap. 4.4.3 beschriebenen Areal im Verlauf des Rodebaches. Östlich der Ortschaft Rodebach setzt die Ostgrenze des Hohen Meißners ein. Sie liegt auf der Linie Rodebach - Lausebuche.

Ausgehend von der geologischen Grundaufnahme MOESTAS (1886 d) und den dazugehörigen Erläuterungen BEYSCHLAGS (1886 d) erstellte UTHEMANN (1892) eine Arbeit, in der er sich u.a. mit der Braunkohlelagerstätte des Meißners befaßte. Weder in den genannten Arbeiten noch in der hydrogeologischen Betrachtung des Meißners durch KEILHACK (1912) finden sich Hinweise auf subrosive Erscheinungen. Allgemein folgte man zur Meißnerentstehung, der Vorstellung von DAVIS & BRAUN die von KUNZE (1914:86) bis DONGUS (1980:157), aufgegriffen wurde (Abb. 26). Eine Neubearbeitung der geologi-

schen Situation unter der Leitung von JACOB SHAGEN, KUHNERT, RÜSING & WYCISK erfolgte durch BALDSZUHN-STRAKA et al. (1985). Die Auswertung dieser Arbeit ist in Teilen abgeschlossen. Hier wird erstmalig in der geologischen Erforschungsgeschichte der Einfluß der Auslaugung aufgezeigt und diskutiert. Es ist vor allen KERSTEN (1986), die anhand vorliegender Bohrergebnisse nachweist, daß die Mulden unterhalb des Basaltes auf Auslaugung im tieferen Untergrund zurückzuführen sind. Schichtlagerungsmessungen, wiederum von KERSTEN (1986), aber auch von HARLING (1986), runden die Ergebnisse ab, die für Auslaugung sprechen. Darüber hinaus wird der "Subrosion in diesem Bereich, entlang einer im Streichen des Altmorschen-Lichtenauer Grabens liegenden Verwerfung im paläozoischen Untergrund" (HARLING 1976:66) eine wichtige Rolle bei der Gestaltung des präbasaltischen Untergrundes beigemessen.

Über subrosive Vorgänge sind im Rahmen der wissenschaftlichen Bearbeitungen des Meißnergebietes, abgesehen von den Erdfällen und Dolinen im Röt (PFLANZL 1953:

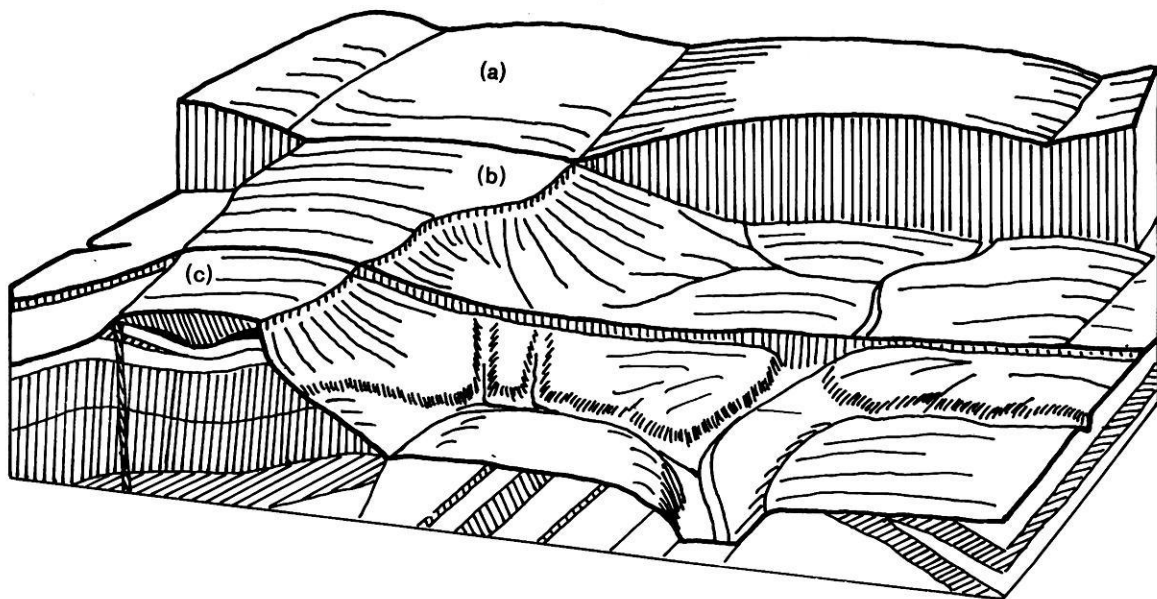


Abb. 26: Der Hohe Meißner - Reliefgenese nach der Vorstellung von DAVIS & BROWN (aus KUNZE 1914:86).

Das Blockbild gibt neben einem Einblick in die geologischen Verhältnisse einen Überblick über 3 Reliefentwicklungsphasen:

- (a) das basaltische Reliefstadium, ein Muldenrelief, in das der Basalt intrudieren konnte,
- (b) ein postbasaltisches, wohl mittelpleistozänes Reliefstadium, mit schon herauspräpariertem Meißner und
- (c) das holozäne Reliefstadium mit abgeschlossener Talbildung.

236ff), und der jetzt vorliegenden Neukartierung (BALDZUHN-STRAKA et al. 1985) keine Anregungen zu finden. Ausgehend von den neuen geologischen Arbeiten und der geomorphologischen Detailaufnahme und der daraus resultierende Interpretation der Reliefgenese (MÜLLER 1982) kam erstmalig - bezogen auf den Meißnersockel - die Auslaugung des Zechsteins mit großräumigen Auslaugungsbereichen durch MÜLLER (1985) in die Diskussion. Sie wird hier vertieft und in einen großräumigen Zusammenhang gesetzt, der über den von STÄBLEIN & MÜLLER (1986) publizierten Beitrag, der sich auf das östliche Meißnervorland und den Meißner bezog, hinausgeht.

Die Gewässerbetrachtungen - Oberflächengewässer wie auch wasserwirtschaftlich genutzte Gewässer - liefern keine eindeutigen Informationen zur Auslaugung, da hohe Sulfatwerte auch im Kontakt zur Braunkohle entstehen können (Tab. 11). Festzustellen ist aber, daß im Überblick die Werte für

Carbonat, Sulfat und Chlorid am Meißner deutlich niedriger sind als im übrigen Untersuchungsgebiet (Beil. 2).

Die im östlichen Meißnervorland beschriebenen Klein- bis Mittelformen der Subrosion reichen, wie am Beispiel der Kaltwassertalung (R 356140 / H 567428) gezeigt wird, bis an den Steilanstieg des Hohen Meißners (vgl. 4.4.2). Sie liegen entweder direkt im Unteren Buntsandstein (Salmünster) oder in den durch Basaltbrocken und Buntsandsteinschutt geprägten Solifluktsdecken (GMK 25:17) und werden auf Gipsauslaugung des Zechstein zurückgeführt. Sie sind Indiz für heute noch nach Westen fortschreitende Auslaugung, die langfristig großräumige Auslaugungsbereiche schafft. Bemerkenswert ist, daß diese Subrosionsformen im östlichen Meißnervorland und am Meißner eine Aufreihung dieser Gebiete ermöglichen, die an den großen tektonischen Leitlinien und ihren Resultierenden (z.B. Richtung des Netragrabens) ausgerichtet ist (Abb. 27).

Tab. 10: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Altmorschen-Lichtenauer-Graben und seiner östlichen Flanke.

| Proben-<br>Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf<br>(µs/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|----------------|-----------|----------|--------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
|                | R         | H        |              |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| 0 4724/ 2      | 355691    | / 567690 | 10.84 - 9.86 | 5 | 347          | 8,8        | 4,6        | 4,2         | 81,6                        | 101,8                                   | 17,0                      |
| 0 4724/ 3      | 355605    | / 567603 | 10.84 - 9.86 | 5 | 494          | 16,3       | 11,8       | 4,5         | 211,9                       | 108,6                                   | 12,0                      |
| 0 4724/ 5      | 355707    | / 567438 | 10.84 - 9.86 | 5 | 182          | 5,7        | 2,1        | 3,6         | 38,1                        | 87,3                                    | 13,0                      |
| 0 4724/ 6      | 355541    | / 567463 | 10.84 - 9.86 | 5 | 532          | 16,0       | 12,2       | 3,8         | 219,1                       | 92,6                                    | 13,0                      |
| 0 4724/ 7      | 355744    | / 567875 | 9.85 - 9.86  | 3 | 550          | 17,4       | 9,9        | 7,5         | 178,4                       | 181,0                                   | 16,3                      |
| 0 4724/ 8      | 355717    | / 567852 | 9.85 - 9.86  | 3 | 621          | 18,3       | 11,2       | 7,1         | 201,1                       | 172,1                                   | 22,0                      |
| 0 4725/13      | 355942    | / 567847 | 7.84 - 9.86  | 6 | 543          | 12,8       | 7,7        | 5,1         | 137,3                       | 123,6                                   | 19,2                      |
| 0 4725/14      | 355835    | / 567863 | 7.84 - 9.86  | 6 | 1677         | 54,3       | 9,0        | 45,3        | 161,7                       | 1097,0                                  | 16,6                      |
| 0 4725/15      | 355925    | / 568070 | 7.84 - 9.86  | 6 | 948          | 25,5       | 8,9        | 16,6        | 159,0                       | 402,0                                   | 15,6                      |
| 0 4725/16      | 355931    | / 568268 | 8.84 - 9.86  | 5 | 447          | 12,3       | 9,0        | 3,3         | 160,4                       | 79,5                                    | 17,2                      |
| 0 4824/ 3      | 355677    | / 567392 | 10.84 - 9.86 | 5 | 316          | 7,9        | 2,5        | 5,4         | 44,8                        | 131,9                                   | 28,6                      |
| W 4724/ 1      | 355802    | / 568125 | 6.81 - 5.83  | 3 | 157          | 5,6        | 3,5        | 2,1         | 62,7                        | 50,9                                    | 5,9                       |
| W 4724/ 2      | 355743    | / 567707 | 4.79 - 6.81  | 4 | 237          | 9,7        | 6,1        | 3,6         | 109,2                       | 87,3                                    | 6,3                       |
| W 4724/ 3      | 355754    | / 567619 | 9.81 - 2.84  | 4 | 168          | 4,6        | 1,5        | 3,1         | 26,9                        | 75,2                                    | 5,2                       |
| W 4724/ 4      | 355501    | / 567576 | 6.81 - 8.83  | 3 | 266          | 8,5        | 1,8        | 6,7         | 32,2                        | 162,4                                   | 41,5                      |
| W 4725/ 1      | 355888    | / 568444 | 5.80 - 5.83  | 4 | 161          | 6,1        | 4,1        | 2,0         | 73,4                        | 48,5                                    | 15,0                      |
| W 4725/14      | 355836    | / 567932 | 4.79 - 6.81  | 3 | 350          | 16,2       | 14,0       | 4,2         | 250,6                       | 101,8                                   | 10,0                      |
| W 4824/ 1      | 355680    | / 567209 | 7.80 - 8.82  | 3 | 187          | 6,8        | 4,8        | 2,0         | 85,9                        | 48,5                                    | 10,7                      |

- In südwest-nordöstlicher Richtung, als Senkrechte auf dem Unterwerra-Sattel, lassen sich vier Lineamente aufzeigen:
- Auslaugungsbereiche von Kammerbach, Ottersbach, oberer Dudenbach und Bransrode,
  - Auslaugungsbereiche von Orferode, Frankershausen, Frankenhain, Meißernordmulde und Laudnbacher Hohl,
  - Auslaugungsbereiche von Frankershausen, Wolfterode, der Teufelslöcher, der Mittelmulde, der Südmulde und Hausen sowie

Tab. 11: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer auf dem Hohen Meißner und an seinen Hängen.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf     | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|------------|-----------|----------|--------------|---|--------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|            | R         | H        |              |   | (µs/m) | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| 0 4724/ 1  | 355779    | / 567697 | 10.84 - 9.86 | 5 | 594    | 17,3 | 12,6 | 4,7  | 226,0             | 114,5                         | 10,0            |
| 0 4724/ 4  | 355798    | / 567559 | 10.84 - 9.86 | 5 | 304    | 7,8  | 2,1  | 5,7  | 37,1              | 138,2                         | 24,0            |
| 0 4725/ 2  | 356500    | / 567515 | 8.84 - 9.86  | 5 | 454    | 11,1 | 5,6  | 5,5  | 100,2             | 132,1                         | 40,3            |
| 0 4725/ 3  | 356328    | / 567547 | 8.84 - 9.86  | 5 | 378    | 8,4  | 3,4  | 5,0  | 61,3              | 121,8                         | 47,5            |
| 0 4725/10  | 356288    | / 567896 | 8.84 - 9.86  | 5 | 488    | 12,1 | 6,3  | 5,9  | 112,8             | 142,5                         | 40,3            |
| 0 4725/11  | 356083    | / 567639 | 7.84 - 9.86  | 6 | 318    | 8,7  | 4,1  | 4,6  | 74,0              | 111,1                         | 12,8            |
| 0 4725/12  | 356014    | / 567854 | 7.84 - 9.86  | 6 | 277    | 6,7  | 2,3  | 4,4  | 40,6              | 105,9                         | 14,2            |
| 0 4725/13  | 355942    | / 567847 | 7.84 - 9.86  | 6 | 543    | 12,8 | 7,7  | 5,1  | 137,3             | 123,6                         | 19,2            |
| 0 4725/14  | 355835    | / 567863 | 7.84 - 9.86  | 6 | 1677   | 54,3 | 9,0  | 45,3 | 161,7             | 1097,0                        | 16,6            |
| 0 4725/31  | 356282    | / 567513 | 9.85 - 9.86  | 2 | 509    | 16,3 | 3,2  | 10,4 | 57,3              | 252,1                         | 36,0            |
| 0 4725/32  | 356350    | / 567710 | 9.85 - 9.86  | 3 | 341    | 11,0 | 4,6  | 6,5  | 82,3              | 158,4                         | 24,7            |
| 0 4725/33  | 356349    | / 567722 | 9.85 - 9.86  | 3 | 363    | 11,0 | 3,6  | 7,4  | 64,4              | 178,6                         | 19,0            |
| 0 4824/ 1  | 355782    | / 567307 | 10.84 - 9.86 | 5 | 172    | 5,6  | 2,0  | 3,6  | 35,4              | 88,2                          | 8,6             |
| 0 4824/ 2  | 355773    | / 567300 | 10.84 - 9.86 | 5 | 225    | 7,4  | 2,6  | 4,8  | 47,3              | 116,4                         | 10,4            |
| 0 4825/ 3  | 356425    | / 567243 | 10.84 - 9.86 | 5 | 269    | 8,0  | 2,3  | 5,7  | 41,5              | 138,7                         | 26,8            |
| 0 4825/10  | 356289    | / 566974 | 10.84 - 9.86 | 5 | 280    | 7,3  | 3,9  | 3,4  | 69,1              | 81,9                          | 19,0            |
| 0 4825/11  | 356162    | / 567144 | 10.84 - 9.86 | 5 | 242    | 6,2  | 3,2  | 3,0  | 56,7              | 72,3                          | 16,2            |
| 0 4825/12  | 356010    | / 567200 | 10.84 - 9.86 | 5 | 212    | 7,0  | 2,2  | 4,8  | 40,1              | 115,9                         | 14,2            |
| 0 4825/13  | 355916    | / 567183 | 10.84 - 9.86 | 5 | 207    | 5,4  | 2,8  | 2,8  | 50,8              | 67,4                          | 12,8            |
| 0 4825/15  | 356186    | / 567260 | 9.85 - 9.86  | 3 | 191    | 6,5  | 2,3  | 4,2  | 40,6              | 101,8                         | 20,7            |
| 0 4825/16  | 356254    | / 567404 | 9.85 - 9.86  | 3 | 262    | 6,1  | 2,1  | 4,0  | 38,1              | 96,2                          | 23,2            |
| 0 4825/18  | 356172    | / 567240 | 9.85 - 9.86  | 3 | 185    | 5,7  | 1,5  | 4,2  | 26,9              | 101,8                         | 23,0            |
| W 4624/ 1  | 355651    | / 569146 | 5.77 - 5.82  | 6 | 297    | 10,3 | 7,9  | 2,4  | 141,4             | 58,2                          | 9,0             |
| W 4624/ 4  | 355320    | / 568946 | 3.84         | 1 | -      | 3,9  | 1,4  | 2,5  | 25,1              | 60,6                          | 7,7             |
| W 4725/15  | 356183    | / 567858 | 8.80 - 1.84  | 4 | 321    | 11,2 | 6,4  | 4,8  | 114,6             | 116,4                         | 4,9             |
| W 4725/16  | 355968    | / 567789 | 11.80 - 8.83 | 4 | 251    | 9,0  | 5,9  | 3,1  | 105,6             | 75,2                          | 6,8             |
| W 4725/17  | 356298    | / 567752 | 3.78 - 3.82  | 5 | 172    | 7,9  | 4,3  | 3,6  | 77,0              | 87,3                          | 14,2            |
| W 4725/21  | 356160    | / 567523 | 8.80 - 8.83  | 5 | 604    | 12,8 | 2,2  | 10,6 | 39,4              | 257,0                         | 52,8            |
| W 4725/22  | 356320    | / 567521 | 8.80 - 5.83  | 4 | 428    | 13,6 | 2,7  | 10,9 | 48,3              | 264,2                         | 36,7            |
| W 4725/23  | 355888    | / 567516 | 8.81 - 2.84  | 4 | 365    | 6,2  | 1,0  | 5,2  | 17,9              | 126,0                         | 77,3            |
| W 4725/24  | 355933    | / 767508 | 3.82 - 8.83  | 2 | 241    | 5,6  | 1,0  | 4,6  | 17,9              | 111,5                         | 62,5            |
| W 4725/25  | 355816    | / 567482 | 6.81 - 8.83  | 3 | 122    | 4,2  | 2,4  | 1,8  | 43,0              | 43,6                          | 4,5             |
| W 4725/27  | 356255    | / 567417 | 8.80 - 3.82  | 3 | 399    | 7,8  | 1,8  | 6,0  | 32,2              | 145,5                         | 11,2            |

- Auslaugungsbereiche von Vockerode, Petersruh, Seesteine, Weißbach, Kesselberg.

Sie sind verzahnt mit einer Aufreihung von großräumigen Auslaugungsbereichen, die zur südost-nordwestlichen Richtung des Netragrabens gehören:

- Auslaugungsbereiche von Mönchhof, Vockerode, der Teufelslöcher, der Nordmulde und Bransrode,
- Auslaugungsbereiche von Germerode, des Jugenddorfs, der Mittelmulde und des Laudenbacher Hohlis sowie
- Auslaugungsbereiche von Petersruh, der Südmulde und Hausen.

Der Einfluß regionaler Tektonik auf die Reliefgenese zeigt sich aus der Verzahnung der Lineamente, an denen aufgereiht bzw. in deren Schnittpunkt geomorphologisch großräumige Auslaugungsbereiche nachweisbar sind. Dieses Phänomen ist ein weiteres Indiz für die subrosive Beeinflussung des Hohen Meißners.

Im einzelnen lassen sich folgende Argumente für die subrosiv beeinflusste Reliefgenese aufzeigen:

- Vorkommen der großräumigen Auslaugungsbereiche im östlichen Meißnervorland, vergesellschaftet mit Kleinformen der Gipsauslaugung,

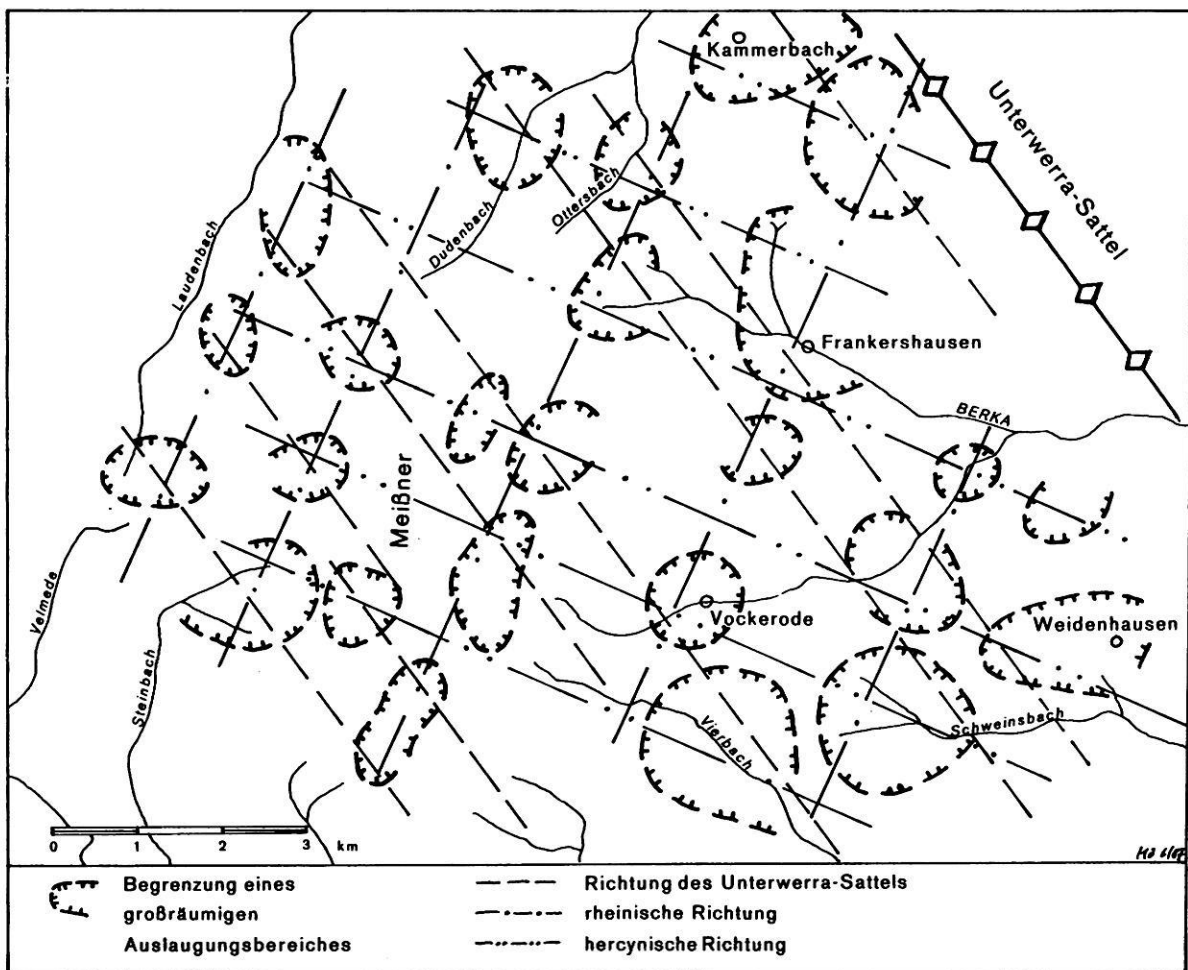


Abb. 27: Großräumige Auslaugungsbereiche in der Umgebung des Meißners und ihre Aufreihung an Kreuzungspunkten von tektonischen Lineamenten.

Die Zerrüttung des hangenden Gebirgskörpers, die von den tektonischen Lineamenten und ihren charakteristischen Richtungen bestimmt ist, führt zur regelhaften Anlage großräumiger Auslaugungsbereiche, die anhand geomorphographischer Indizien (vgl. Abb. 18) bestimmt werden. Die gegen den Unterwerra-Sattel halboffen ausgerichteten Formen sind durch das östlich abgetragene Deckgebirge zu erklären.



- die zerstörte Struktur des Unteren Buntsandsteins, in dem keine durchgehende Verwerfung aufzuzeigen ist,
- der Steilanstieg des Mittleren Buntsandsteins mit seinen typischen kurzen, steilen wannenförmigen Talschlüssen (FINKENWIRTH 1970, ELLENBERG 1982) sollte geomorphographisch unter Einbeziehung der geologischen Situation als Salzhang angesprochen werden (MÖLLER 1985, STABLEIN & MÖLLER 1986, STABLEIN 1986).

Daraus folgt, daß sowohl die unter dem Basaltplateau liegenden Meißnermulden als auch die am Westhang des Meißners auftretenden Strukturen um Bransrode, Laudnbacher Hohl, Hausen und Weißbach-Kesselberg subrosiv verursacht wurden.

Das beweist, daß sukzessive Salzauslaugung in tektonisch gestörten Bereichen nicht streng in Form eines klassischen Salzhangs ansetzt, sondern zunächst vermehrt irregulär (WEBER 1930 ff) greift und später dann zusammenwächst (vgl. 4.11.2). Anhand dieser Befunde, vor allem aber an der Verteilung der Meißnermulden (KERSTEN 1986) und den Subrosionsstörungen im Profil des Meißners (BALDSZUHN-STRAKA et al. 1985), läßt sich die zunächst angenommene These, daß es sich im klassischen Sinne um salzhangparallele Einsenkungen handelt (STABLEIN & MÖLLER 1986:308) nicht halten. Vielmehr sind die Auslaugungsbereiche zunächst für sich isoliert innerhalb eines Störungsmusters zu interpretieren. Unabhängig hiervon schritt die Salzlösung geomorphologisch flächenhaft wirksam vom Ausstrich des Perm am Grauwackensattel durch das östliche Meißnervorland bis an den Osthang des Meißners voran. Hier wurde die Reliefwirksamkeit der Subrosion durch das Abtauchen des Zechsteins unter die mächtiger werdende, ebenfalls in den Altmorschen-Lichtenauer Graben abtauchende Trias gedämpft. Daraus folgt, daß präbasaltische, irreguläre Auslaugungsstrukturen für die großräumigen Auslaugungsbereiche im Bereich des Meißners verantwortlich sind. Die folgende klimageomorphologische Überprägung führte dann zum heute vorzufindenden Formenschatz an den Hängen des Meißners.

Über diese indirekten Beobachtungen zur Subrosion des Zechsteinsalinars lassen sich

direkte Beobachtungen zur Auslaugung im Röt und im Mittleren Muschelkalk durchführen. Während das Röt im Ausstrichbereich partiell durch kleine Einsturzdolinen (Abb. 28), die auf Gipsauslaugung zurückgehen, gegliedert ist, sind die Dolinen des Mittleren Muschelkalks am Westhang des Meißners, die ebenfalls der Gipslösung zuzurechnen sind, deutlich größer und reichen vielfach bis in den Oberen Muschelkalk. Dies liegt zum einen an der Mächtigkeit der jeweiligen Schichten und ihrer Gipslager (BALDSZUHN-STRAKA et al. 1985), zum anderen aber auch am Einfallen der Schichten in den Altmorschen-Lichtenauer-Graben (20 bis 30°).

Zusammenfassend gilt für den Hohen Meißner, daß neben den Auslaugungserscheinungen im Mittleren Muschelkalk und Oberen Buntsandstein, die beobachtet und kartiert wurden, geomorphologische Argumente für eine Beteiligung der Auslaugung der salinaren Serien des Zechsteins an der Meißnergestalt sprechen. Die zeitliche Entwicklung wird in Kap. 5 diskutiert.

Aufgrund dieser Befunde muß ich zunächst den Ausführungen GARLEFFs (1985), der sich im wesentlichen der Hebungstheorie (RITZKOWSKI 1978) anschließt, für den Hohen Meißner widersprechen. Nach meiner Erkenntnis gibt es aufgrund der geomorphologischen Befunde (MÖLLER 1982, MÖLLER & STABLEIN 1984) keine "kräftige jungtertiäre und quartäre Heraushebung des Meißners", die "zur Deutung und Versteilung der Meißnerhänge und der Entwicklung sowie der weiten Verbreitung von Rutschungsformen beitragen" könnte (GARLEFF 1985:55). Schon aus den geologischen Geländebefunden und der geomorphologischen Aufnahme läßt sich ableiten, daß am Osthang Verwerfungen fehlen, die die geforderten Hebungsbeträge von bis zu 700 m nachvollziehbar erscheinen lassen. Derartige Verwerfungen sind zudem weder aus der Karte von MOESTA (1886 d) noch aus der von KUPFAHL et al. (1979) und auch nicht aus der Kartierung von BALDSZUHN-STRAKA et al. (1985) zu entnehmen. Sollten sie vorhanden sein, so müßten diese Hebungen sehr großräumig wirksam gewesen sein, womit sie sich dann einer geomorphologischen Erfassung entziehen und lediglich indirekt abzuleiten wären, wie z.B. aus Höhenlagen des Tertiärs.

Hinsichtlich der Genese des Frau-Holle-Teiches schließe ich mich den Ausführungen von GARLEFF (1985:55 f) an, der die Ergebnisse von POSER & BROCHU (1954) überarbeitet hat, und sehe die zugehörige Nische als nival beeinflussten Bereich am Rückhang einer Rutschung an (MÜLLER & STABLEIN 1982: 80). Der Deutung GARLEFFs, daß diese Rutschung auf die geschilderte Hebung (GARLEFF 1985:55) zurückgeht, vermag ich mich nicht anzuschließen. Vielmehr sehe ich die post-basaltische Auslaugung der Gipse des Zech-

steins für den Rutschungsimpuls als verantwortlich an, was sich sowohl aus der Anordnung der großräumigen Auslaugungsbereiche als auch aus der Verteilung der Kleinformen ableiten läßt (vgl. Beilage 1 und Geomorphographie der GMK 25:17).

#### 4.4 Das östliche Meißnervorland

Die Aufteilung des Untersuchungsgebietes nicht weiter verfeinernd, unterscheide ich



Abb. 28: Einsturzdolinen im Röt am Südhang des Meißners.

Die im Spätsommer 1984 eingebrochenen Röttdolinen liegen bei R 356006 / H 567366, an der Südostabdachung des Hohen Meißners in einer Höhe von 650 m NN. Das Röt ist an dieser Stelle von Basaltschutt überdeckt und bildet eine Verflachung vor der Stufe des Mittleren Buntsandsteins.

- in diesem Kapitel drei Gebiete. Sie haben die Auslaugungserscheinungen zum Thema, die sich
- im Norden des Meißners,
  - im Süden und Südosten des Meißners sowie
  - im Zechsteintagesaustrich gegen den Unterwerra-Sattel befinden (vgl. Abb. 21, Beil. 2).

#### 4.4.1 Die Buntsandsteinbedeckung zwischen Frankenhain und Hilgershausen

Anknüpfend an das Gipskarstgebiet um das Alte Gericht (vgl. 4.1) erstreckt sich dieser Gebietsausschnitt vom Top des Roggenberges über den Krückenkopf, die Hasselkuppe und das Bühlichen bis in den Sattel zwischen Bransrode und Heiligenberg. Von dort verläuft er isohypsenparallel nach Frankenhain und an der Grenze Buntsandstein/ Zechstein über Hilgershausen in den im Kap. 4.1 beschriebenen Wasserscheidenbereich zwischen Flachsbad und Sehlenbach. Geologisch handelt es sich vorwiegend um die Flächen des Unteren Buntsandsteins. Lediglich die westliche Begrenzung erreicht den Mittleren Buntsandstein auf dem Top des Roggenberges und des Krückenkopfes sowie den an einer Verwerfung abgesunkenen Unteren Muschelkalk an der Hasselkuppe und am Bühlichen. Zwischen beiden liegt die Ausraumzone des Röt. Die Verwerfung gehört nach NÖLL (1973:54) zu der Randstörung, die den Altmorschen-Lichtenauer Graben im Osten begrenzt.

Die im Norden dieses Gebietes auftretenden Erdfälle gehören in Form und Zahl noch zu dem in Kap. 4.1. beschriebenen Erdfallfeld südlich des Alten Gerichts. Diese Trichterlandschaft reicht bis an den kurzen wannenförmigen, steilen Talschluß unterhalb des Kümmlrotskopfes, der in den Sehlenbach überleitet. Die Erdfälle reichen bis 420 m NN. Betrachtet man den Zechstein-austrich um den Sehlenbach, so fällt auf, daß wenigstens 90 m Buntsandstein von Erdfällen durchschlagen werden. Das ausstreichende Erdfallfeld bildet die Westgrenze des großräumigen Auslaugungsbereiches um Hof Vollung. In südlicher Richtung, auf Hilgershausen zu, fällt das gewellte Relief auf. Eine eindeutige Subrosionsform, angesprochen als Bodensenkung, findet sich erst wieder westlich der Ortschaft, nördlich eines weiteren kurzen, wannenförmigen,

steilen Talschlusses (R 356130/H 568225). Südlich davon ziehen drei Bodensenken das Muldental Richtung Petersberg hinauf, die im Süden durch eine starke konvexe Wölbung begrenzt werden, so daß die Auslaugungserscheinungen die Asymmetrie dieses Talzuges verstärken. Insgesamt sind diese Einzelercheinungen der westlichen Grenze des Auslaugungs-/Ausräumungsbereiches um Hilgershausen zuzuordnen (vgl. Kap. 4.4.2).

Weiter südlich treten die nächsten Auslaugungsformen erst am orographisch rechten Hang des Dudenbaches auf. Belegt werden sie durch einzelne Formen am Ostabfall des Bramberges, die im Relief von 300 m NN auf 340 m NN ansteigen. Das Ottersbachtal ist frei von Auslaugungsformen; die östlichen Nebentäler sind dagegen durch eine Vielzahl von schüsselförmigen Erdfällen und Bodensenkungen gekennzeichnet (R 356230/H 5682, R 356250/H 568030). Die Erdfallvergesellschaftung gehört zum großräumigen Auslaugungsbereich des Ottersbaches, der in einem kurzen, steilen Talschluß an der Nordabdachung des Meißners entspringt.

Im westlich gelegenen Dudenbachtal ziehen schüsselförmige Erdfälle, die ebenso wie alle bisher beschriebenen Auslaugungsformen auf die Sulfatauslaugung zurückgehen, bis (R 355990 /H 567900). Der gesamte obere Abschnitt dieses Tales wird aufgrund der orographisch rechts und links befindlichen Talschlüsse und der vorgefundenen Kleinformen der Subrosion als großräumiger Auslaugungsbereich zwischen Bergwiesen und dem Wasserscheidenbereich zwischen Heiligenberg und Bühlichen gedeutet. Ihm schließt sich nördlich der Ortschaft Dudenrode ein weiterer Auslaugungsbereich an, der aufgrund der radial auf ein Zentrum zu laufenden Relief-elemente und der typischen Begrenzung gegen die jeweiligen Rückhänge festgelegt wird.

An hydrochemischen Werten aus dem letztgenannten Gebiet liegen neben den Werten des Hochbehälters von Dudenrode (W 4725/10: 97 mg SO<sub>4</sub>/l, 19,1 mg Cl/l) nur zwei Probenpunkte für den Dudenbach und seinen nördlichen Zufluß von der Hasselkuppe vor (Tab. 12). Ersterer (O 4725/ 17) hat Sulfat-/Chloridgehalte von 112/22 mg/l, während der Nebenbach (O 4725/18) Werte von 91/40 mg/l aufweist. Die Werte zeigen, daß der erhöhte Sulfatanteil dieser Wässer auf die am West-

rand gelegene Ausraumzone des Röt mit seinen Gipslinsen zurückzuführen ist. Indiz für die Gipsauslaugung sind punktförmig auftretende Erdfälle im Wasserscheidenbereich am Heiligenberg. Die erhöhten Chloridgehalte des Nebenbaches gehen auf die Einflüsse der Gemeinde Dudenrode zurück.

Insgesamt ist für diese Gebietseinheit anzunehmen, daß mit dem Aufstieg des Unterrerra-Sattels auch eine Auslaugung der Zechsteinsalze verstärkt einsetzte. Auffällig sind der Talschluß am Krückenkopf sowie der steile Talbeginn des Sehlenbaches, insbesondere aber auch der Auslaugungsbereich von Dudenrode, der durch die flach einfallenden, gegen den übrigen Unteren Buntsandstein abgesetzten Riedelverflachungen auffällt, die in ihrer heutigen Lage als über einem Salzhang abgesunkene hangende Partien gedeutet werden. Nach gleichen Kriterien wird auch der Auslaugungsbereich des oberen Dudenbaches bewertet. Bohrungen, die die in Richtung auf den Altmorschen-Lichtenauer Graben abtauchenden Zechsteinschichten erreichen, sind nicht vorhanden. Alle geomorphographischen Indizien sprechen für die mit Salz in Verbindung gebrachte Deutung.

#### 4.4.2 Der Zechsteinausstrich zwischen Hilgershausen und Niddawitzhausen

Das flächenmäßig größte Teilgebiet reicht von der Wasserscheide Sehlenbach/Flachsbach (vgl. Kap. 4.1) bis ans Werratal bei Bad Sooden, von dort das Werra- und Wehretal aufwärts bis südlich Niddawitzhausen (vgl. Abb. 21, Beil. 2). Die südliche Gren-

ze verläuft an der Zechstein-/Buntsandsteingrenze bis Alberode und weiter nach Germerode. Am Meißnerfuß knickt die Gebietsgrenze über Vockerode, Frankenhain und Hilgershausen nach Norden ab. Sowohl aus orographischer Sicht als auch nach der Vielfältigkeit der Auslaugungsformen ist eine weitere Unterteilung dieses Gebietes notwendig.

Die Ausraumzone von Hilgershausen (Abb. 29) erstreckt sich im Zipfel zwischen dem vorher beschriebenen Gebiet (Kap. 4.4.1) und dem Abtauchen des Grauwackensattels unter die permischen Schichten nördlich der Ortschaft Hilgershausen. Hauptentwässerungsbahn ist der Oberrieder Bach, der durch den Zusammenfluß von Ottersbach und Dudenbach entsteht. Großräumige Auslaugungsbereiche treten um den Hof Vollung und um Hilgershausen auf.

Der Auslaugungsbereich um Hof Vollung hat dabei ein Stadium erreicht, in dem die Subrosion im wesentlichen abgeschlossen ist. Lediglich zwei schüsselförmige Erdfälle und einige Bodensenkungen sind im nördlichen Bereich nachzuweisen. Der Sulfat- und Chloridanteil des Sehlenbach-Wassers (Probe 0 4725/23: 342/18 mg/l) ist auf die Verhältnisse des Einzugsgebietes des Sehlenbaches, das in das ausstreichende, heute noch aktive Erdfallfeld des Alten Gerichts hineinreicht, zurückzuführen. Zusätzlich bedingen die Tageswässer, die sich nördlich des Weißenberges sammeln, einen erhöhten Sulfatanteil im Sehlenbach. Sie durchfließen ein durch Schüsseldolinen gegliedertes Gebiet, das genetisch mit der Al-Auslaugung in Zusammenhang steht.

Tab. 12: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im nördlichen Meißnergebiet.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum | n | Lf<br>(µs/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|------------|-----------|----------|-------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
|            | R         | / H      |             |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| 0 4725/17  | 356107    | / 568077 | 8.84 - 9.86 | 5 | 368          | 7,9        | 4,6        | 3,3         | 82,3                        | 81,0                                    | 22,2                      |
| 0 4725/18  | 356105    | / 568088 | 8.84 - 9.86 | 5 | 470          | 10,4       | 6,7        | 3,7         | 120,3                       | 90,7                                    | 40,4                      |
| W 4725/10  | 356068    | / 567977 | 4.76        | 1 | -            | 9,0        | 5,0        | 4,0         | 89,5                        | 97,0                                    | 19,1                      |
| W 4725/11  | 355940    | / 567973 | 6.81 - 5.83 | 3 | 233          | 8,9        | 4,9        | 4,0         | 87,7                        | 97,0                                    | 19,5                      |

Der südlich anschließende Auslaugungsbe- reich um Hilgershausen wird durch den Al- kenberg, die Kuppe (R 356250/H 568320), den Weißenberg sowie die Ausläufer des Peters- berges begrenzt. Südöstliche Grenze die- ser Form sind die Kuppen um die Hilgers- häuser Höhle, die durch Verkarstungser- scheinungen charakterisiert sind. Einzel- formen sind in diesem Areal die Einsturz- dolinen südlich Hilgershausen (vgl. GMK 25: 17 R 356280 / H 568150). Interessant, und das stützt die Argumentation des vorherigen Kapitels (4.4.1), ist die abgerutschte Buntsandsteinscholle südlich Hilgershausen (R 356200 / H 568175) und die westlich da- von auftretende Einspüldoline. Hier greift der Gipskarst in einen vorher durch Salzauslaugung zerstörten Gesteinsverband ein und führt zu der beschriebenen Ablösung einer Scholle vom Rückhang, die auf dem un- terlagernden Bröckelschiefer den geeigneten Untergrund für eine Rutschung fand.

Die östlich dieser Formen liegende, schon erwähnte Hilgershäuser Höhle ist ebenso auf Gipskarst zurückzuführen wie die ande- ren in diesem Raum zu beobachtenden Einzel- erscheinungen. Hier treten Dolinen mit 2 m- Durchmesser, perlschnurartig aufgereiht, ebenso auf wie die mächtigen Einsturzdol- inen beiderseits der Straße Kammerbach- Dudenrode. Der Hauptdolomit, das klippen- bildende Gestein dieser Einheit, wird durch die Auslaugung des unterlagernden Werraan- hydrit stark zerstört und bildet Kuppen, Klippen sowie Schutthalden (Abb. 29). Klip- pen, vergesellschaftet mit Trichterdolinen,

finden sich auch nordöstlich der Straße Kammerbach- Hilgershausen.

Die Wasserwerte (Tab. 13) zeigen, daß die genutzten Wässer des Hochbehälters bei Kammerbach (W 4725/8) in ihrem Chemismus (Sulfat-/Chloridwerte von 70/8 mg/l) im Vergleich zu Oberflächenwässern wenig differieren. So erreicht der Ottersbach vor Eintritt in den Oberrieder Bach (Probe O 4725/19) 129/20 mg/l, der Nebenbach vom Weiberstein (Probe O 4725/21) 106/21 mg/l und der Wasserlauf nördlich des Alkenberges (Probe O 4725/22) 198/18 mg/l. Sie liegen damit nur geringfügig über den Anteilen ge- nutzter Gewässer und weisen auf unbedeu- tende Auslaugungsprozesse hin. Die mit Was- ser gefüllte Schwunddoline an der Hilgers- häuser Höhle (R 356254/ H 568174) erreicht dagegen einen Sulfatgehalt von 464 mg/l (Probe O 4725/ 20), der einen Zusammenhang zwischen Gipslösung, Wasserzustand und geo- morphologischem Befund aufzeigt.

Insgesamt ist die Hilgershäuser Ausraumzone heute nicht mehr aktiv. Die Gipsauslaugung schreitet südlich Hilgershausen nach Westen in Richtung Petersberg und nach Osten auf den Hämmlsberg zu fort. Die Uranlage der Auslaugungsbereiche steht in Verbindung mit der Auslaugung des Na 1. Das Einschneiden des Oberrieder Baches hat zur Teilung der Auslaugungsfronten geführt.

Der großräumige Auslaugungsbereich um Kam- merbach gehört zum Einzugsgebiet des Ober- rieder Baches. Das Bett des Kammerbaches

Tab. 13: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich er- faßter Wässer in der Ausraumzone von Hilgershausen.

| Proben-<br>Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf     | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|----------------|-----------|----------|--------------|---|--------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|                | R         | / H      |              |   | (µs/m) | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| O 4725/19      | 356237    | / 568149 | 8.84 - 9.86  | 5 | 352    | 8,9  | 3,6  | 5,3  | 65,1              | 129,0                         | 20,0            |
| O 4725/20      | 356256    | / 568173 | 8.84 - 9.86  | 5 | 909    | 26,6 | 7,5  | 19,1 | 133,5             | 464,0                         | 37,0            |
| O 4725/21      | 356310    | / 568297 | 8.84 - 9.86  | 5 | 524    | 14,0 | 9,6  | 4,4  | 171,1             | 106,2                         | 20,6            |
| O 4725/22      | 356301    | / 568302 | 8.84 - 9.86  | 5 | 756    | 20,2 | 12,0 | 8,2  | 214,8             | 198,0                         | 17,5            |
| O 4725/23      | 356303    | / 568352 | 8.84 - 9.86  | 5 | 785    | 21,6 | 7,5  | 14,1 | 134,3             | 341,8                         | 18,3            |
| W 4725/ 8      | 356310    | / 568172 | 11.80 - 8.83 | 4 | 199    | 7,0  | 4,1  | 2,9  | 73,4              | 70,3                          | 8,3             |

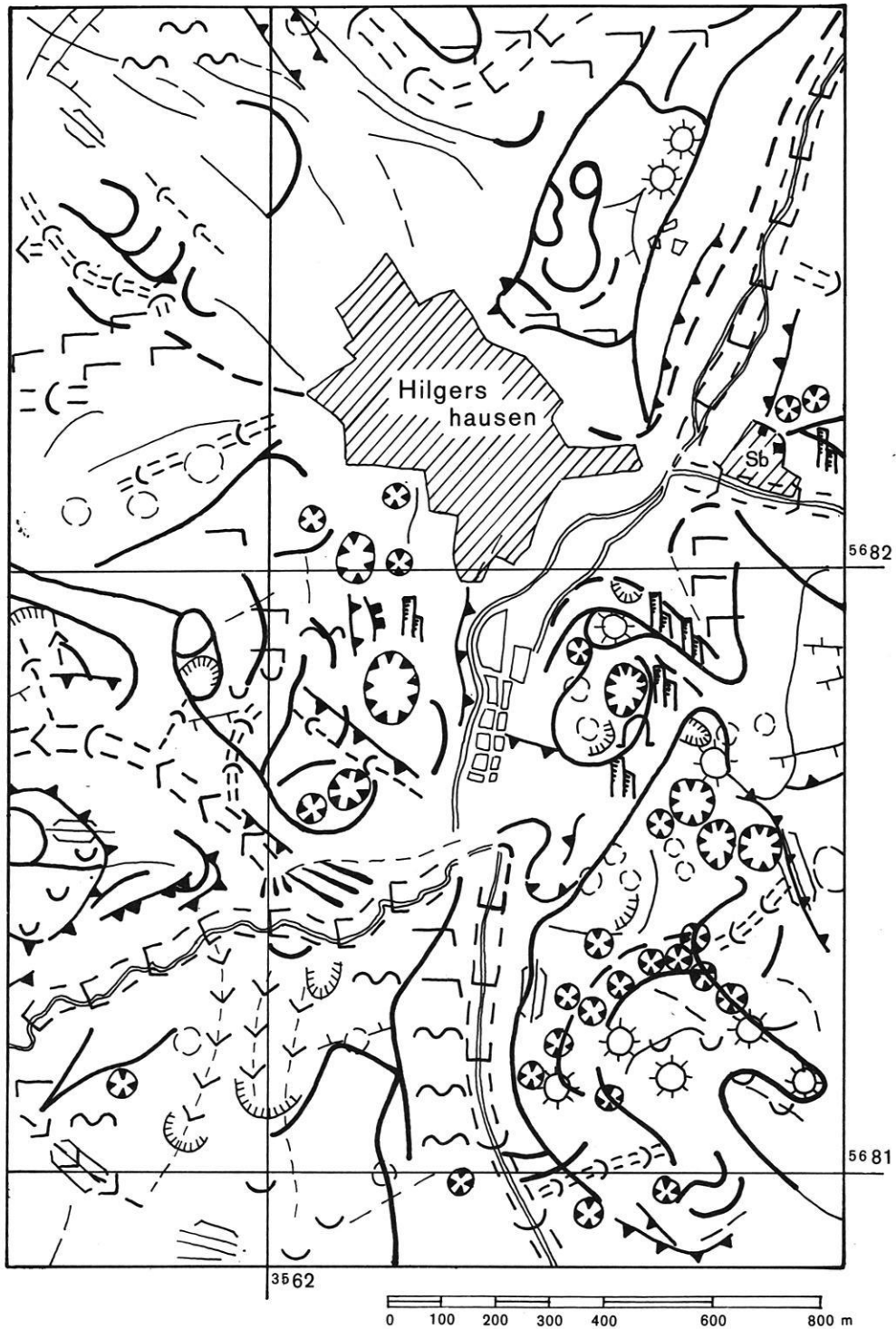


Abb. 29: Geomorphographische Verhältnisse in der Ausraumzone von Hilgershausen.

Auf der Grundlage der GMK 25:17 sind hier Auslaugungsformen und andere geomorphographische Elemente dargestellt. Das als Ausraumzone von Hilgershausen angesprochene Areal geht in seiner Uranlage auf Zechsteinsalinarsubrosion zurück. Die umgebenden Wölbungen und die am Außenrand verstärkt auftretenden Dolinen und Erdfälle zeigen an, daß sich die Fronten aktueller Auslaugung aus dem Zentralbereich hinausbewegen.

hat sich in den Grauwackensattel eingetieft und den Anschluß zum Oberrieder Bach gefunden. Die Grenze dieses Arealis ist bestimmt durch den Zechsteinausstrich auf dem Unterwerra-Sattel, die Buntsandsteinauslieger des Eichenberges und der Kuppe bei R 356328 /H 568104 sowie den Hauptdolomitzug südlich Kammerbach. Auffällige Auslaugungsformen sind trichter- und schüsselförmige Erdfälle sowie Schwund- und Einsturzdolinen. Sie prägen dieses Areal in der Tiefenlinie des Wasserscheidenbereiches zwischen Bad Sooden, Orferode und Kammerbach. Rezente Einbrüche weisen auf aktive Auslaugungsvorgänge hin. Ähnliche Formen setzen sich auch in den Tiefenlinien westlich Kammerbach fort. Insgesamt ist dieses Areal durch die vielen Kleinformen gekennzeichnet, die zu einem großräumigen Auslaugungsbereich zusammengewachsen sind. Aktive Subrosion läßt sich geomorphologisch durch frische Einbrüche, aber auch durch ruckweises Nachsacken innerhalb einzelner Formen (bei R 356448/

H 568163) nachweisen. Sie sind am Hang durch Rutschungen geprägt, die auf eine Formversteilung deuten. Frische Einsturztrichter im Tiefsten solcher Formen zeigen ebenfalls aktive Subrosion an (Abb. 30).

Hydrochemische Werte, die für aktive Auslaugung sprechen, liegen für diese Einheit nicht vor. Der Abfluß unterhalb des Dorfes Kammerbach ist stark anthropogen belastet, da der Gemeinde eine Kläranlage fehlt. Weiterer perennierender Oberflächenabfluß findet nicht statt. Der genutzte Hochbehälter (W 4725/8) gibt mit seinem Sulfatgehalt von 90 mg/l keine Aussage für die kartierten Auslaugungsformen. Die Entwässerung dieses Gebietes erfolgt unterirdisch, muß aber in ihrer Gesamtheit nicht dem Oberrieder Bach tributär sein.

Der großräumige Auslaugungsbereich Orferode südöstlich des Eichenberges zwischen den Kripplöchern und der Höhe 348,7 an der



Abb. 30: Einsturzdoline, durch fortschreitende Gipsauslaugung in Weiterbildung.

Die östlich Kammerbach bei R 356548 / H 568162 liegende Einsturzdoline befindet sich nördlich des Eichenberges. In Abb. 31 liegt sie im Planquadrat i 17.

Charakteristisch für diese Form ist die Weiterbildung, die sich durch drei aktuelle Senkungsgebiete auszeichnet. Drei davon sind an den dunklen, frischen Einbruchstellen am jenseitigen Rand der Doline zu sehen (Pfeile). Erwähnenswert ist, daß die Dolinenfüllung nach ca. 1 m toniger Sedimente in organisches Substrat übergeht, dessen Basis bei einer Tiefe von 4 m noch nicht erreicht ist. Hoher Grundwasserstand verhindert mit dem Schuppenbohrer, tiefer liegendes Bohrgut zu Tage zu fördern.

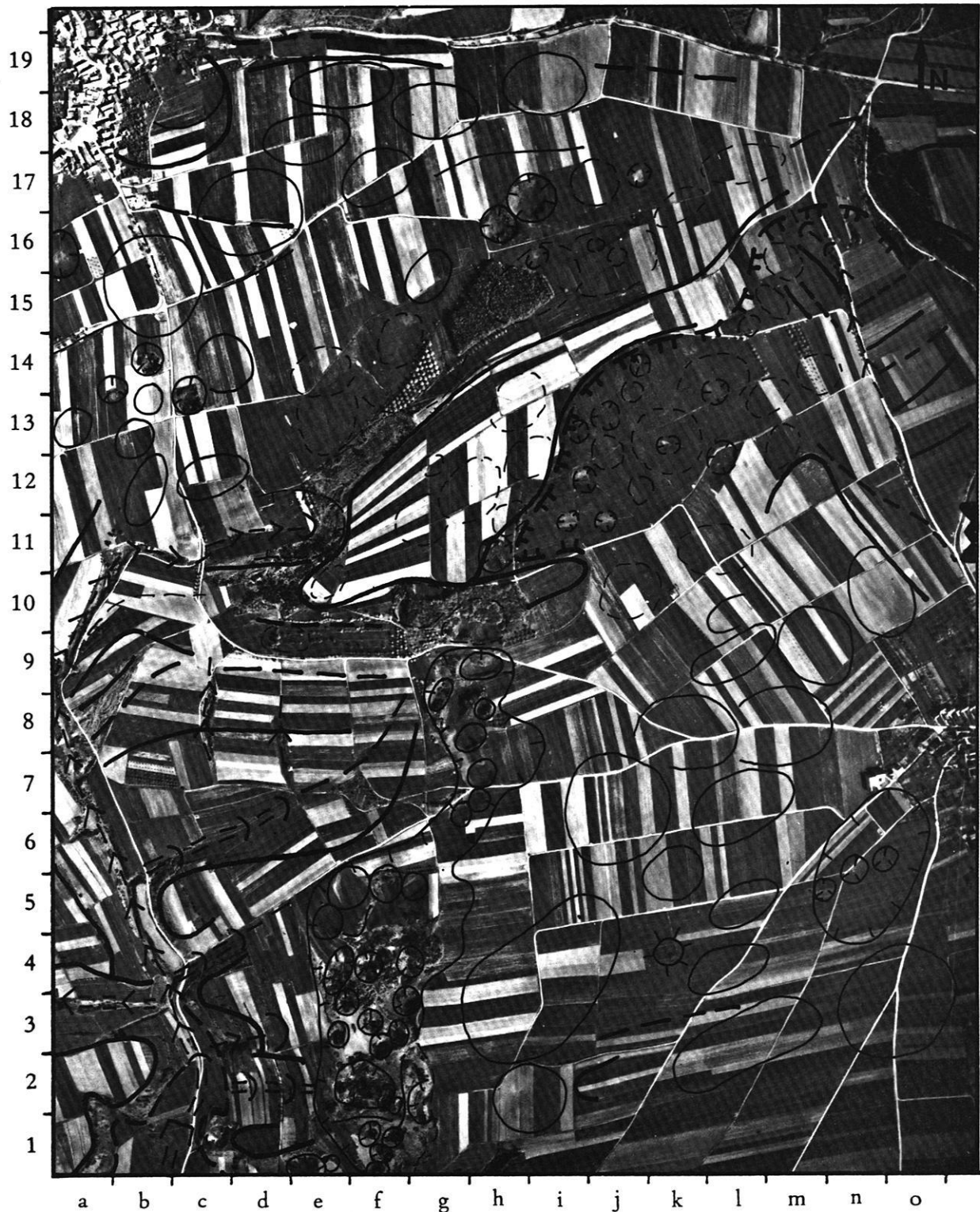


Abb. 31: Karstformen zwischen Orferode und Kammerbach.  
 (Luftbild freigegeben unter Pk 13 Zi/ 59 durch Reg. Präsident in Münster/Westf.,  
 Bildmaßstab ca. 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Das Luftbild zeigt am linken unteren Rand (c 2) den Talschluss des Frankershauser Tales, am linken oberen Rand Kammerbach (a-b/18-19) und am rechten Rand die Gemeinde Orferode (o-p/7-8). Zwischen den beiden Ortschaften liegt der Buntsandsteinauslieger des Eichenberges (e 10 - k 14). Er ist durch eine Vielzahl von Erdfällen und Bodensenkungen gegliedert. Das übrige Gebiet weist Dolinen und Auslaugungssenken auf, die hier im östlichen Meißnervorland im Zechstein liegen. Die Kriplöcher erscheinen am südlichen Bildrand (f 1 - f 4). Das Gipskarstgebiet zieht sich nach Norden, unter dem Eichenberg hindurch, bis zu der in Abb. 30 gezeigten Einsturzdoline.



Straße Orferode-Hitzerode, dessen östliche Grenze durch die Grauwacken gebildet wird, entwässert über den Dohlsbach zur Werra. Er ist an den Zechstein und seine heute noch wirksame Gipsauslaugung gebunden. Schwundlinien bis zu 300 m Längserstreckung direkt an der Ortschaft leiten über zu Erdfällen und Bodensenkungen an der Südostflanke des Eichenberges bzw. in den Raum östlich der Kripplöcher (Abb. 31).

Die hydrochemischen Beobachtungen in dieser Einheit beruhen auf zwei Punkten: der Pumpstation Orferode (W 4725/9) mit Sulfatwerten von 99 mg/l und einem Beobachtungspunkt an der Dohlsbach-Mühle (Probe O 4725/27). Das dort analysierte Oberflächenwasser enthält 154 mg/l Sulfat und 32 mg/l Chlorid. Sulfat- wie Chloridwert sind in dieser Position für eine Interpretation nicht nutzbar, da die in der Gemeinde Orferode anfallenden Wässer im Beobachtungszeitraum ohne Kläranlage in den Dohlsbach eingeleitet wurden. Der niedrige Sulfatwert ist Grundlage für die Vermutung, daß die Wässer, die zur Oberflächenformung durch Auslaugung beitragen, nicht in Richtung Dohlsbach abfließen. Der geologische Aufbau des Gebietes unterstützt diese Vermutung.

Das Einzugsgebiet der Berka bildet aus orohydrographischer Sicht den zentralen Teil des östlichen Meißnervorlandes. Er ist vollständig auf der GMK 25:17 erfaßt. Die Karte weist aus, daß sich die heutige Auslaugungsfront der Sulfate auf den Hohen Meißner zu bewegt. Dies zeigen die vermehrt im Fußflächenbereich des Meißners auftretenden Erdfälle, die zu mehreren großräumigen Auslaugungsbereichen zusammengewachsen sind. Im einzelnen sind es die Auslaugungsbereiche von Wellingerode, Grube Gustav, Wolfterode, Frankershausen, Frankenhain, Vockerode und Abterode. Das bedeutet, daß alle Ortschaften im zentralen östlichen Meißnervorland innerhalb großräumiger Auslaugungsbereiche liegen, die sich entweder durch den "geselligen Einbruch von Erdfällen" (SCHALOW 1978:133) auszeichnen (Vockerode) oder sich anhand der in der GMK 25:17 ausgewiesenen Neigungsverhältnisse bzw. der ebenfalls aufgezeichneten geomorphographischen Situation indirekt bestimmen lassen (vgl. Abb. 18).

Anhand dieser Formabfolge läßt sich eine erste Altersbestimmung der Auslaugungsbereiche durchführen. Geht man davon aus, daß im Sedimentationsstadium der permischen und triassischen Serien trotz der Eichsfeld-Schwelle horizontal sedimentiert wurde, so kamen hier mächtige Werra-Anhydrite zur Ablagerung:

- 80 bis 100 m bei Hundelshausen (vgl.4.1),
- 74 m zwischen Vockerode und Abterode (FINKENWIRTH 1970:216) und
- 57 m Werra-Anhydrit an der Vogelsburg (FINKENWIRTH 1970:216).

Ober dem Werra-Anhydrit, und das läßt sich aus dem zerrütteten Unteren Buntsandstein ableiten, sind auch hier, wie an der Mäusemühle (NAUMANN 1907:12), Steinsalze zur Ablagerung gekommen (vgl. Kap.5), was sich an den geomorphologischen Verhältnisse zeigen läßt. So sind die im Zuge der WEBERschen (1930ff) oder auch der verfeinerten PRIESNITZschen (1969) Auslaugungssystematik auftretenden Formen, bezogen auf die Hauptzyklen, im Untersuchungsgebiet anhand geomorphologischer und hydrochemischer Befunde nachweisbar.

Für das Berkaeinzugsgebiet komme ich zu der Annahme, daß die Auslaugungsbereiche von Wellingerode, Abterode und Frankershausen und ebenso von Orferode, obwohl in letzterem die Verhältnisse modifiziert sind, als die ältesten bezeichnet werden müssen. Hier erfolgten wegen der Nähe zum Grauwackensattel die Auslaugungsprozesse zuerst; sie breiteten sich dann von hier nach Westen aus. Sollte eine Salzauslaugung vorhergegangen sein, was sich aus der Situation des Hohen Meißners (vgl. 4.3) folgern läßt, so hat diese zu einer weiteren Zerrüttung des Deckgebirges geführt. Die nachfolgende Anhydritumwandlung mit anschließender Gipslösung - die Volumenzunahme ist in zerrüttetem Gestein zu vernachlässigen (vgl. 2.2.2) - hätte ebenfalls zuerst an der Kontaktzone zum Grauwackensattel eingesetzt, wäre aber infolge der um  $10^2$  niedrigeren Auslaugungsgeschwindigkeit (vgl. 1.3) nicht in der Art eines Salzhangs, sondern mehr in der Art eines Salzspiegels (FULDA 1923, WEBER 1930) erfolgt, wobei hier aber die Anhydritumwandlung zu Gips, die einer Lösung vorausgeht, mit berücksichtigt werden muß.

Im vorliegenden Fall bedeutet das, daß die Gipsauslaugung am Rande des Unterwerra-Sat-

tels in allen Zyklen des Zechsteins abgeschlossen ist. Die ältesten Auslaugungsbereiche sind heute ohne Anzeichen von aktuellen Senkungserscheinungen. Die fluviale Dynamik hat die Zentren dieser Formen überarbeitet und mit mächtigen Auelehmdecken gefüllt. Die jüngeren Senken (Frankenhain, Wolfterode, Vockerode) sind dagegen mit Erdfällen und Bodensenkungen vergesellschaftet und weisen Gipskarstbildung auf. Ob es sich hierbei um Karst handelt, der auf die Auslaugung des Werra-Anhydrits oder des im nächst höheren Stockwerk lagernden Basalanhydrits zurückgeht, vermag nicht eingeschätzt zu werden. SCHULZ (1981:106) ist der Ansicht, daß sowohl der Basalanhydrit (A2) als auch die Folgen des Zechstein 3 und 4 geomorphologisch differenzierte Geländeformen verursachen, was die geomorphographische Analyse belegt (vgl. Beil. 1) .

Die Härtlingszüge des Hauptdolomits, in die die Kriplöcher und Hielöcher eingetieft sind, blieben erhalten. Die hier unterlagernden Werra-Anhydrite sind in Lösung begriffen, was sich an den frischen Einsturzdolinen und in Bewegung befindlichen Bodensenkungen nachweisen läßt. Auch die hydrochemischen Werte der Karstquellen Kressenborn (Probe O 4725/9) und Breitenborn (Probe O 4725/8) belegen mit Sulfat-/Chloridgehalten von 1689/29 für den Breitenborn und 777/28 für den Kressenborn die Auslaugungsdynamik.

Der Hauptdolomit nimmt weite Teile des Krüsselberges ein, der von POSER (1933:147) als Relikt der Gipsaufpressung angesehen wurde. Aus heutigem Wissensstand (vgl. 1.3, 2.2.2) ist der Krüsselberg als Strukturform zu deuten. Sie gilt als Singularität, an der die tektonischen Einflüsse vorbeigingen, so daß die Anhydritmächtigkeit - bzw. deren Gipsauflage - durch die Decke des Braunroten Salztons bzw. durch den von Subrosionsvorgänge beeinflussten, heute löchrigen und kavernen Dolomit in gewisser Weise vor der Abtragung geschützt war. Diese Deutung schließt die von SCHULZ (1981) kartierte erzgebirgische Störung und den durch Verkarstung und Tektonik stark beanspruchten Gesteinsverband ein, indem sie diese Phänomene den Einflüssen der vorangegangenen Salzauslaugung zuordnet. Im Steinbruch südöstlich des Krüsselberges (R

356603/H 567649) ist der Hauptdolomit infolge der vorausgegangenen Salz- und Gipsauslaugung regellos gelagert.

Der Plattendolomit (Zechstein 3) steht in diesem Geländeausschnitt im Höhenzug "Auf dem Stein" und am "Mühlstein" an, abgeschlossen ist er im Steinbruch an Höhe 285 (R 356435/H567638). Die Gesteinsstruktur ist infolge weitgehend abgeschlossener Auslaugungsvorgänge im Basalanhydrit stark zerrüttet. Einige unmittelbar benachbarte Bodensenkungen weisen noch auf letzte rezente Auslaugungsvorgänge hin.

Der Auslaugungsbereich um Abterode ist ebenfalls den älteren, nicht mehr von Absenkung bedrohten Arealen zuzuordnen. Die Auslaugungsfront des Basalanhydrits resp. des Werra-Anhydrits im tieferen Untergrund liegt hier weiter südlich auf dem Wasserscheidenbereich zum Vierbach. Bei den kartierten Subrosionsformen handelt es sich um schüsselförmige Erdfälle im Bröckelschiefer, die z.T. episodisch mit Wasser gefüllt sind (vgl. Abb. 4). Weitere Auslaugungsphänomene sind Erdfälle, vornehmlich aber Bodensenkungen, die sich vereinzelt in Richtung Meißner erstrecken und erst verstärkt wieder am Zechsteintagesausstrich südlich Vockerode am Heiligenberg einsetzen, dort aber mit Schwund- und Trichterdolinen. Im folgenden Buntsandsteinausstrich sind wieder Erdfälle und Bodensenkungen zu beobachten. Der Tagesausstrich des Zechsteins am Heiligenberg zeigt, daß eine sich in westöstlicher Richtung 2 km lang erstreckende Buntsandsteinscholle infolge Massendefizits im Untergrund so versetzt ist, daß in ihrem Rückhang noch einmal der Zechstein zu Tage tritt.

Die Auslaugungsphänomene, die im Fußflächenbereich des Meißners beobachtet werden können, legen nahe, daß es sich hier um die Auslaugung der Anhydrit-Horizonte in den oberen Zechsteinfolgen handelt, denn ihre Ausprägung unterscheidet sich von denjenigen im Bereich der Hie- und Kriplöcher. Die Erdfälle reichen bis in eine Höhe von 380 m NN. Der Zechsteinausstrich am Heiligenberg liegt bei 334 m NN, so daß erwartet wird, daß hier Buntsandsteinschichten mit einer Mächtigkeit von mindestens 50 m überausgelagten Hohlräumen nachbrechen können. Verglichen mit der am Alten Gericht festge-

stellten Mächtigkeit von mindestens 90 m sollte dieser Wert ebenfalls als Indiz für hier noch nicht weit fortgeschrittene A 1-Auslaugung angesehen werden.

Die hydrochemischen Werte sowohl der genutzten als auch der Oberflächenwässer (Tab. 14) weichen in ihrem Informationsgehalt nicht von den in vorherigen Abschnitten referierten Werten ab (vgl. Anhang und Beilage 2). Lediglich die genannten Werte der Karstquellen stellen für diesen Bereich eine zusätzliche Information bereit.

Im südlichen Teil des Zechsteinausstrichs lassen sich nach den geomorphologischen Ergebnissen drei unterschiedlich strukturierte Gebiete aufzeigen:

- die großräumigen Auslaugungsbereiche bei Gut Mönchhof und bei Weidenhausen,
- die stark zertalte Riedellandschaft zwischen Mönchhof und Niddawitzhausen und
- der Werra- bzw. Wehretalhang zwischen Strahlshausen und Niddawitzhausen.

Auffällig ist in allen Arealen das deutliche Zurücktreten von markanten Kleinformen, die auf Auslaugung zurückgeführt werden können. Abgesehen von einigen Einsturzdolinen fallen flache, weit gespannte Schwunddolenen auf den Riedeln nördlich und südlich Eltmannshausen und Niddawitzhausen auf. Ihre Ursache liegt nördlich von Niddawitzhausen in der Auslaugung des Werra-Anhydrits, was von MÖLLER (1984:9) anhand des

randlich anstehenden Hauptdolomits belegt wurde. Südlich der Ortschaft hat MÖLLER (1984:10) anhand des randlich anstehenden Plattendolomits die Auslaugung des Basalanhydrits (A 2) abgeleitet. Hinweise auf aktive Auslaugung finden sich in Oberflächenwässern nur in der Karstquelle bei Eltmannshausen (O 4825/17), die einen Sulfatgehalt von 707 mg/l aufweist. Alle anderen Oberflächenwässer liegen unter 400 mg SO<sub>4</sub>/l - ausgenommen die Quelle in Niddawitzhausen (O 4825/14) mit 745 mg SO<sub>4</sub>/l. Die hohen Sulfatwerte entstehen beim Durchfluß durch die Anhydritserien des Zechsteins (Hauptanhydrit, Basalanhydrit, Werra-Anhydrit). Die Chloridwerte sind nicht bemerkenswert, da keine übermäßige anthropogene bzw. geogene Belastung vorliegt. Die für den Hochbehälter von Eltmannshausen (W 4825/1) vorliegenden Analysen zeigen, daß die Wassergewinnungsanlage in sulfathaltigen Gesteinen steht. Die ermittelten Werte liegen bei 436 mg SO<sub>4</sub>/l bei gleichzeitig niedrigem Chloridwert von 9 mg/l. Hier stehen die Sulfatwerte in Zusammenhang mit weit gespannten, als aktiv zu bezeichnenden Schwunddolenen.

Interessant ist die Betrachtung des Reliefs unter dem Gesichtspunkt der Petrovarianz. Liegen nördlich Strahlshausen noch die von POSER (1933) beschriebenen Runsen im Kupferschiefer, so taucht der Zechstein 5 km weiter südlich unter den Buntsandstein. Mit anderen Worten: Das Abtauchen des Unterwerra-Sattels nach Südosten unter das Eschwege Becken beeinflußt indirekt die geomor-

Tab. 14: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Einzugsgebiet der Berka.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum | n | Lf<br>(µs/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|------------|-----------|----------|-------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
|            | R         | / H      |             |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| O 4725/ 4  | 356649    | / 567695 | 8.84 - 9.86 | 5 | 1205         | 36,8       | 9,2        | 27,6        | 164,7                       | 670,1                                   | 32,0                      |
| O 4725/ 5  | 356596    | / 567753 | 8.84 - 9.86 | 5 | 657          | 17,2       | 9,8        | 7,4         | 176,1                       | 179,4                                   | 42,6                      |
| O 4725/ 6  | 356520    | / 567768 | 8.84 - 9.86 | 5 | 1036         | 29,3       | 6,9        | 22,4        | 123,2                       | 542,1                                   | 27,0                      |
| O 4725/ 7  | 356374    | / 567822 | 8.84 - 9.86 | 5 | 551          | 13,9       | 7,0        | 6,9         | 125,3                       | 166,8                                   | 26,2                      |
| O 4725/ 8  | 356407    | / 567964 | 7.84 - 9.86 | 6 | 2393         | 81,0       | 11,3       | 69,7        | 202,9                       | 1689,0                                  | 29,4                      |
| O 4725/ 9  | 356396    | / 567966 | 7.84 - 9.86 | 6 | 1347         | 45,2       | 13,1       | 32,1        | 235,1                       | 777,4                                   | 28,3                      |
| O 4725/10  | 356288    | / 567896 | 8.84 - 9.86 | 5 | 488          | 12,1       | 6,3        | 5,9         | 112,8                       | 142,5                                   | 40,3                      |
| W 4725/18  | 356672    | / 567724 | 3.81 - 1.82 | 2 | 398          | 17,6       | 10,9       | 6,7         | 195,1                       | 152,7                                   | 26,0                      |

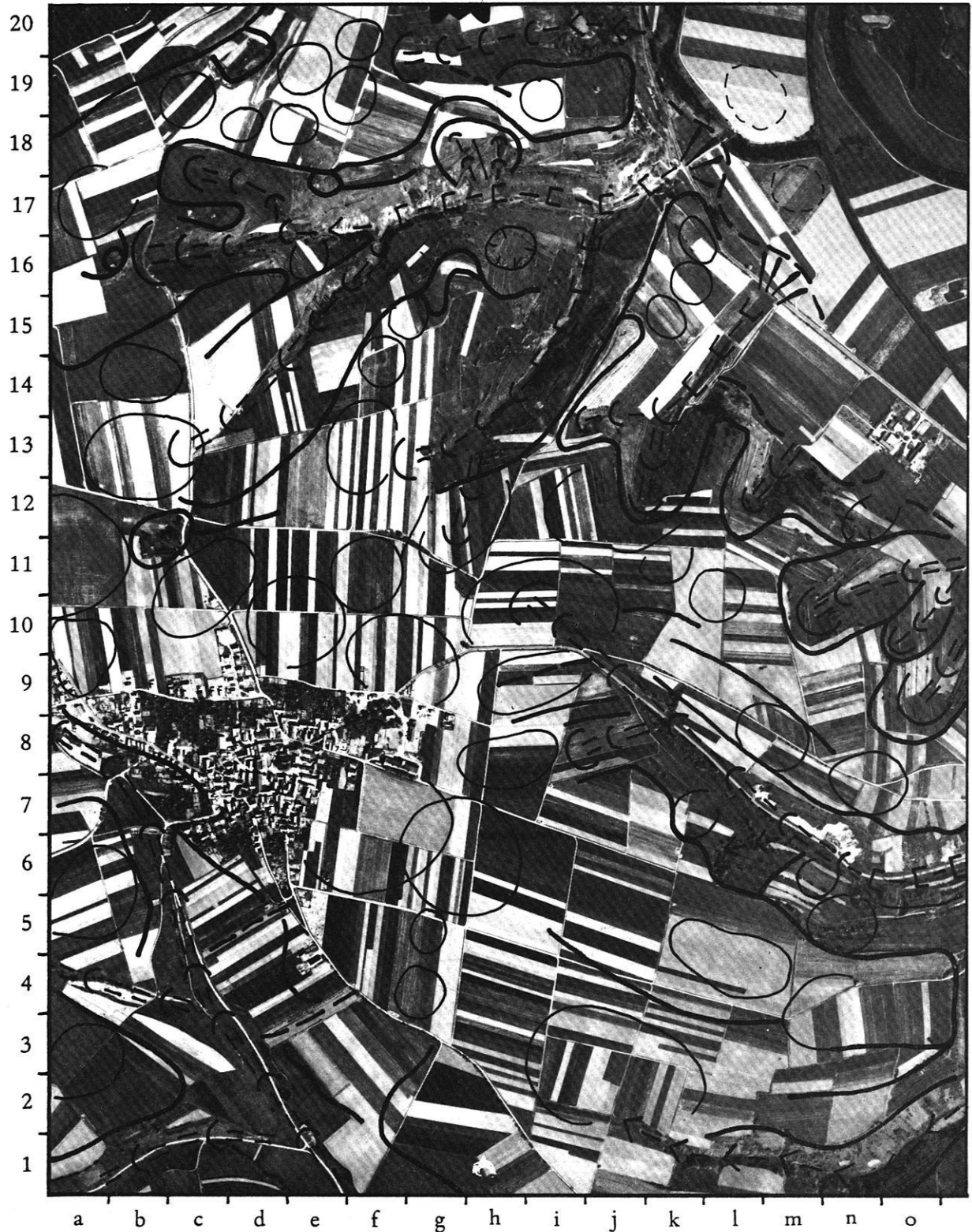


Abb. 32: Die geomorphographischen Verhältnisse auf dem Wellingerröder Plateau.  
 (Luftbild freigegeben unter Pk 13 Zi/ 49 durch Reg. Präsident in Münster/Westf.,  
 Bildmaßstab ca. 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Der Talhang der Werra ist durch die für Auslaugungsgebiete charakteristischen kurzen, steilen und wannenförmigen Talschlüsse geprägt (o 9, m 11, l 12, j-k 12). Auf dem Wellingerröder Plateau treten vermehrt Auslaugungssenken auf. Sie weisen auf heute noch wirksame Auslaugungsprozesse hin. Der im nördlichen Bildbereich gelegene Beckingsgraben (c 16 - k 17) läßt an seinem nördlichen Hang (i-k/17-18) die Situation der Abb. 52 erkennen.

phologischen Verhältnisse. Zu beobachten ist dies an der Ausprägung des Hauptdolomites, des Klippenbildners im Zechstein, der im Raum Strahlshausen (Abb. 32) die Leitlinien der Zertalung bildet, die weit in das Wellingeröder Plateau eingreift. Nach YOUSSEFI (1977:Beil.) finden sich im Areal der heutigen Kreismülledeponie Weidenhausen miteinander vergesellschaftete Subrosions-senken, die zusammengekommen einen Auslaugungsbereich des Werra-Anhydrits darstellen. Nach Süden zu beschränkt sich der Hauptdolomit auf den Steilhang an der B 27, taucht südlich Eltmannshausen unter die auflagernden Schichten ab und bildet im Wehre-Tal die Talgründe. Der unterlagernde Werra-Anhydrit folgt dieser Einfallsrichtung. Als Folge ist zu beobachten, daß mit zunehmender Entfernung der Gipse von den Tageswässern die an der Oberfläche zu beobachtenden Auslaugungserscheinungen abnehmen. Im Bereich Strahlshausen kann davon ausgegangen werden, daß die Anhydritumwandlung (A 1) zu Gips mit anschließender Gipsauslaugung abgeschlossen ist. Vereinzelt, schon genannte Dolinen weisen auf Oberreste dieses Vorganges hin. Allgemein sind hier die Auslaugungsprozesse in ihrer geomorphodynamischen Wirkung ähnlich abgelaufen, wie es heute an den Hie- und Kriplöchern zu beobachten ist. Da diese aber in weiterer Entfernung vom Unterwerra-Sattel liegen, findet dort die Auslaugung noch heute statt.

Das stark zerklüftete Relief ist um Strahlshausen im Zuge der Werratalbildung überprägt und z.T. mit Löß und Werraterrassenmaterial überzogen und damit ausgeglichen worden. Nach Süden zu nehmen die markanten Talformen ab. Der Hauptdolomit tritt entlang der Bundesstraße 27 vorwiegend als Steilhangbildner auf. Er ist in der Wehre- bzw. Werratalung ausgeräumt. Der Werra-Anhydrit liegt heute unter den von mächtigen quartären Sedimentschichten bedeckten Flußauen (vgl. 4.5, 4.6).

Südlich Eltmannshausen liegt der Hauptdolomit nur noch im Taltiefsten. Der Plattendolomit tritt zwischen Niddawitzhausen und Alberode durch Versteilungen in Erscheinung. Die beobachteten Bodensenkungen gegen den Anstieg des Werners- und des Kromberges gehen auf Auslaugungen des Haupt-, unter Umständen des Basalanhydrits zurück. Die

Reliefgestaltung ist hier gesteuert durch die Zerrüttung des Hangenden infolge ausgelagter Salze des Untergrundes (vgl. 4.4.2), was sowohl durch die tektonischen Karten bei MÖLLER (1984) und CHAWKI (1975), sowie für den nördlichen Teil von YOUSSEFI (1977) bestätigt wird. Die folgende Lößüberdeckung und die fluviale Dynamik des Werra-Wehresystems haben diesen Reliefabschnitt mitgerägt.

Anders verhält es sich mit den Auslaugungsbereichen von Mönchhof und Weidenhausen. Ersterer liegt im Übergang zum Buntsandstein und ist durch sechs Talzüge, die auf das Zentrum bei Mönchhof zulaufen, gegliedert. Einige Bodensenkungen, flache und weit gespannte Formen, leiten in den Unteren Buntsandstein über. Die Salzauslaugung wird hier, ebenso wie beim Auslaugungsbereich von Weidenhausen, als ursächlicher Formungsprozess angesehen. Der im Ausstrich umlaufende Plattendolomit in Verbindung mit dem kavernösen, in sich gestörten Hauptdolomit belegt diese Vorstellung. Letzgenannter Auslaugungsbereich ist mit den Verwitterungssubstraten der Oberen Bunten Letten ausgekleidet, in die Löß eingearbeitet ist. Diese als Lößschleier bezeichnete Bodenbedeckung nivelliert den auftretenden Formenschatz, so daß viele Schlotten und Senkungen an der Oberfläche nur in zufällig vorhandenen Straßeneinschnitten oder Steinbrüchen aufzuzeigen sind.

#### 4.4.3 Die Buntsandsteinbedeckung zwischen Reichensachsen, Rodebach und Küchen

Dieses Gebiet umfaßt die Buntsandsteinhügelketten südlich und nördlich des Vierbachs bis zu seinem Ursprung nach Germerode sowie den Trimberg als eingebrochene Muschelkalkscholle und erstreckt sich am südlichen Meißnerfuß über Rodebach, Judenberg und Rettenberg mit dem Weißbach als westlicher Gebietsgrenze (vgl. Abb. 21, Beil. 2).

Die Ortschaft Germerode liegt in einem großräumigen Auslaugungsbereich. Die Vergesellschaftung von Erdfällen und Bodensenkungen greift aus dem Raum Vockerode über den Riedel westlich des Heiligenberges in die Meißnerfußzone sowie in die Umgebung des Kaltwassers über und endet im Sattel an der Lausebuche. Hier sind - nach Süden ge-

sehen - die letzten vergesellschafteten Auslaugungsformen zu finden, die geomorphologisch direkt einer Gipslösung des Zechsteins zugeschrieben werden können. Sie reichen durch den Lortzengrund den Eichbach hinauf bis zur Lausebuche, aber auch von Germerode in dem nördlich der Straße Germerode - Rodebach verlaufenden Trockental mit Bodensenkungen bis in den Wasserscheidenbereich zwischen Vierbach und Wehre. Die Absenkungserscheinungen deuten sich durch Feuchtstellen unterhalb des Wildparkes (R 356235/H 567347) an. Ober die durch Grünland genutzten Wiesen nach Norden auf das Kaltwasser zu nehmen die Auslaugungsformen an Größe und Dichte wieder zu. Im Tal des Kaltwassers findet sich am Wege bei R 356260/ H 567388 eine bergauf ziehende Erdfallreihe, deren unterste Form einen Durchmesser von 16 bis 18 m hat.

Der Eichen-Berg südlich Germerode liegt topographisch 65 m tiefer als der benachbarte Kecksberg. Beide Berge sind im Top vom Mittleren Buntsandstein bedeckt, sodaß der Eichen-Berg infolge Salzauslaugung als abgesunken angesehen wird. Die folgende Gipslösung im Untergrund, die für den Wasserscheidenbereich Lausebuche beschrieben wurde, zeigt sich im Vierbachtal auf der rechten Seite durch Bodensenkungen, die sich trotz der Lößlehmüberdeckung durchpausen. Der orographisch linke Hang ist vor dem Abzweig nach Alberode durch halbtrichterförmige Bodensenkungen im Unteren Buntsandstein gegliedert. Auf der Hochfläche zwischen Alberode und Germerode sind es schüsselförmige Erdfälle und Bodensenkungen, die auf Auslaugungsprozesse im tieferen Untergrund hinweisen. Der Höhenzug Komberg-Wernersberg-Mönchsliepe-Rohenberg, dessen Top vom Mittleren Buntsandstein eingenommen wird, ist auf der linken Vierbachtalseite durch steile, wannenförmige Talschlüsse gegliedert, die als Trockentäler ausgebildet sind. Die tektonische Skizze aus CHAWKI (1975: Skizze 3) zeigt diesen Höhenzug ohne einheitliches Schichteinfallen, das am orographisch linken Talweg beobachtet werden kann und zu der Vermutung Anlaß gibt, daß dieser Höhenzug infolge subrosiver Prozesse zerrüttet und ebenso abgesunken ist, wie der orographisch rechte Höhenzug des Mittleren Buntsandsteins zwischen Höhe 411 und Zungenkopf. Der Absenkungsbetrag dürfte

auf beiden Talseiten zwischen 50 und 80 m betragen.

Als Besonderheit gilt der Trimberg, eine mit einer Sprunghöhe von ca. 120 m (CHAWKI 1975:35) versetzte Scholle des Oberen Muschelkalkes. Sie wird von CHAWKI als ein selbständiger rheinischer Graben, parallel zum südlich gelegenen Sunter-Graben gedeutet, der südlich und nördlich an herzynischen, nicht aufgeschlossenen Störungen eingebrochen sein soll.

Ein weiterer Deutungsversuch zur Genese des Trimbergs geht von der Annahme der vollständigen Zechsteinsalzauslaugung im Eschweyer Becken (WEBER 1952:120, FINKENWIRTH 1970:217 f) aus und überträgt diese in die Region des Trimberges. Vergleicht man die von FINKENWIRTH (1970:216) gegenüber RICHTER-BERNBURG (1955) veränderte Grenzziehung der Na 1-Verbreitung, so fällt auf, daß der von FINKENWIRTH angenommene Salzhang an der west-östlich ausgerichteten, ungefähr herzynischen südlichen Störung des Trimberges verläuft. Verlängert man die westliche Störung, die Versatzzone des Trimbergs, nach Norden, so kommt man in einen halbkreisförmigen Talschluß östlich Rohenberg und gelangt in einen am östlichen Wehretalhang gelegenen Hohlweg oberhalb der Bahn. Werden diese Punkte miteinander verbunden, so erhält man eine halbkreisförmige, langgezogene Nische, die der Form nach, unterstützt durch den zerrütteten Charakter des Buntsandsteins (klufftektonische Messungen MOLLER 1984:27 f, CHAWKI 1975:36) als großräumiger Auslaugungsbereich gedeutet wird. Tektonische Einflüsse sind nicht auszuschließen, doch weisen die geomorphologischen und geologischen Indizien darauf hin, daß Auslaugung - gerade infolge der Wasserwegsamkeit, die durch die tektonische Beanspruchung bei der Grabenbildung (Netra- und Sunter-Graben) erreicht wird - nicht ausgeschlossen werden kann.

Im Bergland westlich Rodebach sind noch zwei Auslaugungsbereiche südwestlich und südsüdwestlich des Finkenberges zu erwähnen. Ihre Ausweisung stützt sich auf geomorphologische Indizien sowie auf eine Klufftmessung aus ABHARI (1982:32) westlich des Pfonholzes (R 356370/H 566938). Sie weist eine breite, für dieses Gebiet unty-

pische Streuung aus, die ich als Indiz für zerrütteten Buntsandstein infolge Auslaugung ansehe, die auf Na 1-Auslaugung zurückzuführen ist und sich in das Bild des FINKENWIRTHschen (1970) Salzhanges einpaßt. Zusätzliches Indiz für diese Deutung sind die Trockentalbereiche am linken Wehretalhang.

Weitere Belege für Subrosionsprozesse sind im großräumigen Auslaugungsbereich von Germerode die Sulfatanteile des Wassers im Hochbehälter Germerode (W 4725/27: 146 mg  $\text{SO}_4/\text{l}$ ), die durch die liegenden Anhydrite beeinflusst sind. Westlich Vierbach (W 4825), in der durch Bodensenkungen und Lößbedeckung gekennzeichneten Zone, sind 96 mg  $\text{SO}_4/\text{l}$  festzustellen, was ebenfalls noch auf Kontakt zu sulfathaltigen Tiefenwässern hinweist. Das Wasser des Tiefbrunnens Reichensachsen (W 4825/3) steht aufgrund seines Sulfatgehaltes von 325 mg/l mit den Zechsteingipsen in Verbindung, während der Ablauf des Hochbehälters Reichensachsen (W 4825/4), der 295 mg  $\text{SO}_4/\text{l}$  aufweist, mit den am Trimberg anstehenden Röt- oder Mittleren Muschelkalk-Gipsen in Verbindung gebracht werden muß. Der Chemismus der Oberflächenwässer liefert zu den Auslaugungsargumenten keinen Beitrag.

Verfolgt man die Mikro- und Kleinformen über den Sattel an der Lausebuche hinaus in Richtung Rodebach-Harmuthsachsen, so fallen weiche, wellige Riedellandschaften auf, denen im mittleren Teil vereinzelt Bodensenkungen aufsitzen. In Richtung Harmuthsachsen werden sie von kesselförmigen Senkungsstrukturen am Rauschenberg und am Judenberg abgelöst. Weiter westlich vor dem Anstieg auf den Rettenberg sind in der Umgebung der Wüstung Ichendorf ebenfalls noch drei Bodensenkungen vorhanden, deren südliche und nördliche abflußlos sind. Alle diese Formen müssen in ihrer Uranlage auf die Salzauslaugung zurückgeführt werden.

#### 4.5 Das Werratal

Die Vielgliedrigkeit sowohl der geomorphologischen Ausprägung als auch der geologischen Situation lassen es als sinnvoll erscheinen, diesen Teil des Untersuchungsgebietes weiter zu untergliedern und die

einzelnen Abschnitte zunächst getrennt zu betrachten (vgl. Abb. 21, Beil. 2).

##### 4.5.1 Das Werratal zwischen Ermschwerd und Ellershausen

Im Quartär hat sich die Werra in diesem Flußabschnitt in Schichten unterschiedlicher Resistenz am Nordostrand des Unterrerra-Sattels eingeschnitten. Talweitungen (Wendershausen) wechseln mit Engtalstrecken (Lindewerra, Ludwigstein). Mit den Korrelaten der fluvialen Geomorphodynamik haben sich in diesem Flußabschnitt neben vielen anderen Autoren (vgl. 2.2.1.4) auch GARLEFF (1966, 1985) und MENSCHING (1953) beschäftigt.

Ich knüpfe an die Arbeit GARLEFFs (1985:54) an, der nördlich meines Untersuchungsgebietes - bei Unterrieden - Verstellungen im Mittelterrassenkomplex nachweist und auf Subrosion zurückführt. Geomorphographisch ist das an dieser Lokalität - da sie lößüberprägt ist - nicht zu beobachten, doch fügt sich diese Absenkung in die heute noch stattfindenden, geomorphographisch erfaßbaren Auslaugungsprozesse westlich Wendershausen ein, die sich durch flache Bodensenkungen im Auelehmkomplex der Werra ausweisen und als Verlängerung eines aktiven Erdfallzuges südöstlich Wendershausen R 356080 -6120/H 568690-8850 (vgl. 4.12.2) zu sehen sind (Abb. 33). Insgesamt weisen diese Beobachtungen - unterstützt durch eine Bodensenkung zwischen Unterrieden und Witzenhausen (R 3561, H 568970) - einen großräumigen Auslaugungsbereich aus, der sich zwischen Wendershausen, Witzenhausen und Unterrieden erstreckt, und der durch eine Auelehmdecke mit unterlagernden Niederterrassenkiesen überprägt ist. Die am westlichen Rand dieser Großform angetroffenen Senkungsformen widersprechen der Aussage BROSCHEs (1984: 108 ff), der für das Holozän keine Absenkungen in der Werraue mehr beobachtet haben will.

Weiter östlich, zwischen Ludwigsstein und Oberrieden, finden sich am linken Talhang der Werra Bodensenkungen, die bis in die Werratalung hinabreichen. Weitere Auslaugungsformen treten in Werranähe, ebenfalls als Bodensenkungen, nur noch westlich Bischhausen auf.



Abb. 33: Der großräumige Auslaugungsbereich zwischen Wendershausen und Unterrieden.  
 (Luftbild freigegeben unter 32 / 75 durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca.  
 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Mit deutlich konkaver Wölbung (e 5 - e 21) ist das Werratal gegen das westlich ansteigende Bergland abgesetzt. Die Bodensenkungen begleiten die Talbegrenzung und weisen auf aktuelle Auslaugungsprozesse hin. Südlich Wendershausen sind im Talzug zum Klepperberg hin Dolinen und Bodensenkungen abgebildet (f 5 - f 1). Hier liegt auch die Einsturzdoline (vgl. Abb. 30), deren Einbruch auf Salzauslaugung zurückgeführt wird (e 3). Sie war zum Zeitpunkt der Befliegung (Frühjahr 1975) noch nicht eingebrochen.



Die geologisch-tektonischen Verhältnisse weisen für diesen Abschnitt des Werralaufes die Form einer Mulde nördlich der Aufsattelung des Unterwerra-Sattels aus, in der die Werra in der Muldenachse fließt (NIEBERDING 1972: 37 ff). Somit sind hier für die Subrosionsformen die auslaugungsfähigen Substrate des anstehenden geologischen Untergrundes verantwortlich, und zwar: Keuper, Muschelkalk und Röt.

Lediglich der großräumige Auslaugungsbereich bei Wendershausen ist aufgrund der geologischen Situation auf Zechsteinauslaugung zurückzuführen (vgl. 2.2.1). Die Wer-raschlingen bei Werleshausen, Lindewerra und Ellershausen sind hypothetisch - aufgrund des schwachen Gefälles - ebenfalls als großräumige Auslaugungsbereiche zu deuten.

Gewässerbetrachtungen wurden in diesem Abschnitt des Werratales nicht durchgeführt, da einerseits die Versalzung der Werra Einfluß auf den Grundwasserkörper in den wechselnd sandig-lehmig-kiesigen Substraten nimmt (KAULE et al. 1984:8 ff, WOLFF & INTLEKOFER 1982/83:4, WOLFF et al. 1983:4), andererseits die anthropogene Beeinflussung durch die umliegenden Gemeinden bzw. die unterschiedlichen landwirtschaftlichen Nutzungen einen ungestörten Grundwasserleiter nicht erwarten läßt. Dementsprechend gibt es in diesem Flußabschnitt auf der linken Werratalseite keine wasserwirtschaftlichen Förderanlagen im Auenbereich.

#### 4.5.2 Das Werratal zwischen Bad Sooden-Allendorf und Albugen

Dieser Reliefabschnitt scheint durch die fluviale Dynamik der Werra geprägt zu sein. Die eigentlichen Impulse zur Reliefentwicklung gehen aber auf Subrosion und Tektonik im Gefolge des Aufstiegs des Unterwerra-Sattels zurück.

Die Werra tieft sich an der Nordostflanke des Unterwerra-Sattels ein, wobei sie den abtauchenden Grauwackensattel - der hier vorwiegend durch phyllitische Schiefer aufgebaut ist - bei Albugen schneidet. Das zeigt sich in der Kiesgrube nördlich Albugen zwischen dem Altarm und der Bahn. Hier werden Grauwackenstücke bei der Auskiesung

an die Oberfläche gefördert. Darüber hinaus zeigen Bohrungen, die im Zuge der Begrädigung der Werra durchgeführt wurden, den Kontakt zur Grauwacke unter einer 4 bis 5 m mächtigen Kies- und Auelehmbedeckung (Wasserbauamt 2, Kassel 1927). Weiter nördlich an der Sattelflanke fließt die Werra in den Schichtgliedern des Unteren Buntsandsteins. Profile zur tektonischen Übersichtskarte von SCHUBART (1953:Beilage) zeigen bis zu 25° steiles Einfallen der auflagernden Gesteinsserien, aber auch das rasche Umbiegen der Schichten, die rechtswerrisch schon wieder fast söhliche Lagerung mit schwach nordöstlichem Einfallen aufweisen.

In den tektonischen Bewegungen, welche die Gesteinsserien in gestörtem Zustand hinterlassen liegt die Ursache der Werra-Einschneidung an der Ostflanke des Unterwerra-Sattels. Die Gesteinszerrüttung ermöglicht schnellen Zutritt der Tageswässer zum liegenden Steinsalz (NaI). Die durch die Werra bedingte reichliche Wasserzufuhr begünstigt die Auslaugung bis in größere Tiefen.

So erscheint es plausibel, daß vor diesem Hintergrund FINKENWIRTH (1970:216) und RITZKOWSKI (1978:191 und Beilage) von Subrosionssenken in diesem Flußabschnitt sprechen, wobei nach FINKENWIRTH (1970:220) die hochkonzentrierte Kochsalzlauge in Bad Sooden-Allendorf auf die Nähe zum Salzhang weist, den er selbst unmittelbar östlich der Ortschaft unter dem Anstieg zum Sickenberg rekonstruiert. RITZKOWSKI (1978:191) weist unter Vorbehalt in der Salinenbohrung von Bad Sooden Sulfatmächtigkeiten von mehr als 100 m aus. Die geomorphologischen Befunde bestätigen diese Rekonstruktion und zeigen aufgrund des Formenschatzes Parallelen zwischen dem Salzhang nördlich Eschwege (vgl. 4.7.1) und dem großräumigen Auslaugungsbereich um Wanfried auf (vgl. 4.11.1). Auch kann die Auenverbreiterung an der Schlachtekammer im Süden und an der Kläranlage im Norden Bad Sooden-Allendorfs als Indiz für Auslaugung und anschließende Einebnung durch den Fluß gesehen werden (vgl. GMK 25:17). So sprechen sowohl geomorphologische als auch geologische Indizien für Auslaugungsprozesse als Faktor der Talbildung in diesem Reliefabschnitt.

Weiter südlich, in stratigraphisch und geomorphologisch ähnlicher Position lassen

sich zwei weitere großräumige Auslaugungs-  
bereiche aufzeigen. Es sind die Gebiete um  
das Gehöft "Auf dem Seerain" und um die  
Ortschaft Albungen. Gemäß den geologischen  
Verhältnissen sind sie nur nach Osten abge-  
schlossen. Hier ist es die Stufe des Mitt-  
leren Buntsandsteins, unter der heute der  
Salzhang angenommen wird (FINKENWIRTH 1970:  
216 ff, RITZKOWSKI 1978:191). Sie ist ge-  
gliedert durch eine Vielzahl von "Auslau-  
gungssegmenten" (Bezeichnung nach frdl.  
mdl. Mitt. Dr. RÖSING). Geomorphographisch  
handelt es sich um einen Wechsel von Tie-  
fenlinien und Rücken, die in die Richtung  
eines heute nicht mehr vorhandenen Auslau-  
gungszentrums zeigen. Bestes Beispiel für  
die Auslaugungssegmente ist "die Düнау"  
östlich davon. Aber auch die Zertalung im  
Bereich des "Huhngrabens" (Abb. 34) süd-  
lich Rothestein (R 357060-7165 / H 567920-  
8090) zeigt solche Strukturen. Interessant  
ist, daß die Auslaugungssegmente gut 15 bis  
20 m oberhalb der heutigen Werraue aus-  
setzen. Das heißt, sie repräsentieren mit  
ihrem hängenden Talaustritt ein altes Ero-  
sionsniveau der Werra, welches in der Folge  
tiefergelegt und weiter überprägt worden  
ist (vgl. 5.1.4).

Singulär innerhalb dieses Talabschnittes  
ist ein Reliefelement nordöstlich Al-  
bungen (R 357000, H 567850). Von der B 27  
aus gesehen scheint es eine in Auslaugung  
befindliche Form zu sein. Bei der Begehung  
ließen sich aber keine Absenkungserschei-  
nungen feststellen. Es wurden auch keine

**Abb. 34:** Die geomorphographischen Elemente  
über dem Salzhang zwischen Albungen  
und Schloß Rothestein.  
(Luftbild freigegeben unter 8/79-12  
durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaß-  
stab ca. 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung  
sind in Abb. 18 erklärt.

Am linken Bildrand (a-c/10-17) ist die Werra-  
schlinge zwischen Kleinvach und Bad Sooden-  
Allendorf zu erkennen. Sie unterschneidet den  
nach Osten ansteigenden Buntsandstein, der  
infolge Salzauslaugung im tieferen Untergrund  
durch kurze, steile, wannenförmige Talschlüs-  
se (c 17 - d 17, c 15 - e 16, c 14 - f 15,  
c 13 - e 13) gegliedert ist. Sie werden auf-  
grund der Lage zum Werratal als Hängetäler  
bezeichnet, deren Talaustritt im Mittelterra-  
senniveau liegt. Die Aufreihung dieser Re-  
liefelemente wird von RÖSING als eine Folge  
von Auslaugungssegmenten angesprochen (vgl.  
auch Abb. 55).



verstürzten, aus dem Hangenden kommenden Gesteinsbruchstücke nachgewiesen, so daß sich annehme, daß es sich am gesamten orographisch rechten Talhang um fossile Auslaugungsphänomene mit klimagenetischer Oberprägung handelt. Die Werra hat mit ihren vornehmlich ostwärts gerichteten Prallhängen zu einer Unterschneidung dieser Segmente geführt, so daß sich die ehemaligen Zentren der Auslaugung nicht mehr nachweisen lassen.

Weder die Daten der genutzten Gewässer noch die der Oberflächen-Gewässer weisen in diesem Reliefabschnitt auf aktive Auslaugung hin. Die auftretenden hohen Sulfatgehalte stammen aus den Rötgipsen. Die Chloridwerte liegen unterhalb von 30 mg/l (Tab. 15).

#### 4.5.3 Das Werratal zwischen Frieda und Heldra

Eingebettet in die umgebenden Höhen des Muschelkalkes und des Buntsandsteins knickt das Werratal, aus östlicher Richtung kommend, bei Heldra im rechten Winkel nach Norden ab. Die Talsohle liegt zwischen 165

und 170m NN und ist durch schwankende Breiten gegliedert, die durch das Vorschieben von Schwemmfächern der Seitenbäche (bei Heldra, Großenburschla und Völkershäusen) in das Werratal verursacht sind, beziehungsweise durch strukturell bedingte Verhältnisse (Ausläufer des Unteren Buntsandstein: Kromberg nördlich Heldra, Roter Berg - Beckersberg südlich Wanfried und Auesche Kugel - Eichenberg östlich Frieda).

Im Zuge der geomorphographischen Detailaufnahme fiel auf, daß nach strukturell bedingten Talverengungen jeweils amphitheatertartige Weitungen (südlich und nördlich Altenburschla, südlich und nördlich Wanfried umschwenkend bis nach Frieda) auftreten. Sie werden als großräumige Auslaugungsbereiche gedeutet, da sowohl die geomorphographischen, hydrographischen und hydrochemischen Werte innerhalb der geologischen Konfiguration auf Subrosionsphänomene hindeuten.

Der Auslaugungsbereich südlich bzw. nördlich Altenburschla (Abb. 35) zieht sich bis hinüber nach Völkershäusen und wird anhand folgender Indizien bestimmt:

Tab. 15: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Werratal zwischen Bad Sooden-Allendorf und Albugen.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf<br>(µs/m)                              | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|------------|-----------|----------|--------------|---|---|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
|            | R         | / H      |              |   |   |            |            |             |                             |   |                           |
| 0 4725/25  | 356672    | / 568333 | 8.84 - 11.85 | 4 | 765                                       | 16,6       | 13,3       | 3,3         | 238,5                       | 79,4                                    | 55,5                      |
| 0 4725/26  | 356751    | / 568100 | 8.84 - 9.86  | 5 | Balzerborn, gefaßte Quelle, kein Überlauf |            |            |             |                             |   |                           |
| 0 4725/27  | 356890    | / 567972 | 8.84 - 11.85 | 4 | 657                                       | 18,0       | 11,6       | 6,4         | 206,8                       | 153,9                                   | 32,3                      |
| 0 4725/28  | 356850    | / 567887 | 8.84 - 11.85 | 4 | 715                                       | 14,8       | 10,1       | 4,7         | 181,2                       | 112,7                                   | 54,0                      |
| 0 4725/29  | 356900    | / 567815 | 8.84 - 11.85 | 4 | 670                                       | 14,9       | 8,3        | 6,6         | 148,6                       | 158,8                                   | 70,5                      |
| 0 4726/10  | 357024    | / 567777 | 8.84 - 9.86  | 5 | 653                                       | 16,3       | 11,9       | 4,4         | 212,1                       | 106,7                                   | 29,5                      |
| 0 4726/13  | 357023    | / 567933 | 8.84 - 9.86  | 5 | 728                                       | 21,6       | 13,9       | 7,7         | 249,4                       | 187,5                                   | 20,0                      |
| 0 4726/14  | 357063    | / 567955 | 8.84 - 9.86  | 5 | 461                                       | 13,2       | 6,2        | 7,0         | 111,7                       | 168,7                                   | 25,8                      |
| 0 4726/15  | 357081    | / 568003 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1447                                      | 43,1       | 9,9        | 33,2        | 177,2                       | 803,9                                   | 21,0                      |
| 0 4726/16  | 357018    | / 568143 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1362                                      | 42,6       | 9,9        | 32,7        | 177,9                       | 792,2                                   | 21,0                      |
| W 4725/ 3  | 356829    | / 568315 | 12.81 - 5.82 | 2 | 462                                       | 15,2       | 10,9       | 4,3         | 195,1                       | 104,2                                   | 18,3                      |
| W 4725/ 5  | 356898    | / 568290 | 5.81 - 8.83  | 4 | 609                                       | 26,7       | 11,6       | 15,1        | 207,6                       | 366,1                                   | 20,6                      |
| W 4725/ 6  | 356913    | / 568289 | 12.81 - 8.83 | 3 | 555                                       | 22,8       | 11,2       | 10,6        | 200,5                       | 257,0                                   | 18,5                      |
| W 4725/ 7  | 356947    | / 568233 | 5.81 - 8.83  | 3 | 529                                       | 23,4       | 12,1       | 11,3        | 216,6                       | 273,9                                   | 17,1                      |
| W 4725/12  | 356952    | / 567963 | 6.74 - 6.75  | 2 | -   | 26,1       | 13,8       | 12,3        | 247,0                       | 298,2                                   | 23,6                      |



Abb. 35: Der großräumige Auslaugungsbereich südlich Altenburschla.  
 (Luftbild freigegeben unter 21 / 81 durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca.  
 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Die Werratalweitung zwischen Heldra (i-k/1-3) und Altenburschla (a-d/17-20) wird aufgrund sedimentologischer Befunde als großräumiger Auslaugungsbereich gedeutet. Die kartierten Reliefelemente (Bodensenkungen, Talschlüsse und Wölbungen) des hier dargestellten Reliefausschnittes untermauern diese Deutung. Bodensenkungen und kurze, steile, wannenförmige Talschlüsse (j 17 - l 18, g 19 - j 20) weisen auf aktive Auslaugung. Der Buntsandsteinauslieger nördlich Heldra (g-i/3-11) hebt sich durch konkave und konvexe Wölbungen von der Werratalaue ab. Auch er ist durch Bodensenkungen gegliedert. Oberhalb des Anstiegs in den Buntsandstein gliedern Auslaugungssenken im Röt (l-m/19-20) das Relief vor dem Anstieg zum Unteren Muschelkalk am nordöstlichen Bildrand.

- Bodensenkungen östlich und westlich der L 250 (vgl. Beilage 1), die rezente Senkungsprozesse anzeigen und am Anstieg des Buntsandsteins aussetzen. Vergleichbare Phänomene, die als "salzhangparallele Bodensenkungen" bezeichnet werden (vgl. 4.7.3), finden sich nördlich Völkershausen vor dem Anstieg zur Asbachhöhe. Die Senkungen sind zum Teil durch Schwemmfächer kleinerer Gerinne zugeschüttet bzw. geteilt.
- Als hydrographische Merkmale zur Ausgrenzung dieser Formen dient nach STEINMÖLLER (1965:93) zum einen die Altarmhäufung nordwestlich Altenburschla - dort ist ein eigener Auslaugungsbereich ausgewiesen - und die parallel dazu auftretenden lokalen Vernässungszonen, die schon südlich Heldra rezente Auslaugungserscheinungen ausweisen.
- Hydrochemische Informationen für Subrosion bieten die von FINKENWIRTH (1970:216 ff) genannten chloridhaltigen Wasser nordöstlich Altenburschla und die sulfathaltigen Wasser des Tiefbrunnens Roter Berg (vgl. 4.11.1). Hinzuzuziehen wären noch die Sulfatwerte von 433 mg/l, die im Tiefbrunnen Kurshagen (W 4927/4) bei Heldra beobachtet worden sind.
- Als weiterer Beleg für Auslaugung dient die wechselnde Mächtigkeit der Quartärbedeckung, die in diesem Raum zwischen 1 - 2,5 m östlich Frieda (R 357946/H 567340) und 4- 40m südlich Altenburschla (R358348 /H566632) schwankt (GRABNER 1970:71).

Nach Norden schließt sich der großräumige Auslaugungsbereich von Wanfried-Frieda an, der durch den Roten Berg im Süden und den Eichen-Berg im Norden begrenzt wird. An zusätzlichen Informationen für Auslaugung gelten die hydrochemischen Angaben von FINKENWIRTH (1970:216), der um Wanfried vier Standorte mit Sulfatwerten über 300 mg/l ausweist, sowie die Sulfatgehalte des Tiefbrunnens bei Frieda (W 4826/1) mit 312 mg SO<sub>4</sub>/l. Im übrigen gelten für den talfernen Bereich die in Kap. 4.11.1 beschriebenen Beobachtungen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der Talverlauf der Werra in diesem Abschnitt an die östliche Flanke der hier tiefliegenden Aufwölbung des Unterwerra-Sattels gebunden ist. Er ist durch ineinandergreifende großräumige Auslaugungsbe-

reiche gegliedert, deren Randstrukturen den Salzhang im Osten erwarten lassen. Lediglich nördlich Völkershausen sind am westlichen Talhang Bodensenkungen zu beobachten, die hier mit der tieferen, nachfolgenden Gipsauslaugung in Verbindung gebracht werden können.

#### 4.6 Das Wehretal

Aus der Keupermulde bei Hessisch Lichtenau kommend, in der der Sontra-Graben und der Altmorschen-Lichtenauer Graben zusammenlaufen, erreicht die Wehre mit ost-südöstlicher Fließrichtung bei 330 m NN das Untersuchungsgebiet. Bei Oetmannshausen knickt sie im rechten Winkel nach Nordnordost ab, nimmt die Sontra bei 182,5 m NN auf und mündet bei 156 m NN nördlich Niederhone in die Werra. Bezogen auf Auslaugungsphänomene gliedert sich das Wehretal in zwei Abschnitte. Der Oberlauf, und zwar vom Eintritt in das Untersuchungsgebiet bis in den Raum Waldkappel, ist durch ein Kerbsohlen- bzw. Sohlental gekennzeichnet, was keine Auslaugungserscheinungen anzeigt. Erst im Unterlauf, ab Waldkappel und verstärkt ab Oetmannshausen, prägen Auslaugungsphänomene den Talverlauf.

Zwischen Harmuthsachsen und Waldkappel lassen sich geomorphographisch einzelne Auslaugungsstrukturen nachweisen. Sie treten in Talweitungen als Bodensenkungen und am rechten Wehrehang durch kurze, steile, wannenförmige Talschlüsse auf (vgl. Beil. 1). Am linken Talhang ist zwischen Waldkappel und Oetmannshausen nur eine Bodensenkung westlich der Wüstung Rudelshausen zu beobachten. Weitere Auslaugungsbereiche sind indirekt (nach STEINMÖLLER 1965:93) durch weite Vernässungszonen im Bereich der Ortschaft Bischhausen und westlich Oetmannshausen nachzuweisen. Eine Bohrung westlich Bischhausen weist noch 42 m Werraanhydrit auf (FINKENWIRTH 1970:216). Die gegenüber dem Eschweger Raum oder dem östlichen Meißnervorland deutlich reduzierte Mächtigkeit unterstützt die These der Absenkung durch Auslaugung.

Bereits vor dem Abknicken des Wehretals in nördliche Richtung treten verstärkt Auslaugungsphänomene auf. Sowohl breite Vernässungszonen, als auch die von HILDEBRAND &

PRINZ (1973:3 ff) sowie PRINZ (1982:372) gemachten Beobachtungen, daß Seitentäler im linken Wehrehang mit heute geomorphologisch kaum sichtbaren Auslaugungsbereichen in Verbindung stehen, deuten den Einfluß der Subrosion an. Darüber hinaus ist zu beobachten, daß, wie in dieser Lage zu erwarten, die Schwemmfächer der Seitentäler nur sehr schwach entwickelt sind.

Im einzelnen finden sich großräumige Auslaugungsbereiche im Wehretal bei Bischhausen und Hoheneiche, bei Reichensachsen, im Bereich der Einmündung des Vierbachtals und zwischen Niddawitzhausen und Eltmannshausen. Für den letztgenannten Bereich spricht eine Vernässungszone, die punkthafte Absenkung markiert und auf der alten topographischen Karte Waldkappel (1886) angegeben ist (R 356990/ H 567152). Diese vorwiegend auf den linken Talbereich bezogenen Beobachtungen haben ihre Entsprechungen auch am gegenüberliegenden Talhang. So liegt die Ortschaft Reichensachsen am Rande des östlich der Vierbachtalmündung gelegenen Auslaugungsbereiches, wobei zu beachten ist, daß der bei Langenhain aufgezeigte Na 1-Auslaugungsbereich (vgl. 4.7.3) in eine Absenkungszone des Unteren Buntsandsteins gehört, die sich bis nach Reichensachsen auswirkt. Gleiche Erscheinungen finden sich auch an den auslaugungsbedingten Einbuchtungen im Unteren Buntsandstein (vgl. 4.7.3) zwischen Reichensachsen und Oberhone (Abb. 36), die sich zum Teil weit in die Fußflächenregion hineinziehen. Einzelne Erdfälle und Einsturzdolinen lassen sich nördlich Reichensachsen (R 357028/H 566987) und nördlich Eltmannshausen (R 356950/H 567328) beobachten. Letztere deuten HILDEBRANDT & PRINZ (1973:7) als im mit 35° geneigten Gipshang\* stehend, der von der Auslaugungsfront des Wehretales gebildet wird. Die gleiche Annahme gilt auch für die bei Reichensachsen beobachteten Auslaugungserscheinungen. Unter Hinzuziehung dieser Argumente zeigt der Auslaugungsformenschatz auf der Linie Weinberg-Oberhone-Eschwege den Stand der Al-Auslaugung nach Osten an. Diese Deutung bezieht die von HILDEBRANDT & PRINZ (1973:6, Profil b) erzielten Ergebnissen im Übergangsbereich Wehretal-Werratal, wo kein Werraanhydrit mehr nachzuweisen ist, mit ein.

\* Der Begriff Gipshang wird in Anlehnung an den Begriff Salzhang gebraucht.

Im Gelände lassen sich die Auslaugungsbereiche im untersten Wehretal - in der Gemarkung der Ortschaft Niederhone - nur noch schwer nachweisen, sieht man von Beobachtungen von HILDEBRANDT & PRINZ (1973:3 f) ab, die auf Bohrungen und fallgewichtseismischen Profillinien beruhen. Demnach ist die Auslaugungstendenz im Abschnitt des Wehre-Werra-Zusammenflusses aufgrund des Fehlens des Werraanhydrits gering, so daß die Schwemmfächerbildung aus den Seitentälern wieder verstärkt einsetzen kann (z.B. Weingraben, Tiefenlinie der Straße nach Weidenhausen). Die Auslaugung wirkt heute vor allem in der Umgebung des Bahnhofs Eschwege-West. Hier liegt der Gipshang nahe der Bahn und der Bundesstraße 27, so daß in diesem Raum, vorwiegend durch Erschütterungen infolge Bahn- und Schwerlastverkehrs Senkungsbewegungen über ausgelagten Hohlräumen zu verzeichnen sind. Das benötigte Wasser für diese Prozesse kommt weniger aus der Wehre als vielmehr aus dem angrenzenden östlichen Meißnervorland, daß durch Trokentalsysteme mit episodischem Oberflächenabfluß geprägt ist.

Die Wasseranalysen zeigen für die Oberflächenwässer keine bedeutenden Werte, sieht man einmal von der Karstquelle westlich Eltmannshausen (Probe O 4825/17) mit 707 mg  $SO_4$ /l ab, die im Gipshang steht. Die genutzten Wässer sowohl des Hochbehälters in Eltmannshausen (W 4825/1: 482 mg  $SO_4$ /l) als auch die in Kap. 4.7.3 und 4.4.3 beschriebenen Wässer am Wehretal treten in der Umgebung des "Gipshanges" aus.

Zusammenfassend läßt sich der durch Auslaugungserscheinungen gegliederte Unterlauf der Wehre so erklären, daß schnelle Salzauslaugung (Na 1), ausgehend vom Unterwerra-Sattel, die Großformen beeinflusste, wobei die tektonischen Leitlinien (Netragraben) z.T. nachgezeichnet wurden. Die folgende Gipsauslaugung (vorwiegend Al) schuf dann den Klein- bis Mittelformenschatz, in dessen Gefolge sich lokale Gipshänge mit den typischen Einzelformen im Hangenden, bildeten.

#### 4.7 Das Eschweger Becken

Diese Einheit, in der Verlängerung der abtauchenden Sattelachse gelegen, ist geomor-

phologisch besonders durch die Na 1-Auslaugung (WEBER 1952:120) geprägt. Daß in einer Bohrung bei Eschwege kein Steinsalz mehr gefunden wurde, ist für WEBER (1952:120) kein Argument, das gegen Auslaugung spricht, sondern dafür, daß das Na 1 ausgelaugt wurde. FINKENWIRTH (1970:219 f) übernimmt diese Interpretation. Aus geomorphologischer Sicht stützt der vorhandene Formenschatz diese Interpretation. Ungeachtet der fluvialen Dynamik, die, wie sich an den umgebenden älteren Terrassenniveaus zeigt, sehr aktiv gewesen ist, kommt subrosiven Prozessen bei der Genese des Eschweger Beckens eine wichtige Rolle zu. Voraussetzung ist, daß im Deckgebirge ein bestimmtes Erosionsniveau erreicht war, daß Wasser vorhanden sein mußte (die Werra), daß Wasser Zutritt zum Salinar hatte (tektonische Zerrüttung infolge Unterwerra-Sattel- Aufwölbung) und daß die Sole abfließen konnte (ELLENBERG 1982:62).

Das Eschweger Becken wird in drei Abschnitte unterteilt (vgl. Abb. 21, Beil. 2), die durch die Auslaugung unterschiedlich beeinflusst sind. Es handelt sich um die Gebiete des Unteren und Mittleren Buntsandsteins zwischen Fürstenstein und Frieda, um die Werratal-Aue zwischen Frieda und Fürstenstein und um die Fußflächenregion des Unteren Buntsandsteins zwischen Reichensachsen und Aue.

#### 4.7.1 Die Buntsandsteinverebnungen zwischen Frieda und Fürstenstein

Südlich Frieda reicht der Mittlere Buntsandstein bis ins Werratal hinab. Er begrenzt die von GANGEL (1970:118 f) ausgewiesene Subrosionssenke in der Werra-Aue. Ohne geomorphologisch erkennbare Absenkungen zieht er den Hang des Meinhards empord und bildet oberhalb Grebendorf in Richtung Diedscher Kopf, Lindenau sowie oberhalb Jestädt bis hin zur Uhlenkuppe den Steilabfall zum Werratal. Geomorphographisch ist er gekennzeichnet durch kurze, steile Tal-schlüsse, die durch Hohlwege überprägt sind. Unterteilt wird der Steilabfall durch den Kellaer Bach, den Schambach und den Mühlbach.

An Subrosionsformen lassen sich inverse Erdfälle (in Reliefumkehr herauspräparierte

Erdfallfüllungen) an der Kleinen Hasselkuppe, der Hasselkuppe und am Hahnkroth (Abb. 37) nachweisen (mdl. Mittl. Dr. RÜSING). Letzterer ist von KUNZ (1962:78) durch weiträumig umlaufendes Schichteinfallen im Buntsandstein zweifelsfrei als Auslaugungsbereich belegt. Die Vorstellung geht dahin, daß über dem ausgelaugten Zechsteinsalz die Deckschichten punktuell nachbrechen mit der Folge, daß eine Scholle geomorphologisch resistenten Unteren Muschelkalkes in solch einen "Großerdfall" einbricht und durch die abtragenden Kräfte in Reliefumkehr wieder herauspräpariert wird. Ober diese Form hinaus hat KUNZ (1962:78 f) einige Auslaugungssenken an der Grenze Chiroterien-Sandstein / Solling-Sandstein unterhalb der Hasselkuppe sowie südlich Neuerode verzeichnet. Bei der Begehung stellte sich im Vergleich zu ähnlichen Phänomenen auf der Gobert heraus, daß es sich hier um Gruben handelte, in denen entweder nach dem bankigen Solling-Sandstein oder nach Sand aus dem Chiroterien-Sandstein geschürft wurde. Erst zwischen dem Diedschen Kopf und Neuerode treten wieder auf, die den Formen auf der Hochfläche zwischen Ferneberg und Auf dem Berge vergleichbar sind. Sie gehen in dieser Höhenlage auf Kalkauswaschungen im Chiroteriensandstein zurück, der hier bis zu 80 % Kalk enthält (frdl. mdl. Mitt. Dr. KUHNERT). Erst auf dem von KUNZ (1962:78) als Absenkungsbereich nachgewiesenen Areal um den Hahnkroth lassen sich einige Erdfälle kartieren, die auf die Auslaugung im tieferen Untergrund zurückgeführt werden können (Abb. 37). Sie liegen nördlich und südlich des Hahnkroth sowie in einer Trichterform (R 357128/ H 567665).

Südlich dieses großen Absenkungsbereiches, zwischen Jestädt und Schambach, sind auf dem Mittel- und Unterhang schüsselförmige Erdfälle und Bodensenkungen zu beobachten, die auf die Auslaugung des Werra-Anhydrits zurückgehen. Sie reichen bis an die stillgelegten, als Freizeitgelände genutzten Kiesgruben im Werratal heran. Analog zu den in Kap 4.7.2 beschriebenen salzhangparallelen Bodensenkungen lassen sich diese Formen auch am rechten Werratalhang zur Abgrenzung des Salzhanges heranziehen. Hinzu kommt die unterschiedliche Ausprägung der Schwemmfächer des Scham- und des Mühlbaches. Im Gegensatz zum Schambachfächer, der der Werra-

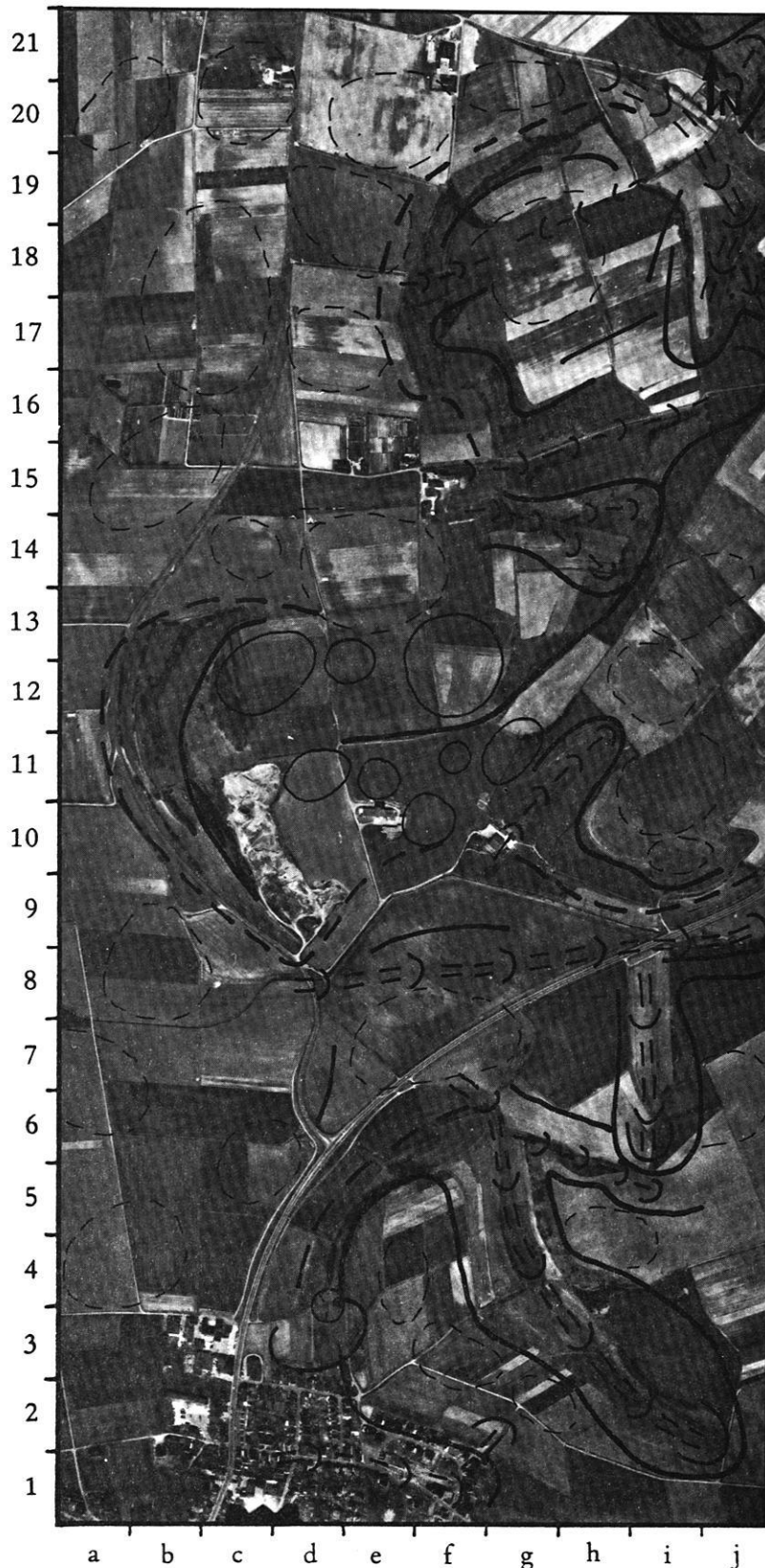


Abb. 36: Auslaugungsbedingte Einbuchtungen am Osthang des Wehretals zwischen Reichensachsen und Oberhohne.  
 (Luftbild freigegeben unter 2/76-2 durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca. 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Der Geländeabschnitt zwischen Reichensachsen im Süden und Oberhohne außerhalb des nördlichen Bildrandes gibt Einblick in das Relief der gegen das Wehretal ausstreichenden Fußflächenzone des Unteren Buntsandsteins und ihre bergang in den Zechstein im mittleren Bildabschnitt. Dolinen, Auslaugungssenken und Bodensenkungen weisen auf heute noch wirksame Gipsauslaugung. Wölbungslinien gliedern die Einbuchtungen (i-j/17-21, i-j/16, g-h/11, i/6-8, f 6 - j 1) in die Fußfläche des Unteren Buntsandsteins, deren Regelmäßigkeit auf die Zerrüttung durch Auslaugung im tieferen Untergrund mit anschließender Ausräumung zurückgeführt wird.



Aue aufsitzt, ist der Mühlbachfächer in einen großräumigen Auslaugungsbereich eingeschwenkt und tritt geomorphologisch nicht in Erscheinung. Die auftretenden Einzelformen stehen im Zusammenhang mit dem Gipskarstgebiet um den Fürstenstein.

Westlich dieses Gebietes zwischen Mühlbach, Uhlenkuppe und Werra liegt der Weinberg (245 m NN). Er ist an seiner nordwestlichen Flanke von Schottern aus dem Werraeinzugsgebiet bedeckt und gilt klimageomorphologisch als die älteste pleistozäne Reliefgeneration (MÜLLER 1979:47, 61). Um ihn herum, auf den Fürstenstein zu und von dort Richtung Leinenkuppe - Uhlenkuppe hat sich ein durch die Auslaugung des Werra-Anhydrits verursachtes Gipskarstgebiet entwickelt (Abb. 37), das von Laughöhlen, Schlucklöchern, trichter- und schüsselförmigen Erdfällen, Bodensenkungen, Einsturz- und Schwunddolinen sowie Auslaugungssenken durchsetzt ist.

Verständlich wird die Anordnung dieser Formen, wenn die geologischen Verhältnisse beachtet werden (vgl. 2.1.1). Steht noch südwestlich der Burg Fürstenstein, ca. 30 m über der Werra, der abtauchende Unterwerra-Sattel mit der Zechsteindiskordanz an (Probeschurf), so sind 600 m weiter südlich, im aufgelassenen Steinbruch am Jestädter Weinberg, nur noch Zechstein in der Folge Zechsteinkalk, Werra-Anhydrit, Auslaugungsbrekzie, Braunroter Salzton, Hauptdolomit anzutreffen. Im Rückhang der Zechsteinklippen, die dieses Areal am rechten Werratalhang prägen, findet sich immer wieder der in Auslaugung befindliche Werra-Anhydrit (A1). Da hier aufgrund der geringen Entfernung von der Achse des Unterwerra-Sattels das Einfallen der permischen Deckschichten auf die Gobert zu noch stark ist, kann in der Umgebung des Fürstensteins die Auslaugung durch Tageswässer voll wirksam werden. Die Zerrüttung des Hangenden durch die vorangegangene Salzauslaugung hat gute Wasserwirksamkeit bewirkt, wie sich an den Trockentälern hier, aber auch im weiter östlich gelegenen Diebsgraben, im Badestal und an den frisch eingebrochenen Erdfällen im Bernstal zeigt.

In den Wassergewinnungsanlagen dieser Region (Tab. 16) zeigt sich der Kontakt zum Werra-Anhydrit bei Jestädt. Der dortige

Hochbehälter hat einen Sulfatanteil von 385 mg/l (W 4726/6), der auf geogene Belastung ebenso zurückgeführt wird wie der Sulfatanteil von 261 mg/l (W 4726/7) in Schloß Wolfsbrunnen bei Schwebda. Ein hoher Chloridgehalt von 927 mg/l ist in der Quellgruppe südlich des Bahnhofs Schwebda festzustellen. Hier scheinen die nördlich gelegenen Verebnungen - Flächen des Buntsandsteins -, die über keine oberflächenhafte Entwässerung verfügen, über eine Kluffquelle (FINKENWIRTH 1970:217) zu entwässern, deren Wasser im tieferen Untergrund das Na 1 streift. Dies ist ein zusätzliches Argument, daß der Salzhang auch auf der nördlichen Seite des Werratales in nicht zu großer Entfernung vom Talgrund liegen kann.

Die Oberflächengewässer Kellaer Bach (O 4726/2) und Frieda (O 4726/1) zeigen für Fließgewässer hohe Sulfatwerte, die entweder auf die Entwässerung des gipshaltigen Röt oder auf den Kontakt mit Werra-Anhydrit im Untergrund zurückgeführt werden müssen. Für die Flachbrunnen im Friedatal hat FINKENWIRTH (1970:218) letzteren Sachverhalt belegt. BRÜHL & THEURER (1986:47) zeigen den Kontakt sulfathaltiger Tiefenwässer am südlichen Werratalhang auf und führen ihn ebenfalls auf Kontakt zu den Gipsen des Zechsteins zurück.

#### 4.7.2 Die Werratalaue

Dieses Kapitel beschreibt den Raum zwischen Frieda und dem Fürstenstein. Nimmt man als zusätzliches Argument für Auslaugung noch das plötzliche Auftreten von Talweitungen hinzu, so läßt sich anhand der im Gelände nur noch schwach in Erscheinung tretenden Werra-Altarme, die in Subrosionsgebieten besonders zahlreich angetroffen werden (GANGEL 1970: 80), ein großräumiger Auslaugungsbereich zwischen Niederdünz bach und Schwebda aufzeigen. Er wird auch von FINKENWIRTH (1970:216) und RITZKOWSKI (1978: 191) bestätigt. Innerhalb dieser Form liegt die Kluffquelle südlich des Bahnhofs Schwebda sowie eine Tiefbohrung, verzeichnet in FINKENWIRTH (1970: Abb. 1), die 88 m A1, aber kein Steinsalz mehr angetroffen hat. THEURER (1983:23 ff) sieht in Anlehnung an GANGEL (1970: 118 ff) den Flußlauf zwischen Frieda und Jestädt als durch Salzauslaugung überprägt an, indem

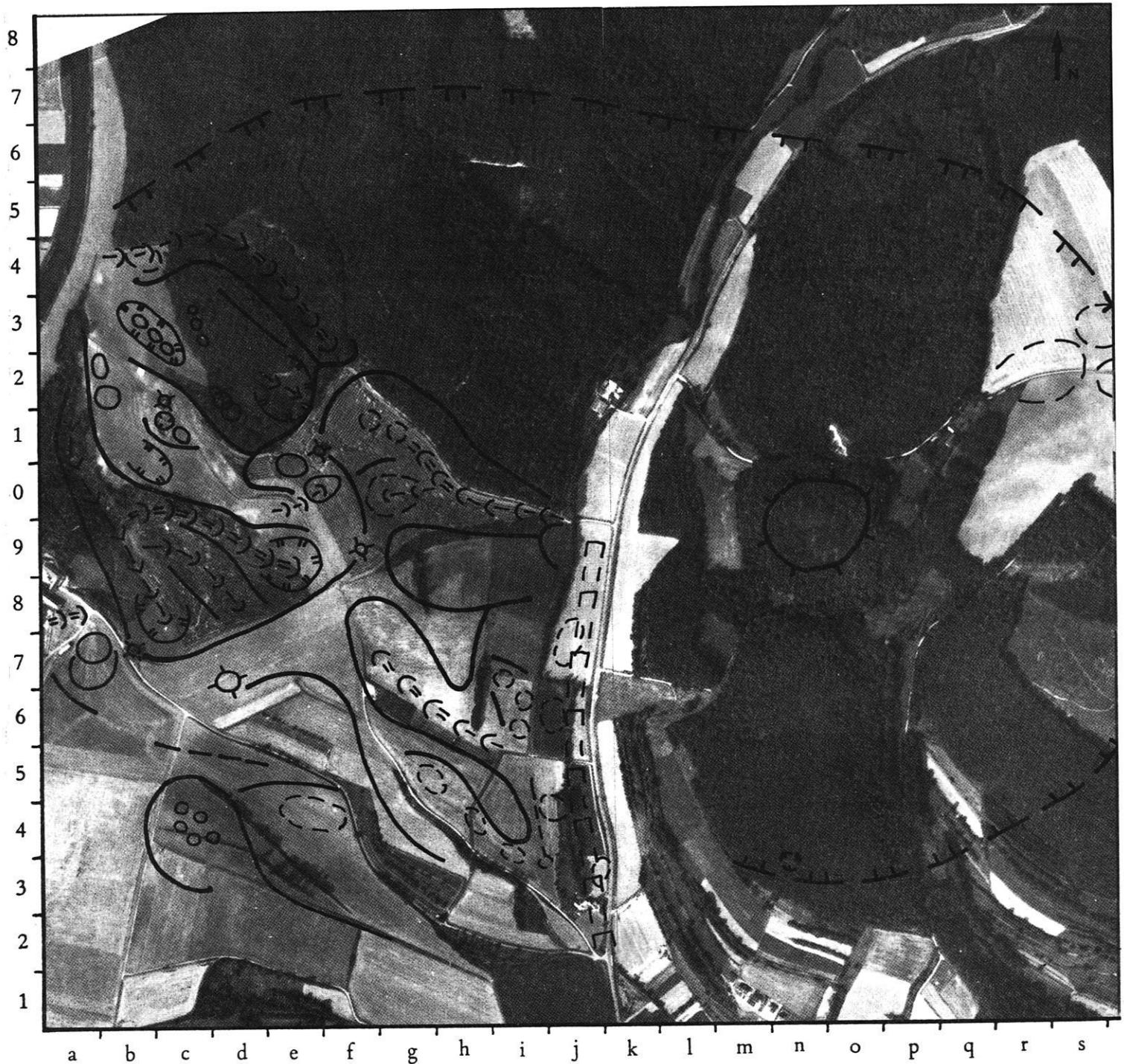


Abb. 37: Auslaugungsformen zwischen Hahnkroth und Fürstenstein.  
 (Reprographie des Luftbildplanes der TK 4726 Grebendorf:7, Bildmaßstab 1:10 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Der ausgewiesene großräumige Auslaugungsbereich liegt nördlich Jestädt. Die Begrenzung ist durch das Einfallen des Mittleren Buntsandsteins nachgewiesen (KUNZ 1962). Die Muschelkalkkuppe (j 14-15) des Hahnkroth (die Kuppensignatur ergibt sich aus der Wölbungslinie und den nach außen gerichteten Zacken) und die unmittelbar anschließende nördliche Erhebung (g 15), in der in einem Steinbruch Muschelkalk aufgeschlossen ist, weisen auf eine inverse Landschaftsform hin. Am östlichen Bildrand (g 18-20) sind einige Bodensenkungen anzutreffen, die auf Kalkauswaschung im Chiroteriensandstein zurückzuführen sind. Der westliche Bildrand zeigt das Gut Fürstenstein (j-k/1) und seine Umgebung. Hier verursacht die Gipsauslaugung im abtauchenden Zechstein die Oberflächenformen.

sie die durchschnittliche Mächtigkeit der Niederterrasse mit 3,0-6,6 m angibt, die in Absenkungsbereichen auf 8,0-11,0 m ansteigt. Das heißt, hier haben Salzauslaugungen zur Zeit der Ablagerung der Niederterrassenschotter stattgefunden. Als weiteres indirektes Argument zieht sie den Wasserchemismus in diesem Auslaugungsbereich heran, der bei Erreichen des Niedrigwasserstandes in Trockenjahren sowohl von chloridischen und sulfatischen Tiefenwässern beeinträchtigt wird. Das heißt, daß unter der Werratal-Aue, in begrenzten Auslaugungsbereichen, heute noch Indizien gefunden werden, die eindeutig auf Subrosion hinweisen.

Im Relief lassen sich diese Prozesse anhand von Formen erst wieder gegen den Salzhang an der Schichtstufe des Schlierbachswaldes (FINKENWIRTH 1970:217) bzw. gegen den in Kap. 4.7.1 beschriebenen rechten Werratalhang aufzeigen. Der Fuß des Salzhanges unterhalb der Asbachhöhe und des Sohlberges wird von hangparallelen Bodensenkungen begleitet. Er befindet sich innerhalb eines eigenen großräumigen Auslaugungsbereiches in Verlängerung der Frieda. Anhand der wannenförmigen Talschlüsse läßt sich noch ein weiterer großräumiger Auslaugungsbereich östlich des Lipping (R 357764 / H 567134) nachweisen.

Tab. 16: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Eschweger Becken.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf         | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|------------|-----------|----------|--------------|---|------------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|            | R         | / H      |              |   | (µs/m)     | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| 0 4726/ 2  | 357687    | / 567569 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1066       | 29,2 | 11,7 | 17,5 | 209,1             | 424,2                         | 29,6            |
| 0 4726/ 3  | 357375    | / 567500 | 8.84 - 9.86  | 5 | 3614       | 46,2 | 9,8  | 37,4 | 175,4             | 906,7                         | 949,2           |
| 0 4726/ 4  | 357444    | / 567594 | 8.84 - 9.86  | 5 | Trockental |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4726/ 9  | 357128    | / 567711 | 8.84 - 9.86  | 5 | 698        | 18,8 | 11,1 | 7,6  | 198,3             | 184,2                         | 28,4            |
| 0 4726/11  | 357090    | / 567655 | 8.84 - 11.85 | 4 | 1295       | 39,2 | 10,6 | 28,6 | 188,9             | 692,1                         | 32,8            |
| 0 4726/12  | 357236    | / 567579 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1007       | 26,7 | 10,7 | 16,0 | 192,3             | 387,4                         | 32,2            |
| 0 4826/ 1  | 357509    | / 567011 | 10.84 - 9.86 | 5 | 454        | 12,1 | 7,0  | 5,1  | 125,3             | 124,6                         | 40,8            |
| 0 4826/ 2  | 357640    | / 567170 | 10.84 - 9.86 | 5 | 729        | 16,6 | 8,4  | 8,2  | 149,5             | 197,6                         | 68,8            |
| 0 4826/ 3  | 357568    | / 567323 | 10.84 - 9.86 | 5 | 642        | 12,6 | 7,2  | 5,4  | 128,9             | 130,3                         | 58,5            |
| 0 4826/ 4  | 357912    | / 567213 | 10.84 - 9.86 | 5 | trocken    |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4826/ 5  | 357953    | / 567261 | 10.84 - 9.86 | 5 | trocken    |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4826/17  | 357181    | / 566810 | 10.84 - 9.86 | 5 | 300        | 5,9  | 2,6  | 3,3  | 46,5              | 80,8                          | 28,0            |
| 0 4826/18  | 357066    | / 566887 | 10.84 - 9.86 | 5 | 567        | 13,8 | 9,4  | 4,4  | 167,9             | 106,7                         | 49,4            |
| 0 4826/19  | 357166    | / 566853 | 10.84 - 9.86 | 5 | 562        | 15,5 | 9,2  | 6,3  | 164,7             | 151,5                         | 45,3            |
| 0 4826/20  | 357235    | / 566890 | 10.84 - 9.86 | 5 | 485        | 10,0 | 4,1  | 5,9  | 74,1              | 144,0                         | 60,6            |
| 0 4826/21  | 357171    | / 567011 | 10.84 - 9.86 | 5 | 780        | 17,8 | 11,2 | 6,6  | 200,5             | 160,0                         | 55,2            |
| 0 4826/22  | 357094    | / 566940 | 10.84 - 9.86 | 5 | 451        | 9,1  | 3,0  | 6,1  | 53,7              | 147,9                         | 35,5            |
| 0 4826/23  | 357057    | / 567064 | 10.84 - 9.86 | 5 | 804        | 19,6 | 10,3 | 9,3  | 184,4             | 226,4                         | 58,5            |
| 0 4826/24  | 357042    | / 567230 | 10.84 - 9.86 | 5 | 787        | 19,5 | 10,8 | 8,7  | 192,4             | 210,9                         | 40,3            |
| 0 4826/25  | 357129    | / 567315 | 10.84 - 9.86 | 5 | trocken    |      |      |      |                   |                               |                 |
| W 4726/ 6  | 357152    | / 567645 | 9.80 - 10.83 | 4 | 681        | 28,8 | 12,9 | 15,9 | 230,9             | 385,5                         | 26,5            |
| W 4726/ 7  | 357741    | / 567490 | 5.79 - 3.84  | 3 | 727        | 22,8 | 12,0 | 10,8 | 214,8             | 261,8                         | 17,1            |
| W 4826/ 2  | 357370    | / 567315 | 10.81 - 3.84 | 6 | 503        | 17,1 | 12,1 | 5,0  | 216,6             | 121,2                         | 39,9            |
| W 4826/ 3  | 357676    | / 567204 | 9.82 - 3.84  | 4 | 687        | 25,9 | 13,7 | 12,2 | 245,2             | 295,8                         | 28,5            |
| W 4826/ 4  | 357469    | / 567154 | 9.82 - 2.84  | 3 | 126        | 51,9 | 11,9 | 40,0 | 213,0             | 969,7                         | 30,4            |
| W 4826/ 7  | 357286    | / 566748 | 6.81 - 9.83  | 3 | 331        | 12,4 | 10,4 | 2,0  | 186,2             | 48,5                          | 13,3            |

Ober diese Beobachtungen hinaus weist das ausgedehnte Auftreten der Werra-Altarme auf weitere Absenkungsgebiete. Sie sind schon in der topographischen Karte von 1876 erfaßt. Dort sind sie als sumpfige Flächen dargestellt, die nach STEINMÖLLER (1965:93) als Indizien für Absenkung gesehen werden. Die Altarme sind gekennzeichnet durch humose, schwarz graue, sandige Lehme und heben sich vom üblichen rötlich-braunen, tonig-sandigen Lehm bis lehmigem Sand ab. So sind dann auch heute noch, trotz der veränderten Nutzungsmuster (Kiesgruben, Drainage landwirtschaftlicher Flächen) diese ehemaligen Altarme sowohl in der Feinmorphologie als

auch in der Bodenfärbung zweifelsfrei nachzuweisen. Für das Eschweger Becken läßt sich unter Hinzuziehung dieser auf Auslaugung hinweisenden Beobachtung der Auslaugungsbereich von Niederdünz bach - Schwebda erweitern. Er reicht bis zur Talweitung unterhalb des Weinbergs bei Jestädt, wobei seine südliche Grenze die Verbindungslinie von Niederhone über das Industriegelände zum Leuchtberg darstellt.

Zusammengenommen läßt sich die gesamte Werra-Aue um Eschwege als großräumiger Auslaugungsbereich ansehen (Abb. 38), wobei die Auslaugung nach drei Seiten greift. Nach

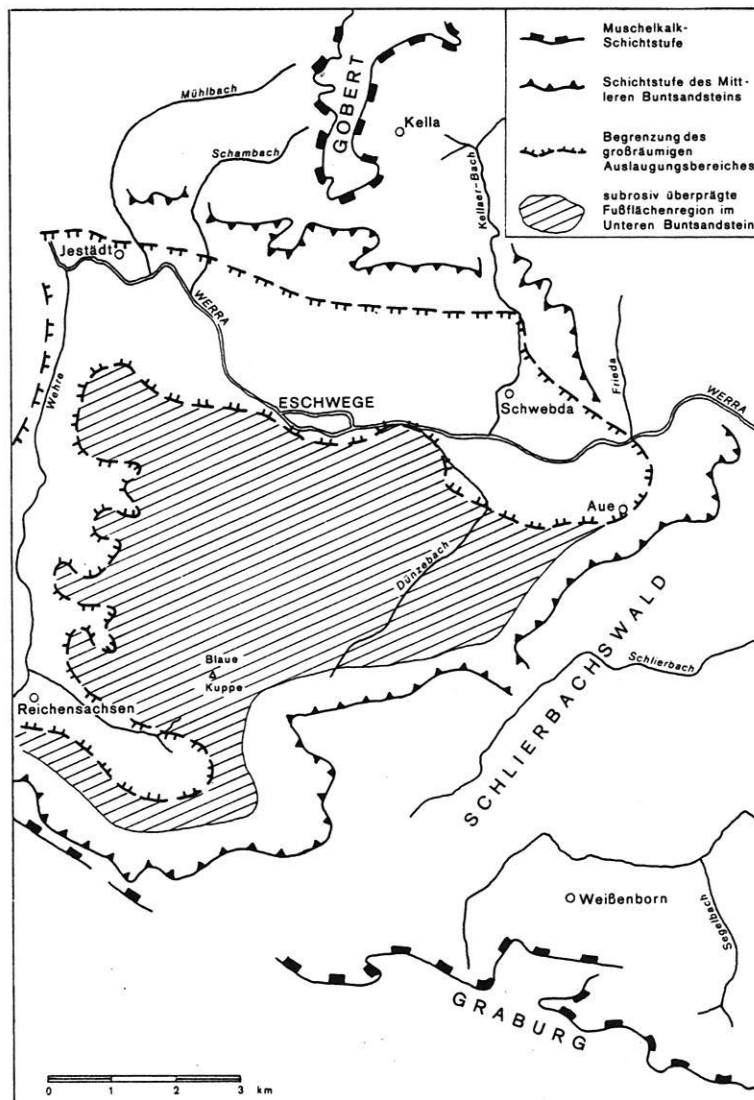


Abb. 38: Der großräumige Auslaugungsbereich des Eschweger Beckens und seine Randstrukturen.

Die Abbildung zeigt die Umgebung von Eschwege. Sie wird begrenzt durch die Schichtstufen des Unteren Muschelkalkes. Weite Bereiche sind durch Auslaugungsprozesse geformt. Detailinformationen, die sich in diesem blick einpassen, geben die Abb. 36, 37, 39, 40 und 53.

Nordosten (Fürstenstein, Jestädt), nach Südwesten (Niederhone, Wehretal) und nach Südosten (Schwebda, Aue, Niederdünz bach).

Als weiteres Argument für noch aktive Auslaugung kann die Schließung der Wassergewinnungsanlagen Herrenrasen (R 357270 / H 567418) infolge zu hohen Sulfatgehaltes (THEURER 1983:53) gewertet werden. Die Betrachtung der heute genutzten Wässer zeigt das in Auslaugungsgebieten typische Verhalten von Flachbrunnen. Sie stehen wie bei Niederdünz bach bzw. wie bei Frieda in Verbindung mit Werra-Anhydrit, was sich an den Sulfatwerten von 295 mg/l für Niederdünz bach und 312 mg/l für Frieda zeigt.

Warum die Leuchtberge, die dem Schichteinfallen nach zum Meinhard und nicht zum Hunsrück gehören, in dieser Position als Umlaufberge mit auch südlichen Schotterfunden (vgl. MOESTA 1876 c, JÄGER 1925), stehen geblieben sind, kann nur so gedeutet werden: Entweder ist es im Gefolge des Aufstiegs des Unterwerra-Sattels zu Salz- und Gipsverdrückungen gekommen, so daß dieser Buntsandsteinauslieger in direktem Kontakt zum Grundgebirge steht, ähnlich den Triaschollen bei Hundelshausen (vgl. 4.12.1), und so durch umgreifende Auslaugungsvorgänge, die geomorphographisch nachgewiesen sind, nicht zerrüttend erfaßt werden konnte (hierfür spricht die aufgeschlossene Flexur zwischen dem großen und dem kleinen Leuchtberg); oder, und das schließt einen größeren Rahmen ein, es haben sich radial um den Unterwerra-Sattel angeordnete isolierte Auslaugungsstrukturen im Untergrund gebildet, in die im Tertiär Basalt intrudierte. Der Bilstein, der Schwiemelstein, der Meißner, der Rosenbühl, die Blaue Kuppe und die Kleine Kuppe bei Eschwege liegen auf einer

um den Unterwerra-Sattel angeordneten Linie, in deren Verlängerung die Leuchtberge als auf einem Basaltkissen ruhend interpretiert werden könnten.

#### 4.7.3 Die Fußflächenregion des Unteren Buntsandsteins

Dieses Areal zwischen Reichensachsen und Langenhain im Süden und Eschwege sowie Aue im Norden zeigt das Gebiet, unter dem die Salzauslaugung weit auf die Schichtstufe des Mittleren Buntsandstein zu fortgeschritten ist. In deren Folge ist das Hangende, der Untere Buntsandstein, in sich zerrüttet und sowohl pleistozän als auch holozän überprägt worden. Weite Areale, zwischen Langenhain-Reichensachsen, Weinberg-Oberhone und Niederhone-Eschwege sind durch Löß verkleidet. Er erreicht im Gebiet bei Langenhain Mächtigkeiten von mehr als 12 m und nivelliert die Kleinformenvielfalt. Die Fußflächenregion - ca. 80 m über der Werra-Aue und damit im Hauptterrassenbereich, vgl. Kap. 4.7.1., 2.2.1 - läßt sich durch die Kennzeichnung weit gespanntes, durch Wölbungslinien gegliedertes Hügelland charakterisieren. Seine Zertalung ist auf die Vorfluter Werra und Wehre eingestellt und ist unterschiedlich weit fortgeschritten. Vom Zechsteinausstrich bei Oberhone greifen großräumige Auslaugungsbereiche nach Osten bzw. nach Süden in die Verebnung ein. Sie finden ihre Fortsetzung im Tal des Geidelbachs und in den kurzen, steilen, wannenförmigen Talschlüsse südlich Eschwege. Letztere werden ab dem Zelchersbach (Cyriakusbach) und weiter nach Osten durch die Zertalung infolge Hohlwegnutzung mit linienhaften Abfluß zusätzlich geprägt. In ihnen zeigt sich die zerstörte Struktur des Unteren Buntsandsteins anhand der nicht

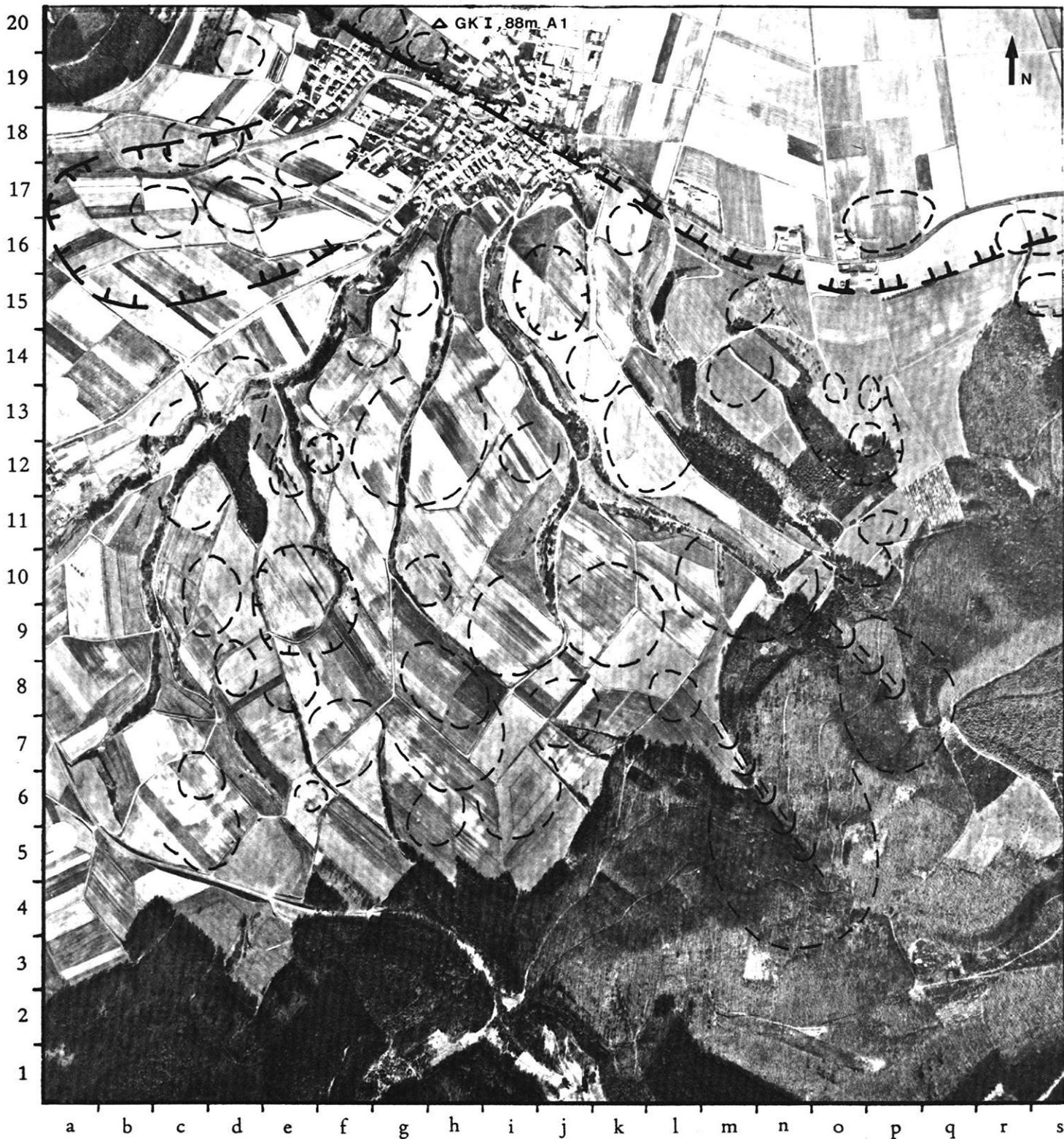
Abb. 39: Durch Auslaugung zerrüttete Fußflächenregion im Unteren Buntsandstein südlich Niederdünz bach.  
(Luftbild freigegeben unter 2/76-2 durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca. 1 : 13 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Zwischen der Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins im Süden der Abbildung, die den Anstieg zum Schlierbachswald bildet (e 1 - r 9), und der am nördlichen Bildrand gelegene Werratalaue erstreckt sich die schon in Abb. 38 angesprochene, durch Auslaugung zerrüttete Fußflächenregion des Unteren Buntsandsteins. Sie ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl von Bodensenkungen und das Eingreifen großräumiger Auslaugungsbereiche in diesen Reliefabschnitt. Der Stufenrand ist hier, exemplarisch dargestellt, durch kurze, steile, wannenförmige Talschlüsse (n-o/5-6, p-q/8-9) gegliedert. Nördlich Niederdünz bach liegt die Bohrung Großer Kurfürst I (h/ 20). Sie hat 88 m Zechstein-1-Anhydrit (A1), aber kein Salz erbohrt.

gleichsinnigen, z.T. verkippten Lagerung der Schichten. Im Verlauf des Anstieges zur Schichtstufe nehmen in einem etwa 1 km breiten Streifen vor dem Steilanstieg die Bodensenkungen ihrer Anzahl nach deutlich zu (Abb. 39). In der Anordnung sind sie den

in Kap. 4.7.2 beschriebenen Formen, die parallel zum Salzhang an dessen Fuß liegen, vergleichbar. Hier sind es die über ausgelagten Schichten nachgesackten Partien des Hangenden, die eine derartige Oberflächenstruktur hervorgerufen haben. Die Bodensen-



kungen (Durchmesser meist größer als 100 m) reichen im Einzelfall bis in den Sattel der Leuchtberge. Der Zusammenhang zum Na 1 wird von BROHL & THEURER (1986:49 f) bzw. THEURER (1983:126) am Beispiel der Trinkwasserförderungsanlagen bei Aue aufgezeigt. Im trockenen Jahr 1976 ist in einem dieser Brunnen chloridhaltiges Tiefenwasser eingebrochen, was auf den Aufstieg von Sole aus dem unterlagernden Salzkörper zurückgeführt wurde. Daneben zeigt der Tiefbrunnen Eschwege I (W 4826/4), der 60 m im Unteren Buntsandstein steht, Sulfatgehalte von 970 mg/l, was engen Kontakt zum unterlagernden Werra-Anhydrit zeigt. Die Oberflächenwässer dieser Einheit zeigen keinerlei erhöhte Sulfat- und Chloridwerte, die mit der Zechsteinauslaugung in Verbindung gebracht werden könnten (vgl. Tab. 16).

Der Anstieg zur Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins ist durch die über dem Salzhang als typisch anzusehenden wannenförmigen, steilen, kurzen Talschlüsse geprägt. Die Bohrung "Großer Kurfürst III" an der Mäusemühle bei Rambach zeigt 7 km weiter südlich die heute noch vorhandene Salzmächtigkeit von 117 m Na 1 (vgl. 2.1.1).

Im Zuge der Salzhangausweisung, die sich an den von FINKENWIRTH (1970:216) korrigierten Verlauf anlehnt, ist der Talkessel südöstlich Langenhain als großräumiger Auslaugungsbereich gedeutet. Er greift am weitesten in die Schichtstufe des Unteren Muschelkalks ein. Der nördliche Steilabfall des Mittleren Buntsandsteins zwischen Langenhain und Reichensachsen wird aufgrund der geomorphographischen Befunde (vgl. Beilage 1) ebenfalls als Salzhang gedeutet.

#### 4.8 Der Schlierbachswald

Die räumliche Einheit Schlierbachswald erstreckt sich zwischen Schiefergrundskopf-Vorberg-Forsthaus Hundsrück im Süden, der Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins im Westen und Norden sowie dem Werratal. Die östliche Begrenzung bildet die DDR-Grenze (vgl. Abb. 21, Beil. 2).

Die auf Auslaugung hinweisenden Phänomene sind die Dolinen im Röt. Sie liegen am Schiefergrundskopf (MARTIN 1965:48) und am

Aueschen Berg (GANGEL 1970:84). Es handelt sich um Kleinformen, wenig übertiefte, schüsselförmige Dolinen von rundem oder elliptischem Aussehen, die wenige Meter Durchmesser aufweisen und auf punktuelle Auslaugung von Rötgipsen zurückgeführt werden, die linsenförmig vorliegen (vgl. 4.11.2). MOESTA (1876c) kartiert ein isoliertes Muschelkalkvorkommen östlich des Schiefergrundskopfes, heute auf DDR-Gebiet, und deutet es als inversen Erdfall, dessen Einbruch auf eine Gipsschlotte zurückgehen soll. Die Lokalität ist heute nicht zugänglich. Darüber hinaus lassen sich Auslaugungserscheinungen nur indirekt aufzeigen.

GANGEL (1970:115) weist den Bereich der Alten Kirche im Schlierbachswald (R 357750 /H 566910) als Zentrum von Salzauslaugung im tieferen Untergrund aus und begründet dies mit dem Schichteinfallen der umgebenden Gesteinspartien. Dies widerspricht dem sonst generell mit 2° nach Nordosten einfallenden Buntsandstein und weist entlang einer Linie Hoher Rain - Fuchs-Berg - Glasberg (GANGEL 1970:114) - Klaus-Berg - Johannsrain - Forsthaus Hundsrück (MARTIN 1965:77) Werte von 15° mit südöstlicher Richtung auf. Die Linie setzt im Nordosten an dem Transekt Hoher Rain - Johann-Adams-Holz - Ölberg - Völkershäuser aus. Hier tritt eine flache hercynische Sattelstruktur auf (GANGEL 1970:116 f), die ich als Fortsetzung des Unterwerra-Sattels sehe. Begrenzt wird das verstärkte Einfallen durch den Talzug des Schlierbachswaldes, so daß im Talverlauf das Zentrum der Auslaugung zu erwarten ist. Gestützt wird diese Erwartung durch das nordwestliche Einfallen der Gesteinsschichten am Kesselkopf (GANGEL 1970:121), die damit das Areal um die Alte Kirche nach Süden begrenzen. Zu den geologischen Argumenten dieser Hypothese kann die geomorphologische Struktur dieses Gebietes hinzugezogen werden, die mit vier Talzügen (Langer Frohngraben, Schlierbachstal, Rosental und Talzug Forsthaus Schlierbach) auf das Zentrum an der Alten Kirche zuläuft und damit die GANGELschen Betrachtungen noch unterstützt und zur Ausweisung eines großräumigen Auslaugungsbereiches "Alte Kirche" beiträgt.

Wird die Aussage des nordwestlichen Schichteinfallens über den Kesselkopf hinaus

nach Südwesten mit einem über die Höhenzüge Rinkenberg - Vorberg gerichteten Verlauf transponiert, so ließe sich der gesamte Einzugsbereich des Schlierbachs als durch Salzauslaugung beeinflusst darstellen. Unter der Annahme dieser Hypothese wird gefolgert, daß es sich dann um einen Bereich irregulärer Auslaugung (im Sinne WEBERS 1930 ff) handelt, der heute von Norden her in die reguläre Auslaugung mit einbezogen wird.

Die vorliegenden Wasseranalysen der Flachbrunnen von Oberdünzsbach (THEURER 1983: Anl. V, Probe 32) 116 mg/l SO<sub>4</sub>, 54,4 mg/l Cl und westlich Lipping (THEURER 1983: Anl. IV, Probe 14) 220 mg SO<sub>4</sub>/l, 53 mg Cl/l, die in beiden Fällen auf den Aufstieg von Tiefenwässern zurückzuführen sind, zeigen den Einfluß der Zechsteinsalze und -gipse auf die Wasserbeschaffenheit. Dagegen weisen die Tiefbrunnen im Schlierbachswald (Auslaugungsbereich "Alte Kirche") Werte von maximal 41 mg/l SO<sub>4</sub> und 20 mg/l Cl (THEURER 1983: Anl. IV, Proben 20 bis 24) auf. Die Wasserproben genutzter Wässer (Tab. 17) weisen für den Tiefbrunnen Schlierbach 2 (W 4826/6) mittlere Werte von 34,6 mg/l SO<sub>4</sub> und 16,3 mg/l Cl auf, was zeigt, daß hier keine versalzten Tiefenwässer den Förderbereich beeinflussen. Die erhöhten Sulfatwerte des Hochbehälters Völkershäuser (W 4826/5) am orographisch rechten Talhang können auf die durch Röt-gipse beeinflussten Wässer zurückgeführt werden. Die Untersuchungen der Oberflächen-

wässer ist bei den geringen Sulfat- und Chloridwerten (Tab. 17) nur in dem Sinne zu interpretieren, daß keine Hinweise auf rezente Auslaugung vorliegen.

Bei Betrachtung der geologischen, hydrochemischen und geomorphologischen Gegebenheiten erweist sich die Hypothese als haltbar, daß reguläre Auslaugung von Norden kommend einen Bereich irregulärer Auslaugung in sich aufnimmt.

#### 4.9 Die Muschelkalkschichtstufe zwischen Graburg und Spitzenberg

Das Gebiet wird von der Schichtstufe des Unteren Muschelkalkes (Wellenkalk) zwischen Dreierherrenstein und dem Spitzenberg begrenzt. Nördlich vorgelagert bildet die Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins, auf der Linie Schiefergrundskopf - Vorberg - Forsthaus Hunsrück - Lerchenberg - Weißes Triesch - Lerchenberg die Arealgrenze. Im Westen begrenzt das Wehretal diese Einheit.

Geomorphologisch sind in diesem Reliefabschnitt drei Phänomene beachtenswert:

1. Die nach ACKERMANN (1958) als Sturzfließungen bezeichneten Rutschkörper des Muschelkalkes,
2. Das En-bloc-Absitzen einzelner Muschelkalkpartien,
3. Die sich daraus entwickelnden Hangschuttströme.

Tab. 17: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer im Schlierbachswald.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum   | n | Lf      | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|------------|-----------|----------|---------------|---|---------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|            | R         | / H      |               |   | (µs/m)  | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| 0 4826/ 6  | 358121    | / 567096 | 10.84 - 9.86  | 5 | 303     | 7,6  | 4,7  | 2,9  | 84,7              | 70,3                          | 17,3            |
| 0 4826/ 7  | 358052    | / 566984 | 10.84 - 9.86  | 5 | 477     | 12,6 | 8,6  | 4,2  | 154,7             | 102,3                         | 34,3            |
| 0 4826/ 8  | 357953    | / 566996 | 10.84 - 9.86  | 5 | trocken |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4826/ 9  | 357715    | / 566894 | 10.84 - 9.86  | 5 | 306     | 8,7  | 5,9  | 2,8  | 104,9             | 68,9                          | 18,6            |
| 0 4826/10  | 357715    | / 566883 | 10.84 - 9.86  | 5 | 394     | 11,5 | 6,0  | 5,5  | 106,7             | 132,9                         | 24,0            |
| 0 4826/16  | 357573    | / 566739 | 10.84 - 9.86  | 5 | 305     | 7,4  | 5,0  | 2,4  | 88,6              | 58,8                          | 23,8            |
| W 4826/ 5  | 358098    | / 567022 | 12.79 - 10.83 | 5 | 396     | 14,5 | 10,0 | 4,5  | 179,0             | 109,1                         | 13,9            |
| W 4826/ 6  | 357789    | / 566957 | 9.82 - 2.84   | 3 | 331     | 11,6 | 10,2 | 1,4  | 182,6             | 33,9                          | 16,3            |



Die Mechanismen dieser auf Gravitation zurückgehenden Vorgänge sind von ACKERMANN (1958, 1977) für die Entwicklung der Wellenkalkschichtstufe beschrieben. Sie gehen auf das Verhalten des Röt unter Auflast bei starker Durchfeuchtung zurück und zeigen die geomorphologische Wirksamkeit des Oberen Buntsandsteins als Gleitbahn auf.

Hinzu kommen die Gipslinsen im Röt, zu beobachten im Steinbruch nordöstlich Rambach (R 358190/H 566550), deren Auslaugung ein ständiges Massendefizit erzeugt (vgl. 4.11.2), wie sich an einbrechenden Erdfällen mit Schlucklöchern im Rückhang größerer Rutschkörper, aber auch an Dolinen in landwirtschaftlich genutzten Gebieten vor den Rutschmassen des Muschelkalkes zeigt. Sie nehmen den Ausstrich des Oberen Buntsandsteins im gesamten nördlichen Bereich der Schichtstufe des Muschelkalkes ein und treten als schüsselförmige Schwunddolinen und Auslaugungssenken mit geringer Obertiefung auf. Im Mittel haben diese Formen bis zu 20 m, im Einzelfall bis zu 120m Durchmesser. Als Singularität hat der großräumige Auslaugungsbereich um Laudенbach zu gelten, wo in orographisch günstiger Position Doline neben Doline zu kartieren ist. Hier wirkt das starke Gefälle des Laudенbaches, der auf einer Horizontalstrecke von 2 km gut 80 m Gefälle zum Vorfluter Netra überbrückt, abtragungsfördernd. Hinzu kommt die Nutzung dieses Bereichs als Ackerland, so daß alle Tageswässer direkt ohne großen Evaporationsverlust in die Gipslager eindringen und lösend wirksam werden können. In den Tiefenlinien im Rückhang der Rutschkörper sammeln sich zudem noch die Sickerwässer der Schuttkörper, die ebenfalls auslaugungswirksam sind.

Nach Westen zu nimmt die Vielzahl der Auslaugungsformen mit Eintritt in den Versenkungsbereich der Grabenzone ab. Der Obere Buntsandstein tritt nur noch als schmale Hangleiste auf.

Interessant ist, bezogen auf Tiefensubrosion, noch der Talkessel von Weißenborn/Rambach, der südlich von der Muschelkalkschichtstufe, nördlich und östlich von der Buntsandsteinschichtstufe begrenzt wird. Er wird am östlichen Rand durch den Segel-Bach zerschnitten, der seinen Ursprung im Tal-

schluß von Rambach hat (Abb. 40). Am nördlichen Rand, unterhalb der Buntsandsteinstufe, tieft sich der Sudengrund mit seinem Ursprung im Talschluß des "Netratales" südwestlich der Rabenkuppe ein. Beide Gewässer haben zu starker asymmetrischer Talbildung beigetragen, so daß der Mittlere Buntsandstein mit der Röt auflage nach Süden tiefgreifend zertalt ist und sich deutlich abhebt von den kurzen steilen, wannenförmigen Talschlüssen der östlichen und nördlichen Begrenzung. Meine Vermutung, daß die Genese des Talkessels Impulse auch durch subrosive Prozesse im Zechstein erfahren hat, wird durch das in der Bohrung "Großer Kurfürst III" an der Mäusemühle (R 358075/H 566541) noch mit 117 m Mächtigkeit vorhandene Steinsalz (Na 1) gestützt. Es befindet sich allerdings in Auflösung, wie die Wasseranalysen von THEURER (1983:Anl.XVII, Ortschlüssel 27, 28) zeigen. Für den Tiefbrunnen Weißenborn (R 357884 /H 566652) weist sie Sulfatwerte von 139 mg/l und Chloridwerte von 358 mg/l nach. Der westlich gelegene Vorratsbehälter Weißenborn I (R 357963 /H 566652), dessen Wasserfassung die Basis des Unteren Buntsandstein in 43m unter der Geländeoberkante erreicht, zeigt Werte von 594 mg/l  $SO_4$  und 1380 mg/l Cl auf. Beide Wertepaare sprechen im Vergleich mit ebenfalls durch Auslaugung beeinflussten Gebieten für aktive Subrosion von Zechsteinsalzen und -gipsen. Unterstützt wird diese Aussage durch das Ergebnis der Bohrung "Großer Kurfürst II", in der 6 m Na-3 nachgewiesen sind, ohne daß der Z 1 erreicht worden ist. Ausgehend vom Vergleich der Bohrergebnisse ergibt sich ein Bereich der Salzauslaugung, der sich mindestens zwischen dem Sudengrund westlich Weißenborn und der Mäusemühle nördlich Rambach erstreckt. Der Zertalungsgrad sowie die Asymmetrie, die durch die Richtung der laugenden Wässer auf die Muschelkalkstufe zu vorgegeben ist, belegen die Annahme, daß es sich hier im Sinne WEBERs ebenfalls um einen als irregulär anzusehenden Auslaugungsbereich handelt, der einen internen Salzhang ausgebildet hat.

Die hohen Sulfatgehalte der Oberflächenwässer gehen im Bereich zwischen Rambach und Laudенbach auf die Lösung der Rötgipse zurück (Tab.18). Im westlichen Abschnitt dieses Gebietes sind keine zur Beprobung ge-

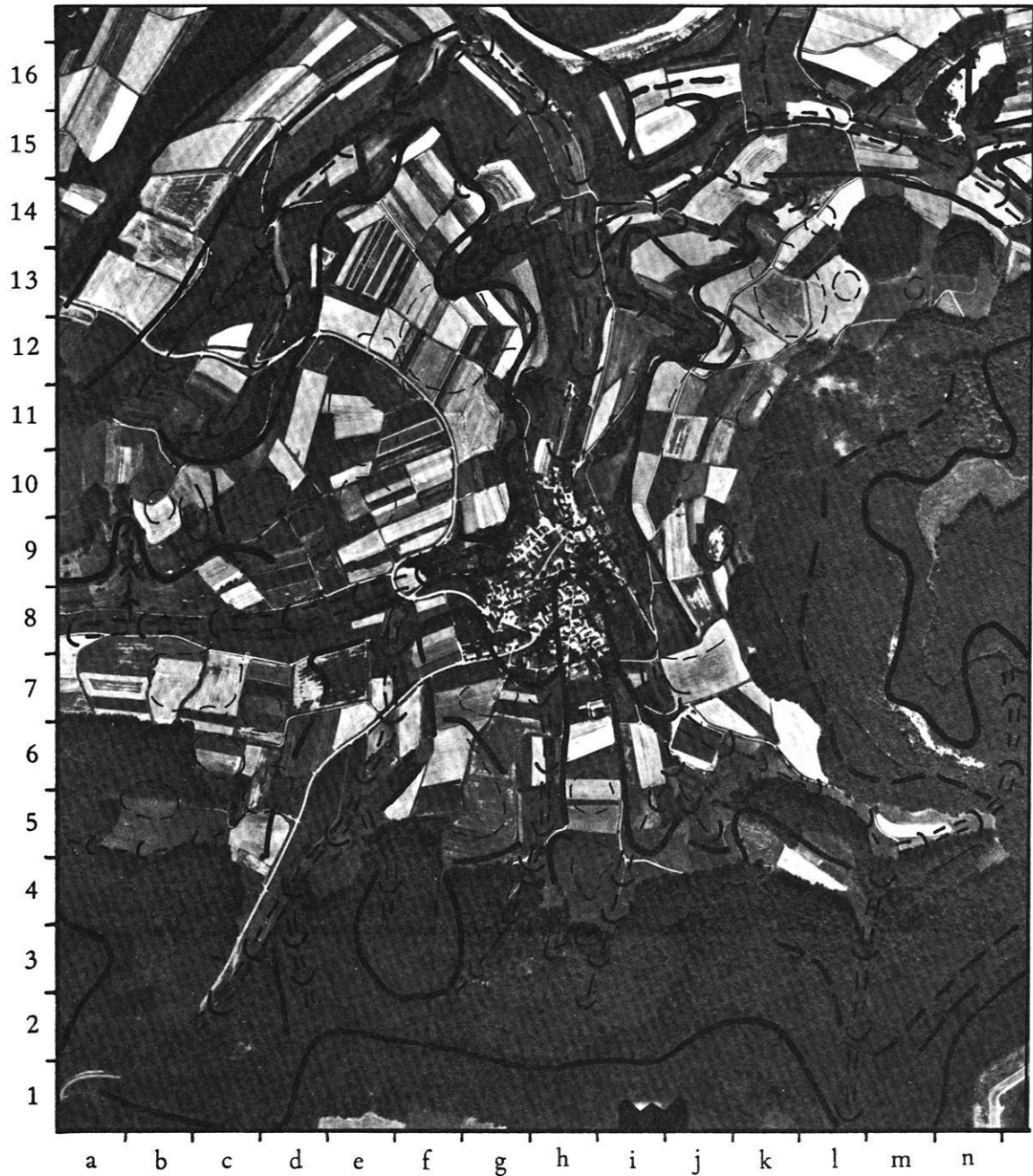


Abb. 40: Geomorphographische Elemente des Talkessels von Rambach.  
(Luftbild freigegeben ohne Nr. durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca. 1:12000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Die Begrenzung des Talkessels nach Süden und Osten wird durch die umlaufende Schichtstufe des Unteren Muschelkalkes gebildet. Sie ist hier als Wölbung dargestellt (a 4 - b 1 - d 2 - k 2, n 1 - o 3). Ihr Steilabfall wird durch kurze wannenförmige Muldentäler geprägt. Der engere Talkessel von Rambach (g-i/7-10) liegt im Buntsandstein und ist in den Randbereichen durch Bodensenkungen und durch radial verlaufende Trockentäler mit kurzen, steilen, wannenförmigen Talschlüssen gegliedert. Letzteres wird durch den Verlauf der Wölbungslinien wiedergegeben. Insgesamt ist dieser Reliefabschnitt, in Einklang mit den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen, als Salzhang zu deuten. Am nördlichen Bildrand liegt die Mäusermühle (h 15-16). Dort sind 117 m Na1 erbohrt worden.

eigneten Oberflächenwässer angetroffen worden, was für die Zerrüttung des Untergrundes und der daraus resultierenden Wasserdurchlässigkeit spricht. Der am Wehretalrand gelegene Hochbehälter Oetmannshausen (W 4825/5) weist 359 mg/l SO<sub>4</sub> auf, die mit den Gipsen des Röt in Verbindung zu bringen sind. Der Chloridanteil beträgt hier nur 15,8 mg/l.

Insgesamt läßt sich diese Einheit in drei Teile gliedern:

- den durch Salzauslaugung bedingten Talkessel Weißenborn-Rambach,
- den auf Röttauslaugung zurückgeführten großräumigen Auslaugungsbereich von Laudnbach und
- den von geomorphographisch nachweisbaren Auslaugungserscheinungen freien Bereich im Westen dieses Gebietes.

Als indirekte Parameter für Subrosion treten in letztgenanntem Areal die kurzen, steilen wannenförmigen Talschlüsse auf, die sowohl das Heutal als auch den südlich gelegenen Talzug "zu der Koppel" begrenzen. Sie stellen gleichzeitig die Bahnen der Einsenkung des Muschelkalkes in den Netragraben dar und treten auch nördlich des Hüppels-Berges mit Gefälle nach Datterode auf.

#### 4.10 Die Nordflanke des Netratales

Dieser Reliefausschnitt nimmt den südlichen Teil des Untersuchungsgebietes ein und erstreckt sich zwischen dem Schichtstufenrand des Unteren Muschelkalkes im Norden, der Wehre und der Netra im Westen bzw. im Süden. Weite Teile des tektonisch bedingten Netra-

grabens, in dem die triassischen Gesteinsschichten unterschiedlich gelagert sind, sind mit bearbeitet. Die geologischen Verhältnisse sind von MOESTA (1886c) und BOSSE (1931) mit einem Modell zur Grabenbildung und erneut von KROSS (1969) und KNOCHE (1969) sowie BUCHSTEIN (1984) bearbeitet und im Hinblick auf die tektonischen Einflüsse diskutiert worden. Auslaugungserscheinungen sind von den genannten Autoren in diesem Gebiet nicht verzeichnet worden. Die eigenen Untersuchungen haben einige flache Auslaugungssenken im Gipskeuper erkennen lassen, die auf die Reliefgenese dieses Abschnittes jedoch wenig Einfluß gehabt haben und nur sekundär formbestimmend sind.

Die Auslaugung des tieferen Untergrundes tritt westlich Datterode vor der Einmündung der Netra in die Sontra in Erscheinung. Der Heuberg (R 356900 / H 566550) ist an seinen Hängen durch Zertalungsstrukturen gekennzeichnet, die in dieser geologischen Position (Buntsandstein) als Auslaugungsphänomene zu deuten sind. Sie stehen in Bezug zu den großräumigen Auslaugungsbereichen bei Hoheneiche und Oetmannshausen (vgl. 4.6) sowie zu dem großräumigen Auslaugungsbereich bei Harmuthshausen (Abb. 41).

Südlich Datterode, unterhalb der Boyneburg treten die gleichen Auslaugungsformen wie vor dem Schlierbachswald auf. Sie stellen den Zusammenhang der Auslaugungsphänomene zwischen Wehretal - Heuberg - Netratale und Harmuthshausen her.

Nördlich der Straße Röhrda - Netra befinden sich die erwähnten Auslaugungssenken im Gipskeuper. Aufgrund ihrer geomorphologischen Ausprägung (ca. 100 m Durchmesser und

Tab. 18: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer an der Muschelkalkstufe zwischen Graburg und Spitzenberg.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf<br>(µs/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|------------|-----------|----------|--------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
|            | R         | / H      |              |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| 0 4826/12  | 358018    | / 566443 | 10.84 - 9.86 | 5 | 1173         | 35,1       | 12,6       | 22,5        | 229,5                       | 545,5                                   | 21,8                      |
| 0 4826/13  | 357654    | / 566505 | 10.84 - 9.86 | 5 | 1296         | 37,0       | 14,2       | 22,8        | 253,5                       | 553,7                                   | 31,0                      |
| 0 4826/14  | 357441    | / 566532 | 10.84 - 9.86 | 5 | 2268         | 70,4       | 14,9       | 55,5        | 265,6                       | 1346,0                                  | 48,0                      |
| 0 4826/15  | 357006    | / 566571 | 10.84 - 9.86 | 5 | 793          | 27,3       | 16,4       | 10,9        | 293,6                       | 263,3                                   | 32,2                      |

der Einbeziehung in Zertalungsprozesse) Muschelkalk entstanden sein. Jenseits der können sie durch Subrosion im unterlagern- Schichtrippe des Oberen Muschelkalks den tektonisch verstellten Mittleren schließen sich die Ausraumzonen des Mittlere-



Abb. 41: Auslaugungserscheinungen zwischen Datterode und der Boyneburg.  
(Luftbild freigegeben unter 2/76-5 durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca.  
1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Der Bildausschnitt erstreckt sich zwischen Datterode (k-r/14-15) im Norden und Harmuthshausen (n-o/1), das Gut am südlichen Bildrand. Geologisch ist in diesem Gebiet der Buntsandstein dominant. Er ist durch die für Auslaugungsgebiete typischen kurzen, steilen, wannenförmigen Talschlüsse (c/7-6, d 7, g 7, q 9), die z.T. in Trockentäler übergehen, gegliedert. An einzelnen Stellen lassen sich Bodensenkungen nachweisen. Liegen sie im nördlichen Bildbereich im Unteren Buntsandstein und sind damit auf Subrosion des Zechsteins zurückzuführen, so sind sie vor dem Anstieg zur Schichtstufe des Unteren Muschelkalkes (durchgehende konvexe Wölbung am südlichen Bildrand) an die Rötgipfe gebunden. Insgesamt legt die Anordnung der geomorphographischen Elemente, in Verbindung mit den geologischen und hydrologischen Verhältnissen, eine Deutung dieses Gebietes als über dem Salzhang liegend nahe.

ren Muschelkalkes an. Die Abtragungsfreudigkeit des Mittleren Muschelkalkes steht der bekannt hohen Abtragungsresistenz des Oberen Muschelkalkes entgegen, so daß, bedingt durch sukzessives Nachbrechen über der Ausraumzone, keulenförmige Talformen entstehen, deren Verengung am Talfuß liegt.

Die Auslaugung im tieferen Untergrund (Zechstein) kann in dieser Geländedeposition, über den mit ca. 20° zum Netratal einfallenden Gesteinsserien, anhand geomorphographischer Kriterien nicht nachgewiesen werden.

#### 4.11 Der rechte Werratalhang

Das in diesem Kapitel zu untersuchende Gebiet wird durch die DDR-Grenze im Osten und die Werra im Westen begrenzt. Sie reicht von Heldra bis nach Bad Sooden-Allendorf und wird aufgrund der unterschiedlichen Nähe zum Unterwerra-Sattel in einen nördlichen und einen südlichen Reliefabschnitt unterteilt (vgl. Abb. 21, Beil. 2).

##### 4.11.1 Die Schichtstufen zwischen Karnberg, Keudelstein und Eichenberg

Zwei geologische Formationen prägen diese Reliefeinheit: die Schichtstufe des Wellenkalkes (Unterer Muschelkalk) als landschaftsbeherrschendes Element zwischen Keudelstein und Karnberg/Mainzer Köpfe sowie die Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins.

Bezüglich der Auslaugungsprozesse und der zugehörigen Formen weist GRABNER (1970:82f) einige Dolinen an der Kurzen Kohre aus. Sie liegen am Westrand des Eichenberg-Gothaer-Grabens im Bereich des Mittleren Muschelkalkes (R 358640/H 567230) und pausen sich z.T. in den Oberen Muschelkalk (Trochitenkalk) durch. Darüber hinaus sind vereinzelt Dolinen auszuweisen, die zum größten Teil im Gehängeschutt des Unteren Muschelkalkes ertrinken. Bevorzugt lassen sich rezente Dolinen in Quellbereichen nachweisen, so z.B. westlich der Kanzel (R358325/H567407).

Die Beobachtungen GRABNERs lassen sich durch eine Dolinengruppe im Röt südlich Döringsdorf ergänzen, die dort, in orogra-

phisch günstiger Situation, einem steilen, wannenförmigen Talschluß benachbart ist und sich mit flachen Formen (Schwunddolin) über das gesamte Plateau des Eichenberges zieht. Nördlich Wanfried ist eine Doline bei R 358270 / H 567400 zu beobachten. Sie liegt in ähnlicher Position wie die Formen des Eichen-Berges. Im Gatterbachtal und seinen Randbereichen (Abb. 42) ist die Schichtfläche des Sollingsandsteins nicht mit der zuvor angetroffenen geomorphologischen Wertigkeit vorhanden. Südlich des Gatterbaches treten im Röt Auslaugungssenkungen auf, nördlich ziehen wannenförmige Talschlüsse in den Mittleren Buntsandstein hinauf. Westlich und unterhalb des Muhlienberges setzt die Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins wieder ein; sie zieht sich bis zur DDR-Grenze unterhalb der Mainzer Köpfe parallel zur Werra nach Süden. Sie ist hier wie auch nördlich Wanfried durch kurze, steile Talschlüsse gekennzeichnet. Weiteres Subrosionsmerkmal dieses Stufenanstiegs ist die weite Verbreitung von Trokentälern, die trotz reichlicher Tageswässer in den Schuttmassen des Muschelkalkes keine Fließgewässer aufweisen.

Wie im beschriebenen Auslaugungsbereich bei Weißenbach/Rambach (Kap.4.9) lassen sich hier ähnliche Strukturen feststellen, die die Annahme eines Salzhanges östlich der aufgezeigten großräumigen Auslaugungsbereiche von Wanfried und Altenburschla wahrscheinlich machen. Für erstgenannten Auslaugungsbereich kann als Argument noch die Verkipfung einer Terrassenfläche dienen, die nordöstlich des Eichenberges liegt (R 358030/H 507435) und deren Ursache von GRABNER (1970:57) in pseudotektonischen Vorgängen infolge Salzauslaugung gesehen wird. Auslaugungsstrukturen reichen nach meinen Ergebnissen bis in das Gatterbachtal zurück und zersetzen die Resistenz der Stufe des Mittleren Buntsandsteins. Darüber hinaus treten Kalktuffablagerungen, wie z. B. im Gatterbachtal, bevorzugt in Geländeteilen auf, die in Absenkung befindlich sind. Am Roten Berg südlich Wanfried tritt die Buntsandsteinstufe wieder hervor und bildet den Ostrand des Auslaugungsbereiches Altenburschla, der sich mit einer Auslaugungsstruktur in den Talkessel zwischen dem Muhlienberg, dem Karnberg und den Mainzer Köpfe ausdehnt. Die Vergesell-

schaftung der hier angesprochenen Formen mit den Formen im Werratal wurde in Kap. 4.5.3 aufgezeigt.

Gegenüber dem Auslaugungsbereich zwischen Weißenbach und Rambach (vgl. 4.9), der auf der westlichen Seite der Aufwölbung des Un-

terwerra-Sattels liegt, befindet sich dieser Formkomplex auf der östlichen Seite der Aufwölbung und liegt spiegelbildlich zu den in Kap. 4.9 beschriebenen Formen. Die Annahme einer Aufwölbung des Unterwerra-Sattels bis in diesen Bereich wird durch die Aufsattelung des Mittleren Buntsandsteins

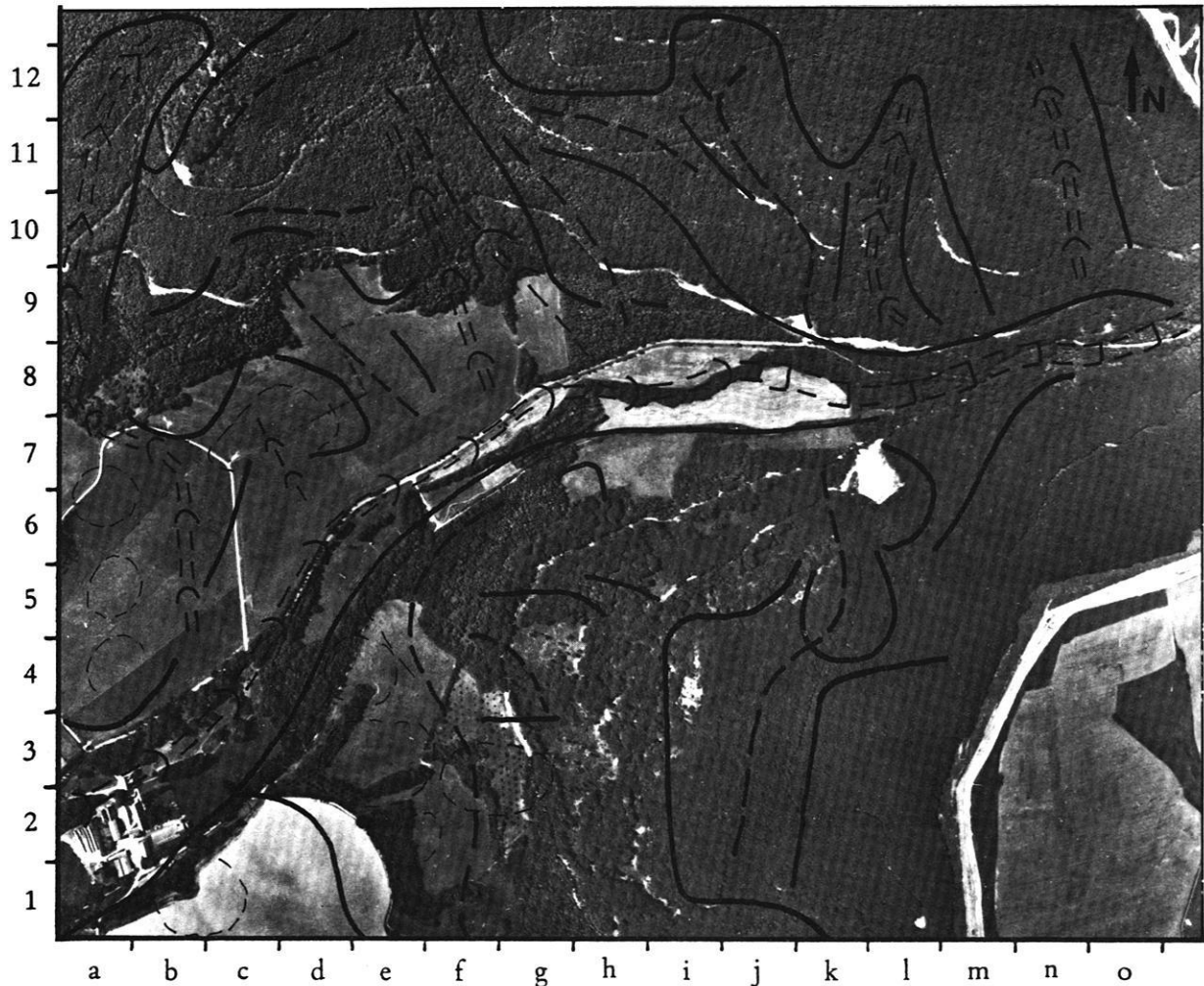


Abb. 42: Die geomorphographischen Elemente des Gatterbachtals.  
(Luftbild freigegeben unter 21/81 durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca. 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Das Gatterbachtal ist eingebettet in die im Süden und Norden auseinanderstrebende Schichtstufe des Unteren Muschelkalkes, die durch die im genannten Bildbereich umlaufenden Wölbungen (g 13 - m 10, n 8 - k 1) charakterisiert wird. Auffällig in der Gesamtsituation ist das Zurückspringen der Schichtstufe im östlichen Bildabschnitt (im Bereich des Steinbruches, k-1/5-7). Im Zusammenhang mit den in Beilage 1 dargestellten Reliefelementen, die sämtlich auf Auslaugung im Untergrund zurückgeführt werden können, ergibt sich die Deutung, daß das Zurückspringen der Stufe in diesem Reliefabschnitt durch Auslaugung initiiert ist. Hiermit ist ein Zusammenhang zu den Randbereichen des großräumigen Auslaugungsbereiches von Wanfried hergestellt, so daß in Analogie zu den Betrachtungen an der Gobert und an der Graburg auch hier auf den Salzhang im tieferen Untergrund verwiesen wird. Die kartierten Auslaugungssenkungen sind demnach nur sekundär für die Großform. Sie sind auf Gips- bzw. Kalklösung im Oberen bzw. Mittleren Buntsandstein zurückzuführen.

auf der Linie Hoher Rain, Ölberg und Völkershäuser, die GÄNGEL (1970:114) nachgewiesen hat, unterstützt. Das Schichteinfallen des Unteren Muschelkalkes nach Nordosten läßt ebenfalls die vorgenannte Deutung zu.

Die Oberflächenwässer östlich Altenburschla (O 4827/2) weisen hohe Sulfatwerte infolge von Rötgipsen auf. Im mittleren Gatterbachtal, im Bereich der Kalksinterwasserfälle (O 4827/1) treten hohe Karbonatwerte auf. Die wasserwirtschaftlich genutzten Wässer zeigen wiederum hohe Sulfatwerte am Hochbehälter Leistersberg (W 4827/1:415 mg/l) und im Zulauf des Hochbehälters Altenburschla (W 4827/3:330 mg/l  $SO_4$ ). Sie sind ebenfalls auf den Einfluß der Rötgipse zurückzuführen. Der Tiefbrunnen Wanfried am Roten Berg, der im Unteren Buntsandstein steht (W 4827/2), zeigt ebenfalls hohe Sulfatwerte von 332 mg/l. Sie werden mit sulfathaltigen Tiefenwässern des Zechsteins in Zusammenhang gebracht. Chloride spielen keine Rolle. Sie liegen bei allen Proben um bzw. unter 30 mg/l. Die Wasseranalyse des Tiefbrunnens deutet ebenfalls auf den Salzhang östlich Altenburschla hin. Eine südlich des Roten Berges liegende Brunnenfassung im Unteren Buntsandstein weist nach FINKENWIRTH (1970:216) Chloridwerte von mehr als 100 mg/l auf und stützt somit die Hypothese des Salzhangverlaufes an dieser Stelle.

#### 4.11.2 Die Talkessel der Gobert

Nördlich an die in Kap. 4.7.1 beschriebene Einheit schließt sich das Areal an, das durch die Talkessel der Gobert eingenommen wird. Grenze des Untersuchungsgebietes ist im Norden und Osten die Staatsgrenze zur DDR, im Westen der Buntsandsteinabfall zur Werra und im Süden der Grenzverlauf des in Kap. 4.7.1 beschriebenen Gebietes (vgl. Abb. 21, Beil. 2). Das Areal umfaßt den heute zugänglichen, von KIRBIS (1950) geomorphologisch bearbeiteten Raum. Geologisch dominiert der Untere Muschelkalk (Wellenkalk) mit seiner Schichtstufe, deren höchster Punkt der Hohestein (569 m NN, R 357268 / H 567992) ist. Er hat auf einer Horizontalabstand von 1,9 km zum Tal der Werra einen relativen Höhenunterschied von 419 m. Dieser Wert charakterisiert zusam-

men mit den geologischen Verhältnissen (Abb. 43) die Abtragungsbedingungen und den

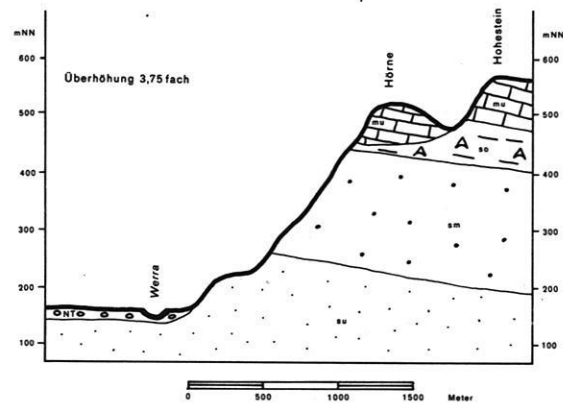


Abb. 43: Topographisch-geologisches Profil von der Werra zum Hohestein.

|    |   |
|----|---|
| NT | Niederterrassenschotter der Werra             |
| mu | Unterer Muschelkalk                           |
| so | Oberer Buntsandstein (Röt mit Anhydritlinsen) |
| sm | Mittlerer Buntsandstein                       |
| su | Unterer Buntsandstein                         |

Die Abbildung gibt neben einem groben Einblick in die geologischen Verhältnisse einen Eindruck vom Erosionspotential zwischen Werra und Gobert.

zu erwartenden Formenschatz. Unter dem Wellenkalk streicht in einer bis zu 1 km breiten Zone der Obere Buntsandstein aus, der aufgrund seiner wasserstauenden, auslaugungsfähigen, Massendefizit erzeugenden und plastischen Eigenschaften so gut wie nie im Anstehenden auftritt, sondern ausschließlich mit Muschelkalkschutt (Rutschmassen) durchsetzt ist. Als Stufe tritt erst wieder der Ausstrich der Sollingfolge auf, die weite Ebenheiten um den Sickenberg und um Neuerode bildet. Der auflagernde Chirotheriensandstein, ein kalkhaltiger, grobkörniger, mürber Sandstein steht an der Oberfläche dieser Verebnungen an. Der Steilabfall des Mittleren Buntsandsteins wird einerseits durch die in Kap. 4.7.1 beschriebenen Hänge zum Werratal gebildet, andererseits durch die aufgrund noch höherer Reliefenergie erzeugten Steilhänge auf der westlichen Begrenzung dieser Einheit, die ebenfalls gegen die Werra ausläuft. An der westlichen Grenze gliedert sich der Untere Buntsandstein in diesen Steilabfall ein und tritt erst wieder östlich Bad Sooden-Allendorf als weitflächige Verebnung auf. Das Schichteinfallen dieser Einheit ist durch östliche bis südöstliche Dominanz geprägt.

Es beträgt auf der Hochfläche ca. 2° nach Ost-südost.

An im Relief nachweisbaren Auslaugungser-scheinungen treten Lösungsdolinen im ausstreichenden Röt auf, die an die Gips-linsen gebunden sind, welche sich im unteren Drittel dieser stratigra-phischen Einheit befinden. Dolinen größerer Ausdehnung sind vergesellschaftet mit Rutschkörpern und treten vorwiegend in deren Rückhang auf (vgl. 4.9). Die von KIR-BIS (1950:11) angeführte subterrane Erosion in Rutschkörpern kann nur als Subrosion verstanden werden, da die kalklösenden Sickerwässer unter den heutigen klimati-schen Bedingungen in ihrem Abtragsverhalten als gering zu bewerten sind. Als indirektes Argument hierzu kann die Travertinbildung im Gatterbachtal herangezogen werden, die nach einer frdl. mdl. Mitt. von Dr. RÜSING 13.000 vor heute alte organische Sedimente überdeckte, aber im wesentlichen mit der postglazialen Warmzeit zu Ende gegangen ist, was sich nach JAEGER (1958, zit. nach STEINMÖLLER 1965:94) in einer Zerschnei-dung der Vorkommen in den Tiefenlinien be-merkbar macht. Ergebnis dieser Betrachtun-gen ist, daß die subrosionsbedingten Klein-formen in dieser stratigraphischen Position ausschließlich auf die Röt-Gipse zurückzu-führen sind.

Auslaugungssenken treten im Klein- bis Mit-telformenbereich auf den Ebenheiten des oberen Mittleren Buntsandsteins als ausge-dehnte flache Bodensenken auf und sind an den Chirotheriensandstein gebunden. Sie gehen meiner Ansicht nach auf die lokale Auswaschung des Kalkes zurück und sind nicht an atektonische Bewegungen aufgrund der Mobilität des tieferen Untergrundes ge-bunden.

Darüber hinaus lassen sich die Talkessel der Gobert, beginnend beim Altensteiner Kessel auf DDR-Gebiet über den Heutalkessel (Ibental-Kessel bei KIRBIS 1950:Karte 2), den Ammicheroder Kessel (Abb. 44), die Kes-selstrukturen zwischen Hörne und Hoher Bahn sowie nordöstlich Hitzelrode bis hin zur "Auslaugungssenke von Kella" (FINKENWIRTH 1970:217) als großräumige Auslaugungsberei-che auffassen. Die im tieferen Untergrund ablaufenden Subrosionsprozesse führen hier zu einem gegenüber dem westlich geschilder-

ten Entwicklungsbereich (vgl. 4.4, 4.7) deutlich modifizierten Entwicklungsimpuls.

Hiermit wird der von KIRBIS (1950:36) ver-tretenen Auffassung widersprochen: Salzaus-laugung des tieferen Untergrundes sei als Einflußgröße auf die Reliefentwicklung in diesem Gebiet auszuschließen, woraus folgte, daß die Kessel als Hohlformen ero-siver Natur zu deuten seien.

Nach neueren Erkenntnissen (vgl. RICHTER-BERNBURG 1955:883 f und FINKENWIRTH 1970: 216) verläuft die Salzverbreitungsgrenze in Obereinstimmung mit den ermittelten geo-morphologischen Befunden parallel zum Werratal in nordnordwestlicher Richtung und umfaßt alle auftretenden Kesselstrukturen. Es müssen keine hochkomplexen Tal- und Kes-selbildungsmechanismen (KIRBIS 1950: 35 f) herangezogen werden, um die Genese dieser Talkessel zu erklären. Es reicht aus, mit dem tektonischen Impuls - Aufstieg des Unterwerra-Sattels - zu beginnen, der alles Auflagernde verstellt und ein Wechseln des Einfallens der Schichten an der Nordostab-dachung (vgl. 4.12) verursacht, das sich auf geringer Distanz von 25° bis in nahezu söhliche Lagerung zurückbegibt. Daraus folgt, daß die Zerrüttung des Hangenden so stark ist, daß sowohl die auflagernden Serien als auch das Liegende in Form der leicht löslichen Zechsteinsalze abgetragen wurden.

In unmittelbarer Sattelnähe greift aufgrund dieser Bedingungen die Auslaugung, auch in-folge ausreichenden Wassers durch die Wer-ra, stärker und schneller um sich und führt zur Talbildung an der Nordostseite des Unterwerra-Sattels. Die unter einer mächtigen Triasbedeckung abtauchenden Zech-steinsalze werden in der Folgezeit nicht mehr flächenhaft - in Form eines Salzhangs - sondern mehr punkthaft gelöst. Die An-greifbarkeit der Salze und Gipse ist an aufgesattelte Gebiete (DIETZ 1925) im Sinne einer mehr irregulären Auslaugung (WEBER 1930, 1952) gebunden. KIRBIS (1950:Karte 2) weist die drei nördlichen Talkessel (Alten-stein, Heutal, Ammicherode) in und am Rande von Aufsattelungszonen nach, so daß der Beleg für Impulse zur Kesselbildung aus dem tieferen Untergrund gegeben ist. Die Anord-nung der auskartierten großräumigen Auslau-gungsbereiche zeigt somit den "zusammenge-



setzten Salzhang" unter dem Steilabfall der Gobert.

Aus der Kartierung sind neben den Mittelformen, die zu einer Großform zusammenwachsen, noch folgende, die Argumentationskette stützende Beobachtungen abzuleiten. Störungszonen zwischen Hainbach und Faulbornskopf (R 357140 /H 568140) und südlich der Dorfstelle Ammicherode (R 357240/ H 568050) weisen Erdfälle auf, die sowohl von ihrem Durchmesser, als auch von ihren Tiefen (30 m / 5 bis 9 m) und insbesondere ihrer stratigraphischen Position wegen nur mit der Auslaugung des tiefen Untergrundes in Verbindung gebracht werden können (Abb. 44). Der Deutung von KIRBIS (1950: 28 f), daß diese Erdfälle auf die Auslaugung des Röt bezogen werden müssen, widerspricht der Habitus dieser Formen. Hinzu kommt die beispielhafte, kreisförmige Anordnung anstehender Klippen des Mittleren Buntsandsteins, die den tiefsten Teil des Ammicheroder Kessels umgeben und das enge, aus der Tiefe hochbrechende Auslaugungszentrum dieses Kessels ausweisen könnte. Eine Oberwanderung durch Muschelkalkschuttmassen erfolgte nicht mehr.

Im Kontext mit den geomorphologischen Befunden ist die von ZEISE (1904:4) und von KIRBIS (1950:8) ermittelte Einmuldung des Mittleren und des Oberen Muschelkalkes im Bereich des Schwengelbergmassivs auf Auslaugungserscheinungen im tieferen Untergrund zurückzuführen. Darüber hinaus können zum Vergleich die von ZEISE (1904) erwähnte Einsenkung des Hahnkroth (Muschelkalk in Buntsandstein nördlich Jestädt, vgl. 4.7.1 und Abb. 37) sowie die durch Auslaugung abgesunkenen Muschelkalkschollen des Ferneberges, der Hasselkuppe sowie des Großen Dachsberges zur Argumentation für Tiefensubrosion herangezogen werden. Einschränkung bezüglich der zuletzt genannten Lokalitäten ist zu sagen, daß auch die Auslaugung der Rötsalze, die weiter östlich und nordöstlich in einer Mächtigkeit von über 40 m vorkommen (STEINMÖLLER 1965:92), an diesen Vorgängen mitgewirkt haben können, so daß keine Verbindung zum tieferen Untergrund vorhanden sein muß. Begründung dafür ist, daß nach STEINMÖLLER (1965:94) atektonische Absenkungen, bedingt durch Salzauslaugung im Röt, starke Klüftigkeit im Unteren Muschelkalk erzeugen,

dessen Wasserdurchlässigkeit eine Vorbedingung für die Plastizität des Oberen Buntsandsteins ist. Sie ermöglicht Absetzbewegungen von Schollen aus dem Stufenverband bzw. punktförmige Einsenkungen.

Die Wasserwerte dieses Gebietes (Tab. 19) belegen für die Oberflächengewässer den Einfluß der Rötgipse. So treten z.B. im Heutalkessel, im Zusammenfluß aus den verschiedenen Rutschungskörpern, Sulfatwerte von mehr als 1000 mg/l auf. Die Chloridwerte liegen alle unter 50 mg/l, und auch die Calciumcarbonate liegen in diesem durch Wellenkalk geprägten Einzugsgebiet im Mittel unter 400 mg/l, treten also gegenüber den Sulfatwerten zurück. In den wasserwirtschaftlich genutzten Wässern tritt der Sulfatanteil ebenfalls hervor. Hier spielt der Brunnenstandort eine bedeutende Rolle. In jüngeren Rutschkörpern stehende Brunnen (W 4726/3) weisen hohe Sulfatwerte von (795 mg/l) auf. Direkt im Röt stehende Wasserversorgungsanlagen zeigen ebenfalls deutlich erhöhte Sulfatwerte von 487 mg/l (W 4726/5). Letztgenannte Probe enthält zudem einen erhöhten Chloridgehalt von 118,1 mg/l, dessen Ursache nicht zu klären ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß dieser Reliefabschnitt durch die Auslaugung der Salze des Zechsteins entscheidend beeinflusst worden ist. Der zugehörige Entwicklungsimpuls liegt in der Phase der saxonischen Gebirgsbildung. Die heute anzutreffenden größeren Auslaugungsformen, die zudem eine deutliche klimagenetische Oberprägung erfahren haben, liegen entweder an Störungen mit Verbindungen zum tieferen Untergrund oder im Rückhang von Rutschungen und der Verbindung zu Rötgipsen. Die Wasserwerte belegen den Einfluß der Rötgipse.

#### 4.12 Die Nordostabdachung des Unterwerra-Sattels

Dieser Reliefabschnitt erstreckt sich zwischen Ermschwerd und Wahlhausen und umfaßt den Anstieg bis in die Sattelachse am Roßkopf (Kap. 4.12.1), das Gebiet um Wendershausen bis zum Buntsandsteinsporn nach Witzhausen (Kap. 4.12.3) sowie den Anstieg südwestlich der Werra bis zum Höhenzug Wartberge - Rode-Berg (Kap. 4.12.3).

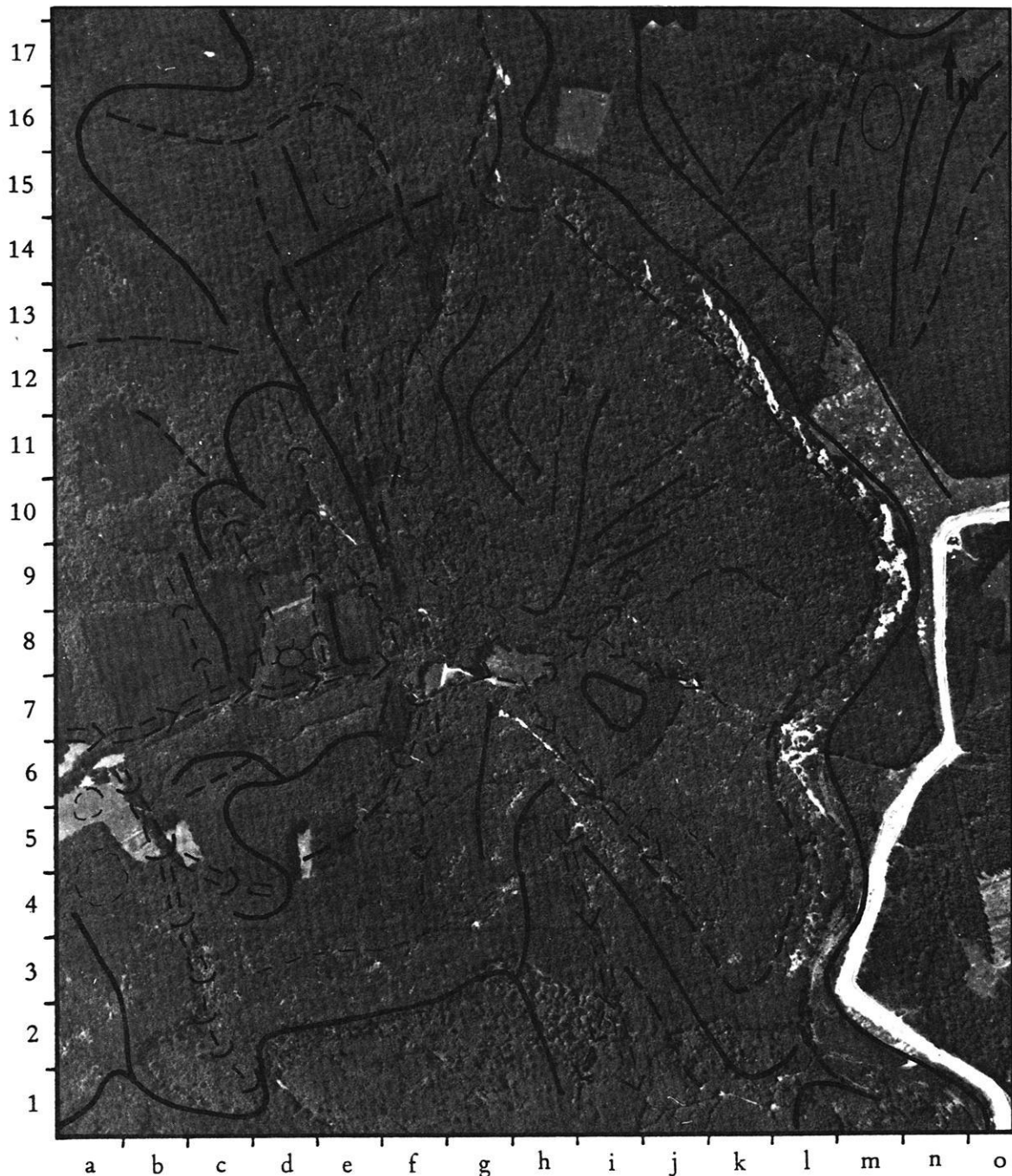


Abb. 44: Geomorphographische Elemente im Ammicheroder Talkessel.  
 (Luftbild freigegeben unter 21/81 durch Reg.-Präs. Darmstadt, Bildmaßstab ca.  
 1 : 12 000)

Die Signaturen in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Der Ammicheroder Talkessel wird in seiner Uranlage auf die Subrosion von Zechsteinsalzen zurückgeführt. Die Anordnung der Wölbungslinien und der Täler und Tiefenlinien weisen auf ein Senkungszentrum (f-g/7-8) hin, in dem noch heute aktive Bodensenkungen, auch unterhalb des Röt, zu beobachten sind. Im nordöstlichen Bildbereich (j-o/13-17) weist die Abfolge konvexer und konkaver Wölbungslinien auf den Mittleren Muschelkalk (Ausraumzone) und den Oberen Muschelkalk (Stufenbildner) hin.

#### 4.12.1 Die Sattelflanke zwischen Ahrenberg und Flachsbach

Der Gebietsausschnitt umfaßt den Ahrenberg, den Roßkopf, das Tal des Oberrieder Baches, den Schnellerskopf, den Großen Habichtstein sowie den Witzenbachkopf und endet im Talknick des Rückeroder Baches ca. 600 m oberhalb des Zusammenflusses mit dem Flachsbach. Dem Talverlauf des Flachsbaes folgt die Gebietsgrenze bis zum Werratal (vgl. 4.5.1). Einbezogen sind noch die Buntsandsteinsporne des Ludwigstein und des Schürze-Berges zwischen Oberrieden und Lindewerra. Die geologisch-tektonischen Verhältnisse dieses Reliefausschnittes beeinflussen die stratigraphischen Einheiten, die von der Grauwacke bis zum Unteren Keuper den ganzen Schichtverband Perm-Trias enthalten, wobei die natürlichen Lagerungsverhältnisse bedeutend gestört sind (vgl. 2.1.1, 2.2.2.3).

Bezogen auf Auslaugung gibt dieser Reliefabschnitt wenig geomorphologische Information. Mit Ausnahme einiger Dolinen im Zechstein südöstlich des Zusammenflusses Fahrenbach/Rückeroder Bach treten Auslaugungsformen zwischen dem Ludwigstein und Oberrieden auf. Sie reichen in Form von Bodensenkungen bis an die Werra und ergeben in ihrer Vergesellschaftung einen großräumigen Auslaugungsbereich. Welche lösungsfähigen Substanzen hierbei für die Anlage einer jeden Einzelform verantwortlich sind, konnte nicht geklärt werden. Es können sowohl Röt- als auch Muschelkalkgipse sein. Auszuschließen sind Keupergipse, sie treten im Unteren Keuper (MOESTA 1886b, NIEBERDING 1972:Beilage) in dieser Position nicht auf. Die flächenhaft auftretenden Solifluktions- und Lößdecken verschleiern neben den geologischen auch die auf Auslaugung zurückzuführenden geomorphologischen Verhältnisse.

Unterstützt wird die Ausweisung des großräumigen Auslaugungsbereiches südlich der Burg Ludwigstein durch die Interpretation der Schichtlagerungskarte von NIEBERDING (1972). Sie zeigt am Ludwigstein 25° Einfallen nach Ost-südost. Unmittelbar südlich davon, geomorphologisch mit Einsetzen der Bodensenkungen, verändert sich das Schichtfallen in 30° bis 45° Südwest bis Südost, bildet hier die nördliche Grenze des Auslaugungsbereiches und kippt weiter südlich,

als seine westlichste Begrenzung, auf 55 bis 60° Ost um. Die nach Süden einsetzende Lößdecke verhindert eine weitere Beobachtung dieser Phänomene.

Inwieweit die Werratalbildung dieses Abschnittes durch die Auslaugung beeinflusst wurde, ist mit ausschließlich geomorphologischen Feldmethoden nicht zu beantworten. Zu vermuten ist, daß die Buntsandsteinauslieger Ahrenberg (KOLTZE 1975), Schürzeberg und Ludwigstein (NIEBERDING 1971:50ff) ihre Tiefenlage der Salzauslaugung des Zechsteins verdanken. In Anlehnung an Kap. 4.11.2 wird der Salzhang nordöstlich der Werra unter dem Höheberg (außerhalb des Arbeitsgebietes) vermutet.

Als sekundäres Phänomen dieses Reliefabschnittes gelten die allochthonen Trias-schollen, die vornehmlich in der südlichen Umgebung des Behälterskopfes (R 3561 / H 568550) vorkommen. Sie sind zunächst von KLINGNER (1935) und später von FAUPEL (1971, 1973) bearbeitet worden. FAUPEL (1971:85 ff) ist es auch, der die verbreitete Ansicht revidiert, daß es sich um intakte Schollen handelt (z.B. KLINGNER 1935: 49 ff, STILLE & LOTZE 1932/33:36, SCHUBART 1955:92). Er unterscheidet Schollen mit ungestörtem Schichtverband sowie Schuttmassenvorkommen und liefert drei Deutungsmöglichkeiten (FAUPEL 1971:87):

- Zusammenhang mit Sattelaufwölbung / Grabenentwicklung,
- Einfluß von Gipsbewegungen,
- Rutschungsvorgänge.

Nach Betrachtung der geologisch-geomorphologischen Befunde führt er die allochthonen Triasvorkommen auf Rutschungen unter periglazialen Bedingungen zurück. Den Mechanismus dieser Rutschungen greift er in einer späteren Untersuchung auf (FAUPEL 1973). Eine Bewertung dieser Deutungsmöglichkeit nehme ich in Kap. 5.1.1 vor.

Die Gewässer dieses Raumes (Tab. 20) zeigen bei wasserwirtschaftlich genutzten Wässern leicht erhöhte Sulfatwerte (W 4625/4: 138 mg/l, W 4625/7: 153 mg/l). Die Oberflächenwässer weisen unterschiedliche Werte auf. Der Ahrenbach (Probe 0 4725/24) verfügt über geringe Sulfat- und Chloridwerte, welche die geologischen Verhältnisse des

Einzugsgebietes (Buntsandstein) widerspiegeln. Ähnlich verhält sich der obere Abschnitt des Flachsbaues (Probe O 4625/ 8), dessen Einzugsgebiet vornehmlich der Grauwacke zugerechnet wird. Alle übrigen Wässer weisen deutlich erhöhte Sulfatwerte auf, die je nach Einzugsgebiet mit dem Röt oder mit dem Mittleren Muschelkalk, vor allem aber mit den Gipsen des Zechsteins in Verbindung gebracht werden können.

#### 4.12.2 Die Abdachung des Unterwerra-Sattels zwischen Wendershausen und Witzenhausen

Topographisch wird dieser Reliefausschnitt eingegrenzt durch die Werra im Nordosten (vgl. 4.5.1), den Flachsbaue im Südosten sowie die Linie Klepper-Berg - Sulz-Berg - Witzenhausen, wobei die Gelster nach Westen nicht überschritten wird. Geologisch tritt die Grauwacke in der Umgebung des Klepper-Berges hervor. Sie zieht bis kurz vor Wendershausen und ist dort durch eine Tiefen-

zone im Zechstein gegen den Unteren bis Mittleren Buntsandstein des Hainskopfes abgesetzt. Nach Norden nimmt zunächst der Zechstein größeren Raum ein und tritt als Sattel zwischen Klepper-Berg und Sulz-Berg in Form einer ca. 500 m breiten Tiefenzone zu Tage. Darüber hinaus erstreckt sich der Buntsandstein in Richtung Witzenhausen und bildet den weit in das Werratal hineinragenden Sporn, der den großräumigen Auslaugungsbereich zwischen Wendershausen und Witzenhausen - Unterrieden nach Westen begrenzt.

Benachbarte Zone der Auslaugung ist das Gebiet zwischen Hainskopf und Klepper-Berg. Neben Erdfallreihen im Anstieg des Unteren Buntsandsteins zum Hainskopf, die in ihrer Ausprägung an die Formen am Alten Gericht (vgl. 4.1, 4.4.1) erinnern, sind Bodensenkungen und Schwunddolenen am Nordostabfall der Linie Klepper-Berg - Sulz-Berg zu finden. Zusammengenommen zeigen sie eine durch Auslaugung intensiv beeinflusste Zone auf, die oberhalb des großräumigen Auslau-

Tab. 19: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer in den Talkessein der Gobert.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum   | n | Lf     | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|------------|-----------|----------|---------------|---|--------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|            | R         | / H      |               |   | (µs/m) | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| 0 4726/ 3  | 357375    | / 567500 | 8.84 - 9.86   | 5 | 3614   | 46,2 | 9,8  | 37,4 | 175,4             | 906,7                         | 949,2           |
| 0 4726/ 5  | 357365    | / 567742 | 8.84 - 9.86   | 5 | 2166   | 67,8 | 13,3 | 54,5 | 238,1             | 1320,0                        | 54,2            |
| 0 4726/ 6  | 357367    | / 567776 | 8.84 - 9.86   | 5 | 548    | 16,2 | 10,8 | 5,4  | 193,3             | 131,9                         | 22,6            |
| 0 4726/ 7  | 357410    | / 567939 | 8.84 - 11.85  | 4 | 549    | 16,1 | 10,0 | 6,1  | 178,1             | 146,7                         | 20,0            |
| 0 4726/17  | 357148    | / 568098 | 8.84 - 9.86   | 5 | 1365   | 44,9 | 9,3  | 35,6 | 166,1             | 862,1                         | 16,6            |
| 0 4726/18  | 357153    | / 568078 | 8.84 - 9.86   | 5 | 1117   | 33,1 | 11,0 | 22,1 | 197,3             | 536,7                         | 15,2            |
| 0 4726/19  | 357262    | / 568086 | 8.84 - 9.86   | 5 | 588    | 17,3 | 10,0 | 7,3  | 178,6             | 176,5                         | 13,4            |
| 0 4726/20  | 357161    | / 568235 | 8.84 - 9.86   | 5 | 551    | 15,7 | 11,4 | 4,3  | 203,2             | 104,2                         | 11,8            |
| 0 4726/21  | 357125    | / 568336 | 8.84 - 9.86   | 5 | 657    | 17,3 | 10,7 | 6,6  | 190,6             | 159,4                         | 22,8            |
| 0 4726/22  | 357163    | / 568328 | 8.84 - 9.86   | 5 | 1411   | 42,0 | 11,4 | 30,6 | 204,4             | 741,3                         | 20,8            |
| 0 4726/23  | 357247    | / 568303 | 8.84 - 9.86   | 5 | 693    | 19,3 | 13,2 | 6,1  | 236,6             | 146,9                         | 15,2            |
| 0 4726/24  | 357344    | / 568265 | 8.84 - 9.86   | 5 | 1607   | 45,3 | 9,3  | 36,1 | 166,5             | 875,1                         | 18,2            |
| W 4726/ 1  | 357247    | / 568303 | 5.81 - 8.83   | 3 | 443    | 19,3 | 13,2 | 6,1  | 236,3             | 147,9                         | 8,7             |
| W 4726/ 2  | 357364    | / 567927 | 10.81 - 3.84  | 4 | 355    | 13,4 | 9,2  | 4,2  | 164,7             | 101,8                         | 7,4             |
| W 4726/ 3  | 357256    | / 567880 | 9.80 - 10.83  | 4 | 928    | 43,6 | 11,8 | 32,8 | 211,2             | 795,1                         | 15,4            |
| W 4726/ 4  | 357400    | / 567711 | 10.81 - 10.83 | 3 | 508    | 18,8 | 12,0 | 6,8  | 214,8             | 164,9                         | 22,9            |
| W 4726/ 5  | 357576    | / 567687 | 74 - 80       |   | -      | 38,8 | 18,7 | 20,1 | 333,7             | 487,3                         | 118,1           |

gungsbereiches (vgl. 4.5.1) um Wendershausen liegt. Genetisch erscheint es vertretbar, diese Formen auf Gipskarst zurückzuführen.

Hervorzuheben - als eine von zwei Stellen im Untersuchungsgebiet (vgl. 4.7.2) - ist die unmittelbar südlich der Ortschaft Wendershausen (vgl. Abb. 33) in der beschriebenen Tiefenzone gelegene Einsturzdoline (R 356115/H 568730, Abb. 45). Sie liegt am östlichen Rand einer großen Doline und ist mit dieser durch Abrißkanten verbunden. Der Einbruch der Doline erfolgte im April 1976 und ist mit seinem Formenwandel bis zum April 1985 in PFLUG (1985) beschrieben. Interessant an dieser Doline ist, daß hier der Zusammenhang zwischen Form und ausgelaugten Substanzen in Oberflächenwässern nachweisbar ist. Hier ist es weniger der Sulfatanteil, als vielmehr der hohe Chloridanteil der zugehörigen Quelle, die 120 m nordöstlich des Einsturzkessels entspringt.

Der Name Salzbachquelle und der sich anschließende Salzbach weisen auf den schon lange bekannten Salzgehalt des Gewässers hin, dessen Chloridanteil um 3000 mg/l liegt (Probe O 4625/9). Der Sulfatgehalt beträgt 1220 mg/l. Untersuchungen von WOLFF (1982/ 1983) bestätigen die Größenordnung dieser Werte.

Die Tiefe und die genaue Lage der zugehörigen Salzlagerstätte konnte nicht bestimmt werden. Betrachtet man das Einzugsgebiet des Salzaches, das zum größten Teil in der abtauchenden Grauwacke liegt, dann kann aus der Lage der Auslaugungsformen in geringer Entfernung zur Grauwacke geschlossen werden, daß es sich um ausgelaugte Salze des Zechstein 1 handeln muß, die für diese Formen verantwortlich sind. Darüber hinaus weist der Sulfatwert ebenfalls auf nicht unbeträchtliche Lösung hin, was angesichts der beteiligten Straten auch zu erwarten ist.

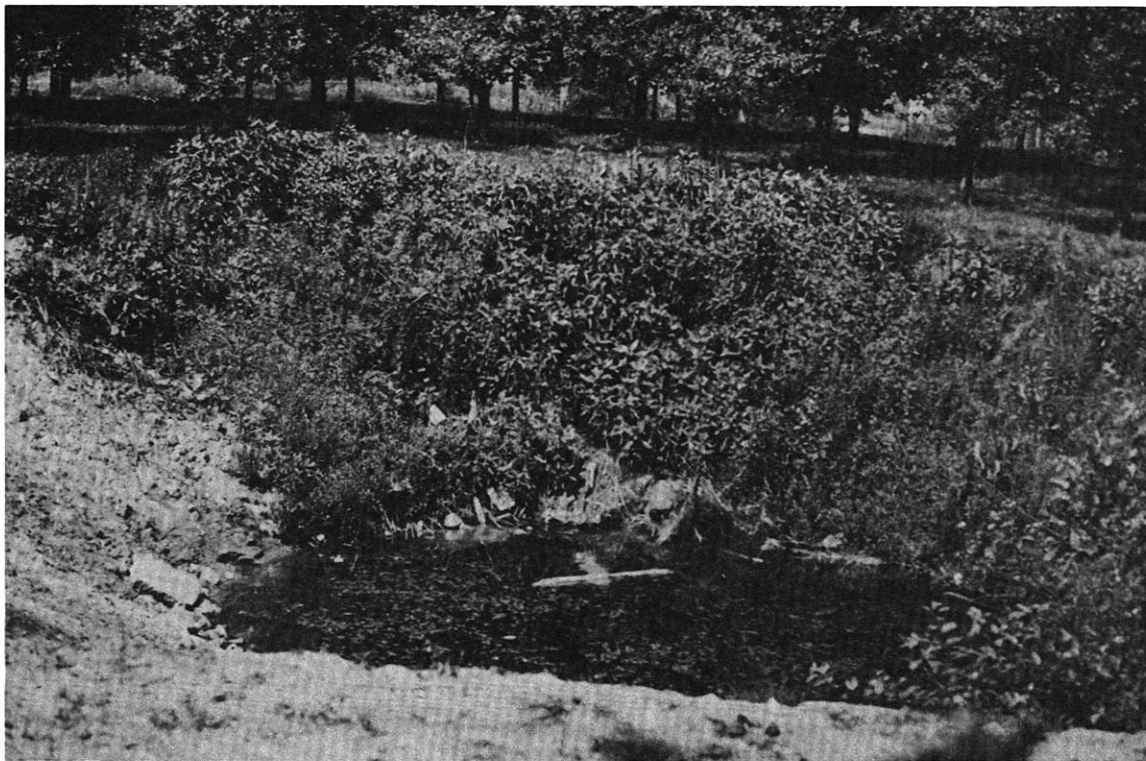


Abb. 45: Einsturzdoline bei Wendershausen.

Das im Sommer 1984 aufgenommene Foto zeigt die Einsturzdoline südlich Wendershausen. Sie liegt in einem Tal (vgl. Abb. 33), in dem der austreichende Zechstein zwischen Grauwacke im Westen und Buntsandstein im Osten auf ca. 100 m zusammengedrückt ist. Die Auslaugung im Zechstein, die hier aufgrund der Wasserwerte eindeutig auf Salz zurückgeführt wird, greift darüber hinaus in den östlich auflagernden Buntsandstein ein (vgl. Beilage 1).

An zusätzlichen Wasserwerten dieser Region liegen die Analysen zweier Brunnen (W 4625/1,2) in der Gelsteraue bei Witzhausen vor. Bei gleichbleibend hohen Chloridgehalten von ca. 220 mg/l, die gegenüber den Chloridgehalten von Wässern aus anderen stratigraphischen Positionen deutlich differieren, zeigen vor allem die Sulfatwerte die Nähe der Zechsteinsalze an (vgl. Tab. 20). Insgesamt weisen die Gewässerwerte auf den mit den geologischen Verhältnissen korrespondierenden Formenschatz hin.

#### 4.12.3 Der Nordabfall des Kleinalmeroder Beckens zwischen Ermschwerd und Witzhausen

Im Nordosten wird dieses Areal durch die genannten Ortschaften und den sie verbind-

denden Werralauf begrenzt. Nach Südwesten wird das Gebiet begrenzt durch den Höhenzug Warteberge - Rodeberg, der in das Kleinalmeroder Becken (vgl. 4.1) überleitet, nach Südosten durch die Gelster und nach Nordwesten durch den Durchbruch des Hungershäuser Baches durch die Vorberge.

Der Analyse von Auslaugungsformen sollen zunächst allgemeine tektonische Betrachtungen vorangestellt werden. Das Gebiet liegt westlich der Störungen, die durch die Tektonik des Leintalgrabens bedingt sind, so daß sich im Gefolge der Aufwölbung des Unterwerra-Sattels relativ ungestört weitere herzynische Strukturen in Form einer Mulde, der Unterwerra-Mulde, und eines weiteren Sattels, des Leinholz-Sattels, nördlich des Untersuchungsgebietes erhalten konnten.

Tab. 20: Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer und wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer an der Nordostabdachung des Unterwerra-Sattels.

| Proben-Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf     | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|------------|-----------|----------|--------------|---|--------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|            | R         | / H      |              |   | (µs/m) | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| 0 4624/ 6  | 355658    | / 569116 | 7.84 - 9.86  | 6 | 667    | 18,1 | 6,7  | 11,4 | 120,5             | 275,2                         | 24,6            |
| 0 4625/ 1  | 356537    | / 568575 | 10.84 - 9.86 | 5 | 2262   | 71,3 | 15,3 | 56,0 | 274,2             | 1332,0                        | 26,8            |
| 0 4625/ 2  | 356494    | / 568547 | 10.84 - 9.86 | 5 | 478    | 10,7 | 6,9  | 4,8  | 122,6             | 115,2                         | 24,8            |
| 0 4625/ 3  | 356423    | / 568562 | 7.84 - 9.86  | 6 | 877    | 23,7 | 8,9  | 14,8 | 158,7             | 359,2                         | 33,0            |
| 0 4625/3.1 | 356418    | / 568552 | 7.84 - 11.85 | 3 | 609    | 17,2 | 11,1 | 6,1  | 199,3             | 147,9                         | 20,0            |
| 0 4625/ 4  | 356211    | / 568702 | 7.84 - 9.86  | 6 | 738    | 22,2 | 13,1 | 9,1  | 234,8             | 220,2                         | 25,2            |
| 0 4625/ 5  | 356389    | / 568715 | 7.84 - 9.86  | 6 | 755    | 21,2 | 14,5 | 6,7  | 259,0             | 163,2                         | 33,0            |
| 0 4625/ 6  | 356188    | / 568634 | 7.84 - 9.86  | 6 | 1271   | 31,5 | 8,9  | 28,6 | 159,6             | 692,9                         | 18,6            |
| 0 4625/ 7  | 356170    | / 568635 | 7.84 - 9.86  | 6 | 680    | 18,1 | 11,8 | 6,3  | 210,3             | 151,5                         | 37,4            |
| 0 4625/ 8  | 356132    | / 568694 | 7.84 - 9.86  | 6 | 1828   | 63,4 | 10,7 | 52,7 | 191,2             | 1278,0                        | 21,4            |
| 0 4625/ 9  | 356115    | / 568742 | 7.84 - 9.86  | 6 | 8078   | 63,0 | 12,6 | 50,4 | 225,8             | 1223,0                        | 2980,0          |
| 0 4625/12  | 355905    | / 568950 | 10.84 - 9.86 | 5 | 298    | 9,4  | 4,4  | 5,0  | 78,8              | 122,2                         | 17,8            |
| 0 4725/24  | 356711    | / 568529 | 8.84 - 11.85 | 4 | 502    | 12,7 | 9,1  | 3,6  | 162,9             | 87,3                          | 27,0            |
| W 4624/ 1  | 355651    | / 569146 | 5.77 - 5.82  | 6 | 297    | 10,3 | 7,9  | 2,4  | 141,4             | 58,2                          | 9,0             |
| W 4624/ 2  | 355757    | / 569022 | 6.79 - 6.84  | 5 | 422    | 15,0 | 10,4 | 4,6  | 186,2             | 111,5                         | 27,4            |
| W 4624/ 3  | 355786    | / 569007 | 6.81 - 5.84  | 4 | 342    | 12,3 | 10,9 | 1,4  | 195,1             | 33,9                          | 14,0            |
| W 4625/ 1  | 356038    | / 568979 | 5.82 - 5.83  | 2 | 733    | 24,4 | 13,5 | 10,9 | 241,7             | 264,2                         | 214,1           |
| W 4625/ 2  | 356009    | / 568941 | 5.81 - 5.83  | 3 | 2833   | 80,9 | 12,6 | 68,3 | 225,5             | 1556,0                        | 231,1           |
| W 4625/ 3  | 355971    | / 568926 | 6.81 - 5.82  | 5 | 362    | 11,7 | 8,2  | 3,5  | 146,8             | 84,9                          | 69,2            |
| W 4625/ 4  | 356346    | / 568783 | 4.75         | 1 | -      | 24,3 | 18,6 | 5,7  | 332,9             | 138,2                         | -               |
| W 4625/ 7  | 356407    | / 568651 | 5.81 - 8.83  | 3 | 524    | 21,7 | 15,4 | 6,3  | 275,7             | 152,7                         | 83,4            |
| W 4725/ 2  | 356636    | / 568415 | 11.80 - 8.83 | 4 | 410    | 16,0 | 11,6 | 4,4  | 207,6             | 106,7                         | 31,5            |

In diese tektonischen Strukturen sind vom Muschelkalk bis zum Buntsandstein alle Schichten einbezogen. Am tiefsten - geologisch an jüngsten - findet sich der Mittlere Muschelkalk des Burgberges südöstlich Ermschwerd (Abb.46). Er liegt in der Unterwerra-Mulde, die den Verlauf der Werra bestimmt.

RITZKOWSKI (1978:198) sieht in diesem Bereich die Großstrukturen an Brüche im Grundgebirge gebunden, deren Folge eine "Schienung" bzw. Führung der mesozoischen Deckschichten in der heute anzutreffenden Sattel- und Muldenstruktur ist. Tektonische Ereignisse dieser Art haben in Verbindung mit unterschiedlich mächtiger Gebirgsbedeckung nach STILLE & LOTZE (1933, zit. n. RITZKOWSKI 1978:198) den salzführenden Zechstein mobilisiert und an Störungsbahnen aufdringen lassen. TRUSHEIM (1957) deutet den Leinholz-Sattel als Abbildung eines langgestreckten Salzkissens, dessen Substanz aus dem Gebiet der Unterwerra-Mulde abgewandert sein könnte (zit. nach BRANDT 1974:38). NIEBERDING (1972:55) gesteht nur zusätzlichen Einfluß des Salinars bei der tektonischen Ausgestaltung des Gebietes zu. Allgemein schließt NIEBERDING (1972) jedoch den Einfluß des Salzes auf die Reliefgestaltung nicht aus.

In Ergänzung zu diesen vielfältigen Interpretationen scheint eine zusätzliche Deutungsmöglichkeit des tektonischen Formungsmechanismus diskussionswürdig. Die Zechsteinsalze steigen nicht auf, sondern werden im Gegenteil aus den Aufsattelungszonen verdrückt und sammeln sich in den heute vorgefundenen Muldenstrukturen an. Die von den Seiten her - zumindest vom Unterwerra-Sattel aus - einsetzende Auslaugung führt zu einer Verlagerung des Hangenden nach unten, zur Ausprägung einer Muldenstruktur, wobei die Ränder auf dem Liegenden hängenbleiben und die geomorphologisch weicherer Schichten als Gleitbahnen

auf die Muldenachse hin wirken. Dies erklärt den relativ breiten Ausstrich sowohl des Röt als auch des Mittleren Muschelkalks in diesem Gebiet, erklärt aber auch die großräumigen Auslaugungsbereiche, die den Verlauf der Werra bestimmen und die in Kap. 4.5.1 diskutiert wurden.

Die Geländebeobachtungen in diesem Gebiet zeigen wenige Formen, die auf Auslaugung des Zechsteins zurückgeführt werden können. Lediglich zwei Bodensenkungen am Rode-Berg (R 355795 / H 569018) und am Ellerberg (R 355795 / H 568972) sind zu beobachten. Zu vermuten ist, daß die Talschlüsse an der Kammersliethe (R 355853 / H 568925 und R 355880 / H 568900) und die Bodensenkungen auf dem östlichen Ausläufer des Warteberges in der Umgebung der Höhe 211,4 ebenfalls auf Nachsackungen infolge Auslaugung des Salinars zurückgehen. Die darüber hinaus auskartierten Formen lassen sich entweder dem Röt südlich Ermschwerd (R 355663 / H 359112 und R 355675 / H 569091) zuschreiben oder gehen auf die Auslaugungen im Mittleren Muschelkalk in der Umgebung des Burgberges zurück. Die unmittelbar an die Werra-Aue nordöstlich der Straße Ermschwerd-Witzenhausen angrenzenden Hohlformen sind wieder der Gipsauslaugung des Röt zuzuordnen. Insgesamt ist das Auslaugungsgeschehen in diesem Reliefabschnitt an unterschiedliche stratigraphische Einheiten geknüpft.

Die Gewässerbetrachtungen ergeben für den wasserwirtschaftlich genutzten Bereich keine für das Auslaugungsproblem wesentlichen Informationen, da es sich ausschließlich um Wasser aus dem Buntsandstein handelt. Die Oberflächengewässer weisen an einer Stelle (O 4625/1) südlich Witzenhausen einen erhöhten Sulfatgehalt von 1332 mg/l auf, der nicht auf anthropogene Einflüsse zurückgeht. Dieser hohe Wert ist nach den Geländebefunden auf den Einfluß versalzener Tiefenwässer zurückzuführen.

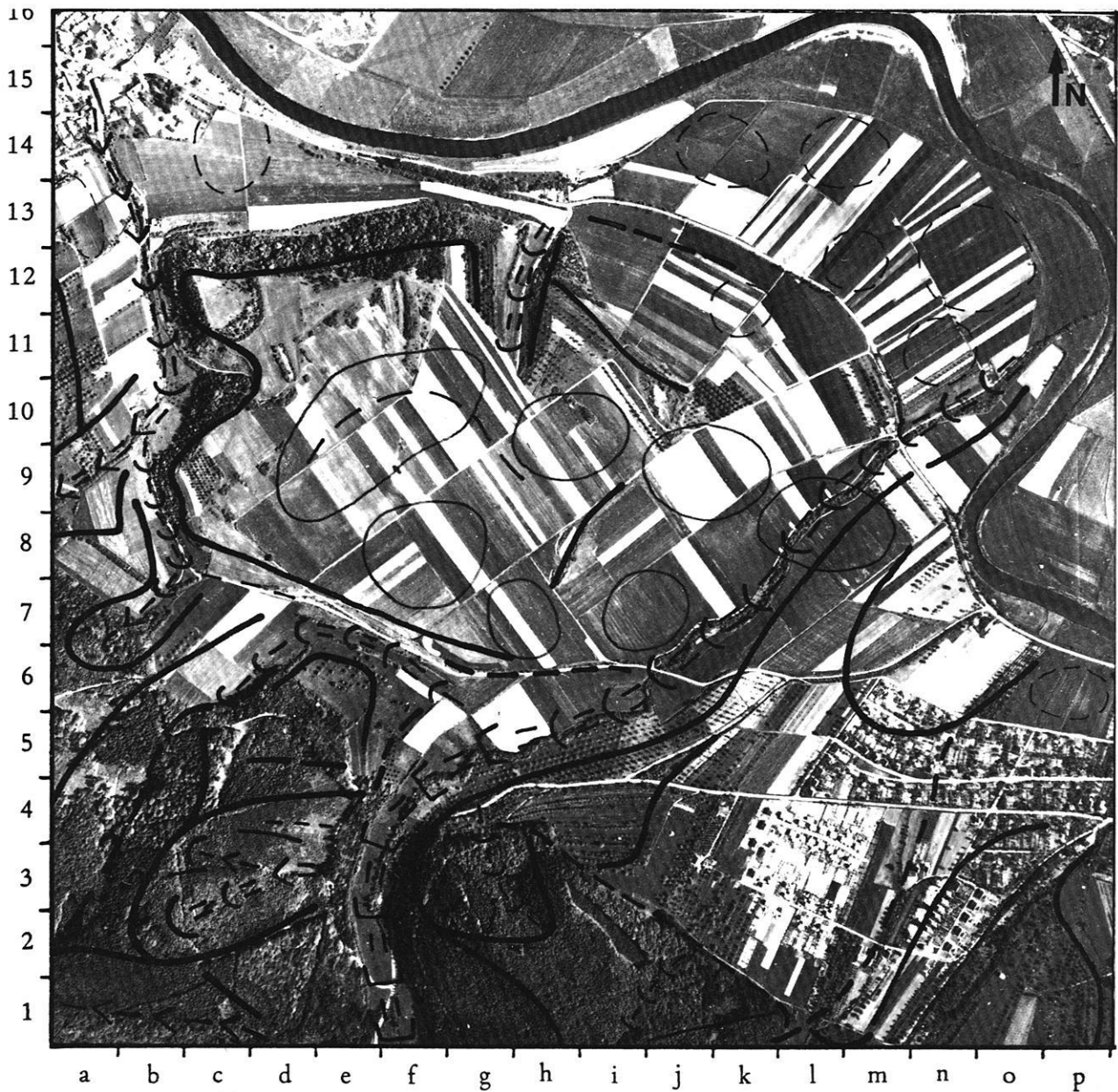


Abb. 46: Auslaugungsformen zwischen Werra und Rodeberg.  
 (Luftbild freigegeben unter Pk 137/ 59 durch Reg. Präsident in Münster/Westf.,  
 Bildmaßstab ca. 1 : 12 000)

Die geomorphographischen Signaturen (schwarz) in dieser Abbildung sind in Abb. 18 erklärt.

Der Luftbildausschnitt zwischen Witzenhausen am südöstlichen und Ermschwerd am nordwestlichen Bildrand zeigt in seiner Mitte den Burg Berg (d-h/7-12), eine im Zuge der Bildung der Unterwerra-Mulde abgesunkene Muschelkalkscholle. Sie weist eine Vielzahl von Auslaugungssenken auf, die an den Mittleren Muschelkalk gebunden sind. Der Wilhelmshäuser Bach zwischen Ellerstein und der Ostabdachung des Rodeberges (e-f/3-4) folgt nach dem Durchbruch durch den Mittleren Buntsandstein zunächst der Ausräumzone des Röt, bevor er die Muschelkalkscholle umfließt und in die Werra mündet. Die in der Werraau kartierten Bodensenkungen (j-o/12-14) sind in ihrer Genese vermutlich auf das Röt zurückzuführen.



## 5. Interpretation der Ergebnisse

In diesem Kapitel sollen die vielfältigen Erscheinungen der Auslaugung in ein Bild der Reliefentwicklung eingepaßt werden, das sowohl dem klassischen Ansatz der klimageomorphologischen Entwicklung als auch den geologisch-tektonischen Vorstellungen vom Bau des Untersuchungsgebietes genügt. Im ersten Teil werden die Voraussetzungen für die Landschaftsgenese und ein allgemeingültiges Modell für die Entwicklung dieses Raumes erarbeitet. In den folgenden Kapiteln (5.1.1 - 5.1.4) wird das Modell in den verschiedenen Zonen des Unterwerra-Sattels verifiziert, widerlegt oder verfeinert.

### 5.1 Landschaftsgenese, Salzverbreitung, Bedingungen zur Entstehung von Auslaugungsformen und Reliefgenerationen

Zweckmäßigerweise beginnt dieser Abschnitt mit der die Gebietsgenese steuernden jung-kimmerischen Gebirgsbildung, in deren Folge sowohl der Unterwerra-Sattel aufgestiegen ist als auch die das Untersuchungsgebiet begrenzenden Grabenzonen eingebrochen sind. Das Alter dieses Vorgangs wird auf ca. 140 Mio. Jahre vor heute, an die Wende Jura/Kreide, gelegt. MEIBURG (1982:223) referiert über die Dauer der Gebirgsbildungsphasen, die nach BRAZIUNAS (1975) 30 Mio Jahre, nach HINT (1976) 18 Mio Jahre gedauert haben soll, oder die schon, als gegenteilige Auffassung, zur Zeit des Rotliegenden, als sich zu den rheinischen Schwellen und Becken hercynische Querschwellen bildeten, begonnen hat.

Für die Geomorphogenese ist die Dauer dieser Epirogenese unwesentlich. Der Hebungsbetrag als solcher (ca. 1100 m RITZKOWSKI 1978:198) gibt den Impuls für die Reliefentwicklung. Das heißt, der sich hebende Grundgebirgskörper wölbt das Hangende, welches zu diesem Zeitpunkt eine Mächtigkeit von mindestens 1050 m (Angabe nach KUHNERT 1986:Tab. 1) erreicht hatte. Parallel oder unabhängig davon, auch das ist für die weitere Geomorphogenese nicht bedeutsam, senken sich die begleitenden

Grabenzonen ein. Dabei ist bemerkenswert, daß für die rheinisch gerichteten Gräben, also auch für den Altmorschen-Lichtenauer-Graben, MEIBURG (1982:225) die Auffassung vertritt, daß die Sollingscholle auf dem Zechsteinsalinar, welches durch vorausgegangene Hebung eine Neigung von ca. 1,5° nach Norden erreicht, sich vom aufsteigenden Grundgebirgskörper löst und nach Norden abschert. Hiermit begibt er sich in Widerspruch zu der Auffassung von BOSSE (1931: 30 ff), der allein tektonische Ursachen für die Grabengenese anführt.

Welcher Auffassung man sich auch anschließt, für den Altmorschen-Lichtenauer-Graben ergibt sich ein Absolutbetrag der Absenkung von ca. 200 m gegenüber der erbohrten Zechsteinbasis an der Mäusemühle (vgl. 2.1.1). Der Netra-Graben ist hingegen gegenüber der Zechsteinbasis an der Mäusemühle um 570 m abgesunken. Diese Werte selbst geben nur eine grobe Orientierung, da sie weder die von WYCISK (1984:96) aufgezeigte Reduktion einzelner Folgen des Mittleren Buntsandsteins, die von RITZKOWSKI (1978:195) in der Umgebung des Unterwerra-Sattels von Westen nach Osten mit 210 m angegeben wird, noch die vor allem von RITZKOWSKI (1978: 198) hervorgehobene Hebung des Meißnerbereichs um 700 m gegenüber dem abgelagerten Tertiär berücksichtigen. Wichtig ist eine grobe Abschätzung, um zu verdeutlichen, daß der hangende Gesteinsverband durch die Hebung im Sattelbereich und die Absenkung mit Schrägstellung in den Grabenbereichen in seiner Struktur zerstört wurde und damit verstärkt für die auslaugende Wirkung der Tageswässer in den salinaren Serien des Hangenden anfällig wurde.

Ob es in der weiteren Reliefentwicklung zu einem Grabeneinbruch über der Sattelachse des Unterwerra-Sattels gekommen ist, wie es KULICK et al. (1984:11) für das Richelsdorfer Gebirge mit dem eingebrochenen Sontra-graben annimmt, vermag hier nicht abschließend bewertet zu werden. Indiz für die Annahme, daß in chronologischer Reihenfolge Tektogenese, Ausräumung und Aufberei-

tung infolge Auslaugung und klimagenetisch gesteuerter Vorgänge zur im Untersuchungsgebiet vorgefundenen Situation geführt haben, ist: daß im engeren Bereich des Unterwerra-Sattels, abgesehen von zwei Lokalitäten, alle hangenden Deckschichten abgetragen sind. Hierbei hat tektonische Zerrüttung und nachfolgende Auslaugung den Gesteinskörper so aufbereitet und zerstört, daß die Ur-Werra das anfallende Material abtransportieren konnte. In der weiteren Umgebung (Meißner, Gobert) setzt der komplette Schichtverband wieder ein. Er ist aber auch hier nicht unbeeinflusst von den tektonischen Ereignissen, sondern durch mehr oder weniger starkes Einfallen der Schichten bzw. durch eine mehr oder weniger starke Zerrüttung gekennzeichnet. Mit zunehmender Entfernung vom Unterwerra-Sattel nehmen die tektonischen Einflüsse ab. Die Auslaugung und deren atektonische Einflüsse haben stärkeren Anteil an der Reliefentwicklung.

Diese Argumentation zeigt, daß zunächst der Frage nachgegangen werden muß, welche Substanzen in welcher stratigraphischen Position und welcher Mächtigkeit zur Auslaugung bereitgestanden haben, um die beschriebene Abräumung des Unterwerra-Sattel-Komplexes zu verstehen, aus der sich die heutigen geomorphologischen Verhältnisse entwickelten.

#### Salzverbreitung

Zentrale Bedeutung kommt dabei der Zechsteinsalzverbreitung im Untersuchungsgebiet zu, wobei sich in der Literatur die unterschiedlichsten Auffassungen finden lassen (vgl. Kap. 2.1.1). Die Situation ist jedoch nach meinen Erkenntnissen folgende: Eindeutig nachgewiesen sind 117 m Na 1 an der Mäusemühle bei Rambach im Süden des Untersuchungsgebietes. Hinzu kommen Bohrungen zwischen Küchen, Bad Sooden-Allendorf und Eschwege, die Werra-Anhydrit (A 1) bis zu mehr als 100 m Mächtigkeit nachweisen (vgl. Abb. 14). Auch die von KULICK et al. (1984: 132, 134, 136) publizierten Bohrungen Escherode, Quentel und Küchen weisen keine Salze mehr auf. Vielmehr dominiert auch hier der A 1. Er erreicht bei Escherode 171 m, bei Küchen 56,90 m und bei Quentel 125,90 m. Das heißt - unter Hinzuziehung

der Aufschlußverhältnisse bei Hundelshausen -, daß die westliche wie auch die südliche Abdachung des Unterwerra-Sattels heute als salzfrei zu gelten haben. Letzteres wird für den Hohen Meißner von KERSTEN (1986:88) unter Berufung auf die Bohrung Küchen deutlich gemacht. In der nördlichen und nordöstlichen Umgebung des Unterwerra-Sattels existieren mangels Bohrungen keine Nachweise von Salzvorkommen. Lediglich die Salzbachquelle südlich Wendershausen steht in Zusammenhang mit einem aktiven Auslaugungsgebiet, in dem Zechsteinsalz in nicht bekannter Mächtigkeit der Auslaugung unterliegt. Dies Salzvorkommen ist im Zuge der Aufwölbung des Unterwerra-Sattels verstellt bzw. aufgeschleppt worden. Daß dieses Salzvorkommen auf eine Fangstruktur eines tiefen bzw. abgesenkten Beckenbereichs (i. S. von KULICK et al. 1984:14) zurückgeht, kann in dieser topographischen Position verneint werden.

Nach den vorliegenden Ergebnissen an der Mäusemühle und bei Wendershausen muß die Diskussion der Salzverbreitung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels neu geführt werden. Nachdem RICHTER-BERNBURG (1955:882) aufgezeigt hat, daß der von ihm eingetragene Grenzverlauf der Salzverbreitung im Untersuchungsgebiet mangels Bohrungen im nördlichen Bereich wahrscheinlich als zu großzügig konturiert dargestellt ist, griff FINKENWIRTH (1970:216) die Revision der ursprünglich primären Na 1-Verbreitungsgrenze auf (vgl. Abb. 14). Zur weiteren Absicherung der Salzabgrenzung zieht er geomorphologische Kriterien heran, wie "auffällige Talweitungen" und "morphologische Steilhänge", die mit dem geomorphologisch nachweisbaren Salzhang verbunden werden. Noch mit einzubeziehen in die Frage der Salzverbreitung sind die Ergebnisse von KULICK et al. (1984:Tafel 14), die eine Salzverbreitung im Untersuchungsgebiet als nicht gegeben ansehen. Lediglich die Umgebung der Mäusemühle wird mit einer gestrichelten Grenze (Abb. 47) umrandet.

Vom geomorphologischen Standpunkt aus weist die Vielzahl der beschriebenen und kartierten Auslaugungsformen (vgl. Beilage 1) einschließlich der erwähnten kurzen, steilen Talschlüsse, der vermoorten, abflußlosen Senken sowie der indirekt auf Auslaugung hinweisende, charakteristische Verlauf von

Wölbungen und der dazugehörige Verlauf von Reliefelementen gleicher Neigung in ihrer Anordnung zum Auslaugungsbereich auf eine stark durch Subrosion geformte Landschaft hin. Das Vorhandensein geomorphologischer Salzhangkriterien in der Umgebung von Eschwege, aber auch westlich der Gobert, läßt sich auch, zumindest auf der westlichen Seite des Unterwerra-Sattels, zwischen Kleinalmerode am Kaufunger Wald und Germerode im östlichen Meißnervorland nachweisen. Nimmt man den dort ermittelten Formenschatz als Beweis für ehemalige Salzvorkommen, so ergibt sich eine primäre Salzverbreitung des Na 1 über den heutigen Unterwerra-Sattel hinweg, da an der Ostflanke der Nachweis von Salzvorkommen geführt ist (vgl. 2.2.2.5-8).

Bei der Diskussion der Salzverbreitung im Untersuchungsgebiet widerspreche ich den bisher gültigen Meinungen über die primäre Salzverbreitung. Den Auffassungen von FULDA (1935, zit. bei KIRBIS 1950:36), GRUPE (1909:204), RICHTER-BERNBURG (1955:883), und KULICK et al. (1984:14), daß das Gebiet um den Unterwerra-Sattel salzfrei gewesen sei, kann ich mich aufgrund der geomorphologisch nachgewiesenen Strukturen nicht anschließen. Letztere lassen in Verbindung mit den geologischen Verhältnissen und unterstützt durch die hydrochemischen Ergebnisse auf eine ehemalige Salzverbreitung schließen. Bestärkt werde ich in dieser Auffassung durch die nachgewiesenen Residualbreccien, die schon bei JACOBESHAGEN et al. (1977:13) aufgeführt sind. Ob es sich bei der Salzausscheidung im Untersuchungsgebiet nur um das Na 1 gehandelt hat oder ob alle vier Zyklen des Zechsteins saline Serien zur Ablagerung gebracht haben, vermag nicht abschließend beurteilt zu werden, da im Gegensatz zu dem östlich benachbarten Gebiet, in dem chloridische Fazies in allen 4 Zyklen des Zechsteins zur Ablagerung gekommen ist (STEINMÖLLER 1965:90), an der Mäusemühle lediglich Na 1 nachgewiesen worden ist (NAUMANN 1907:12). Für mein Untersuchungsgebiet beschränke ich mich daher auf die Annahme, daß eine Na 1-Lagerstätte von ca. 120 m Mächtigkeit - in Anlehnung an 117 m Na 1 an der Mäusemühle - flächendeckend verbreitet gewesen ist. Bestärkt werde ich in dieser Annahme durch die Äußerung, daß "Subrosion wie paläogeographische Rekonstruktion (HOPPE & SEIDEL 1944) auf eine

ehemalige chloridische Sedimentation im Gebiet des Unterwerra-Sattels schließen lassen" (JACOBESHAGEN et al. 1977:10).

Neben den Salzen des Zechsteins treten auch Salze im Röt auf. Sie sind von STEINMÖLLER (1965:92) für den östlichen Bereich mit einer heute noch vorhandenen Mächtigkeit von 40 m nachgewiesen. Ich übernehme diesen Mächtigkeitswert auch für mein Untersuchungsgebiet, da die Salzauslaugung des Röts meiner Ansicht nach wesentlichen Anteil an der Zerrüttung des Unteren Muschelkalks hat.

Die weniger lösungsfähigen Anhydrite und Gipse, deren Auslaugung heute noch zu markanten geomorphologischen Erscheinungen führt (vgl. Kap. 4), treten in unterschiedlicher Mächtigkeit auf. Gemäß der aufgeführten Zusammenstellung sind nach STÄBLEIN (1986:52 f) folgende Gips- bzw. Anhydritmächtigkeiten zu erwarten:

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| - Werra-Anhydrit (A1)            | 100 m |
| - Basal-Anhydrit (A2)            | 3 m   |
| - Hauptanhydrit (A3)             | 20 m  |
| - Röt-Gipse                      | 30 m  |
| - Gipse im Mittleren Muschelkalk | 50 m. |

Zusammengenommen ergeben sich 200 m mächtige, lösungsfähige Anhydrit- bzw. Gips-schichten, wobei mit regional wechselnden Mächtigkeiten zu rechnen ist.

Insgesamt nimmt die Mächtigkeit der eingangs erwähnten 1050 m Deckgebirge um mindestens 160 m mächtige chloridische Fazies auf ca. 1210 m zu. In dieser Gesamtmächtigkeit sind 360 m schneller lösungsfähige Horizonte enthalten. Wenn es sich hierbei auch um einen theoretischen Wert handelt, wird trotzdem deutlich, daß 25% der Deckgebirgsmächtigkeit von lösungsfähigem Material eingenommen werden. Sie stehen nach Zerrüttung des Hangenden infolge der saxo-nischen Tektonik den eindringenden Tageswässern zur Auslaugung zur Verfügung.

Der aus dem tektonischen Impuls und der beschriebenen Mächtigkeit löslicher Substanzen entwickelte und sich heute noch weiter entwickelnde Formenschatz hat unterschiedliche Ausprägung. Er ist durch unterschiedlich starkes Einfallen der Hangendserien des Unterwerra-Sattels gesteuert und wird

zunehmend durch die Entfernung vom Hebungs-  
zentrum beeinflußt. Allgemein läßt sich  
sagen, daß die Salzauslaugung vom Hebungs-  
zentrum schnell um sich gegriffen hat. Sie  
dürfte in großen Teilen des Untersuchungs-  
gebietes schon präbasaltisch abgeschlossen  
sein. Die randlichen Grabenzonen haben im  
Laufe des Einsinkens unter einem kompletten  
Gesteinsverband bestehende Salzlager in we-  
niger belastete (tektonisch zerrüttete,  
möglicherweise schon teilexhumierte) Regio-  
nen verdrückt. Das heißt, die Salzgesteine  
kommen dadurch in den Einflußbereich der  
Oberflächengewässer und werden schnell bis  
in große Tiefe ausgelaugt (SEEDORF 1955:  
14). Parallel dazu und im folgenden Zeit-  
raum wird die Anhydritumwandlung mit nach-  
folgender Gipslösung geomorphologisch wirk-  
sam.

Die Gipssubrosion ist heute noch aktiv, was  
die Vielzahl der Auslaugungsformen (vgl.  
Beilage 1,), aber auch die Gewässerunter-  
suchungen (vgl. Beilage 2) zeigen. Gebunden  
ist sie an die Gips- bzw. Anhydritvorkommen  
in den unterschiedlichen Gesteinsschichten.  
So sind z.B. die erhöhten Sulfatwerte in  
der direkten Umgebung des Unterwerra-Sat-  
tels an die Zechsteingipse gebunden. Die  
gleichfalls erhöhten Sulfatwerte am rechten  
Werratalhang sind auf die Gipsauslaugung im  
Oberen Buntsandstein zurückzuführen. Die  
Auslaugung des Mittleren Muschelkalkes  
spiegelt sich am nordwestlichen Meißner-  
hang im Weißenbacher Tal wieder. Einige  
flache Einspüldolinen im Unteren  
Muschelkalk und Travertinablagerungen vor  
der Muschelkalkschichtstufe bezeugen die  
rezente Carbonatlösung. Die einzigen als

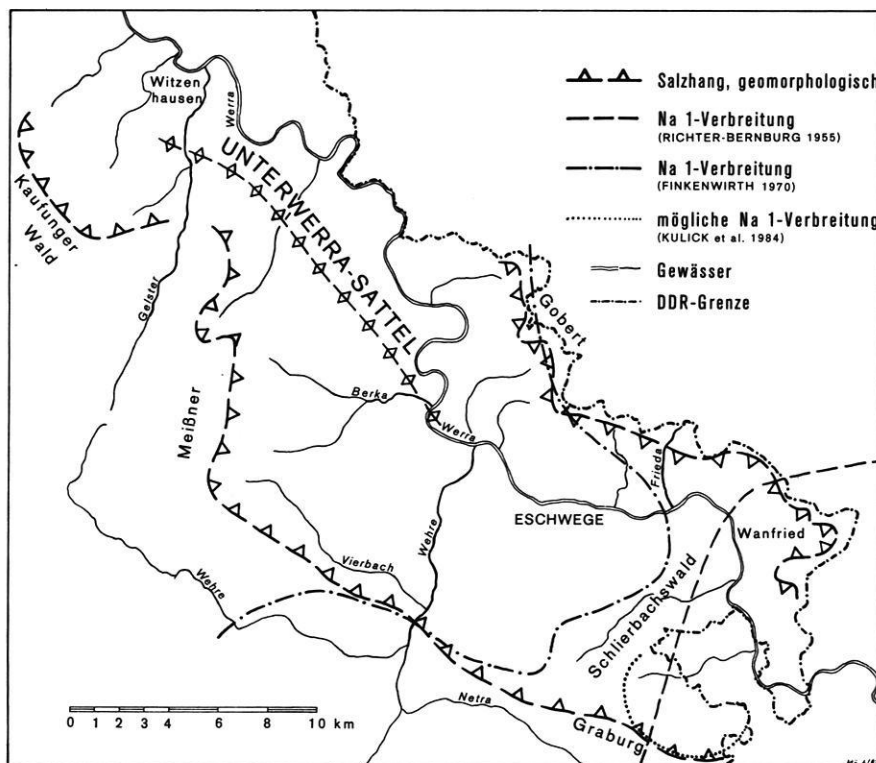


Abb. 47: Salzverbreitung und geomorphologischer Salzhang in der Umgebung des Unterwerra-Sattels.

Ausgehend von den geomorphologischen Strukturen und Indizien (vgl. Beilage 1) läßt sich der Salzhang wie dargestellt ableiten. Nach der geomorphologischen Rekonstruktion, die in Einklang mit den geologischen Verhältnissen steht, stellt sich die Frage nach der primären Salzverbreitung neu. Es ist zu sehen, daß diese auch in der neueren Literatur nicht einheitlich beurteilt wird. Aufgrund der vorliegenden geomorphologischen Ergebnisse nehme ich an, daß die primäre Salzverbreitung das Gebiet des gesamten Unterwerra-Sattels erfaßt hatte. Die Einflüsse der saxonischen Gebirgsbildung und die folgende Reliefentwicklung führen in bereinstimmung mit der vorher stattgefundenen Bildung einer Becken- und Schwellenregion zu den heute bestehenden Geländebeziehungen.

geogen anzusehenden wesentlich erhöhten Chloridwerte bei Wendershausen und südlich des Bahnhofs Schwebda deuten noch heute auf Zechsteinsalzauslaugung hin. Während die Carbonatlösung zurücktritt, sind sowohl Chlorid- als auch Sulfatauslaugung im Untersuchungsgebiet heute, geomorphodynamisch gesehen, einheitlich zu bewerten. Die größeren Formen - großräumige Auslaugungsbereiche und Salzhänge als Formen des Salzkarstes - sind in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes in ihrer Anlage abgeschlossen. Sie werden heute durch Gipskarst überprägt.

### Reliefgenerationen

Anhand der Geländebefunde und unter Auswertung der einschlägigen Literatur wird die Reliefentwicklung des Untersuchungsgebietes modellhaft vorgestellt (Abb. 48).

(0) Der Anstoß zur Entwicklung eines neuen Reliefs wird durch die Hebung des Unterwerra-Sattels und die Grabenbildung während der saxonischen Gebirgsbildung mit Zerstörung des Hangendenverbandes durch umfangreiche Hebung bzw. Senkung und der damit verbundenen möglichen Salzwanderung gegeben. Dadurch erhalten die Tageswässer bedingten Zugang zu den salinaren Serien, deren Auslaugung eine weitere Zerrüttung des Hangenden bewirkt. Der Abtransport des aufbereiteten Materials wird durch eine Urwerra vorgenommen. Großzügige Ausräumung zwischen der Muschelkalkschichtstufe im Osten und der Buntsandsteinstufe Meißner-Kaufunger Wald im Westen zeichnet die Reliefentwicklung aus. Die Herauspräparierung des Roßkopfmassivs ist bis zum Alttertiär abgeschlossen.

(1) Bildung einer oligozänen Landoberfläche durch Auslaugung im Untergrund mit Moorbildung in sich absenkenden Geländeteilen als Grundlage für die heutigen Braunkohlevorkommen (Meißner, Hirschberg). Die Schichtstufenränder befinden sich unweit der heutigen Lage. Die Vorlandverhältnisse sind noch wenig ausgeprägt. Der Salzhang am westlichen Abfall des Unterwerra-Sattels ist in Bildung. Die Ur-Werra bewegt sich auf breiter Ebene zwischen den Stufenrändern.

(2) Tertiärer Basaltvulkanismus nach WEDE-POHL (1982, zit. nach GARLEFF 1985:98) vor ca 11,5 Mio. Jahren (Mittel- bis Obermiozän) setzt eine Zeitmarke in der Reliefentwicklung. Er verhüllt am Meißner die abgesunkenen, ausgelaugten Bereiche, wandelt die oberste Schicht der Moore in Glanzkohle um und bildet fortan die geomorphologisch widerständigste Schicht in der weiteren Reliefentwicklung. Postbasaltische Sedimente im Hangenden des Basaltes treten nach Auffassung von BALDSZUHN-STRAKA et al. (1985) im Widerspruch zu KUPFAHL et al. (1979) nicht mehr auf. Allgemein wird heute von einer subeffusiven Platznahme des Basaltes (BALDSZUHN-STRAKA 1986, zit. nach HARLING 1986:45) ausgegangen, so daß sich das Auftreten tertiärer Sedimente im Hangenden des Basaltes erklären läßt.

(3) Pliozäne Weiterbildung des Reliefs unter tropischem Klima, das durch verwitterungsintensiven flächenhaften Abtrag (STÄBLEIN 1986:60) mit unterschiedlicher geomorphodynamischer Wirksamkeit gekennzeichnet ist. Im Bereich der tektonischen Zerrüttungszone um den Unterwerra-Sattel intensiver, intramontan eingegengter Abtrag zwischen den Schichtstufen des Buntsandsteins und des Muschelkalkes. Geomorphodynamisch weniger wirksamer Abtrag auf den Stufenflächen bzw. auf der Basalthochfläche. Parallel dazu weitere Subrosion von Gipsen im Westen und Salzen und Gipsen im Osten des Unterwerra-Sattels. Beide Prozesse bedingen spezifische Auswirkungen. Schafft der flächenhafte Abtrag die Fußflächen im Unteren Buntsandstein, so zerstört die um sich greifende Subrosion durch Anlage der großräumigen Auslaugungsbereiche diese Flächenanordnungen. Die Herauspräparierung des Unterwerra-Sattels wird sowohl an der West- als auch an der Ostflanke verstärkt.

(4) Der Übergang vom Pliozän zum Pleistozän schafft den Übergang von einem Klima, das flächenhaften Abtrags begünstigt, zu einem Klima, in dem sich die Reliefentwicklung linienhaft vollzieht. Im Pleistozän findet die aus geomorphologischer Sicht reliefprägende Landschaftsformung statt. Unter periglazialen Bedingungen kommt es zur Taleintiefung und zur Terrassenbildung. Parallel dazu bilden sich in allen Straten Hangschuttdecken, die sich in Bewegung befind-

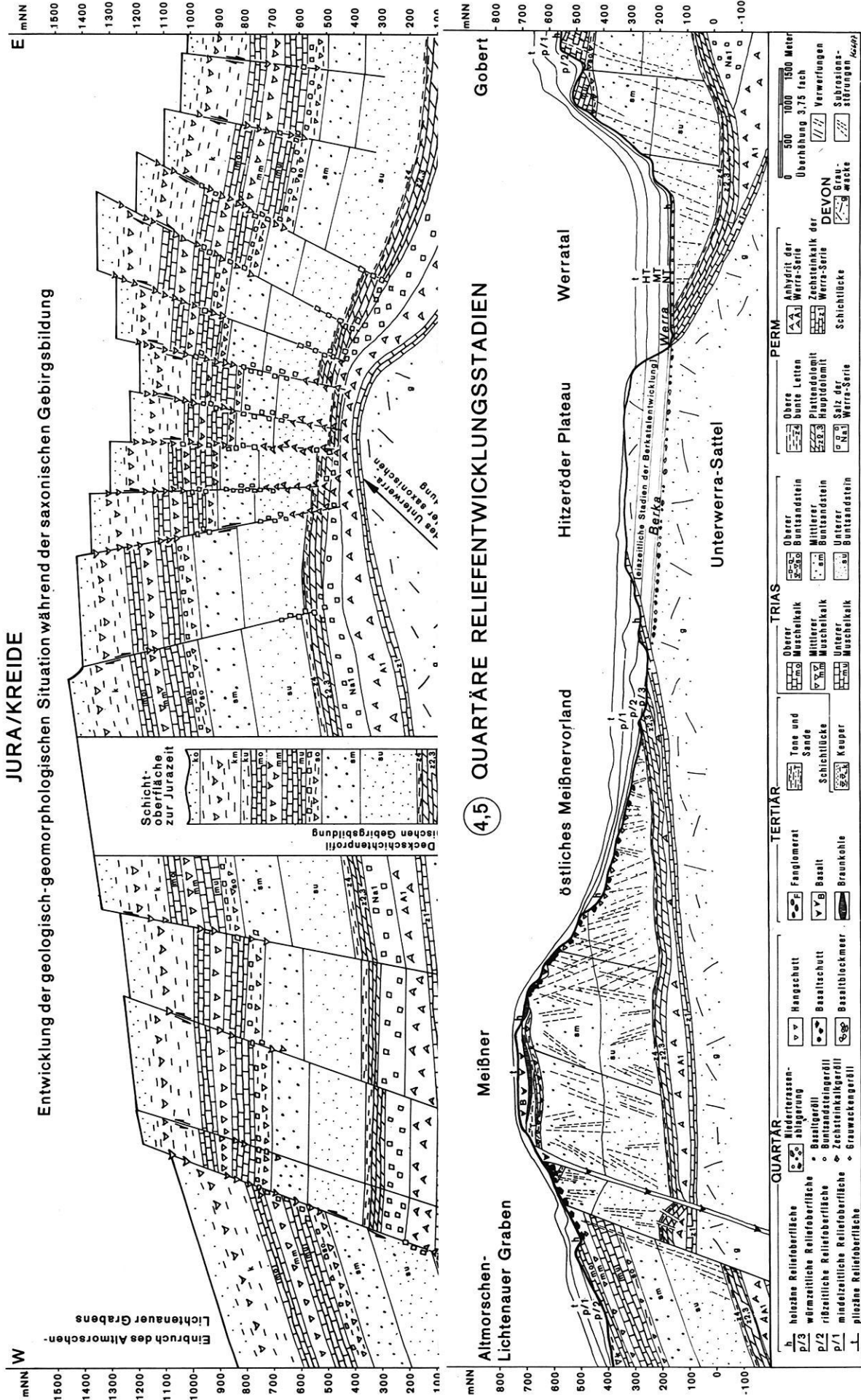


Abb. 48: Modell der Reliefentwicklung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels. Die Abbildung gibt in einem West-Ost Profil einen Überblick über die unterschiedlichen Reliefentwicklungsphasen seit der saxonischen Gebirgsbildung. Besonderer Wert wurde bei der Darstellung auf die Verbreitung des Salzes und die mögliche Reaktion dieses Mediums auf die tektonischen Beanspruchungen gelegt.

den. Die Auslaugung kommt aufgrund des tief greifenden Permafrostes zum Erliegen. Kräftige Einschneidung der Vorfluter führt unter periglaziellen Bedingungen zur Tieferlegung der Erosionsbasis. In den Interglazialen trägt die Subrosion zur Reliefversteilung im Bereich der Schichtstufenränder und zur Absenkung von Talböden bei. In Zeiten relativer Formungsruhe stellt sich das Gewässernetz auf die Vorflut ein. Feinsedimentdecken kommen auf den pleistozänen Terrassenkörpern zur Ablagerung. Die Stufenrückverlegung findet in bescheidenem Maße in Abhängigkeit von der Zerrüttung bzw. der Lage der Schicht statt. Drei nachweisbare Terrassenniveaus sind z.T. subrosiv verstellt.

(5) Im Holozän findet die Oberprägung des Reliefs statt. Fortschreitende Rutschungen an den Muschelkalkstufen, die z.T. auf die Gipsauslaugung des Röts zurückgeführt werden, sind festzustellen. Die Zerstörung von Fußflächen durch Gipsauslaugung greift um sich. Die Absenkung von Talböden führt zu Altarmbildung, Vermoorung und zur Auelehm- und Riedbildung in weiten Auenbereichen.

Die getroffene Unterteilung des Untersuchungsgebietes in 4 Bereiche (vgl. Abb. 21, Beil. 2) beruht auf der Einschätzung, daß die Reliefentwicklung auf der West- und auf der Ostflanke des Sattels ebenso unterschiedlich abgelaufen ist wie in der Umgebung des südöstlichen sowie des nordwestlich abtauchenden Sattelendes. Bei der Darstellung der Reliefgenese kann auf den Zeitraum, der sich zwischen der saxonischen Gebirgsbildung und dem Alttertiär befindet, verzichtet werden. Zu ihm gibt es die referierten und diskutierten Modellvorstellungen, aber keine Befunde. Es bleiben zu zeigen:

- (1) die Reliefgeneration des Oligozäns,
- (2) die Reliefgeneration des Miozäns,
- (3) die Reliefgeneration des Pliozäns,
- (4) die Reliefgeneration des Pleistozäns,
- (5) die Reliefgeneration des Holozäns.

#### 5.1.1 Der Nordwesten des Unterwerra-Sattels zwischen der Werra und der Landstufe des Kaufunger Waldes

Der im Nordwesten abtauchende Unterwerra-Sattel umfaßt das Kleinalmeroder Becken

(4.1), das Werratal zwischen Ermschwerd und Ellershausen (4.5.1) und die gesamte Nordostabdachung des Unterwerra-Sattels (4.12) (vgl. Abb. 21, Beil. 2).

Ausgehend von den geologischen Verhältnissen und der in Kap. 5.1 beschriebenen Reliefentwicklung läßt sich die primäre Salzverbreitung einerseits durch das in Auslaugung befindliche Salzvorkommen bei Wendershausen rekonstruieren, andererseits durch die Diskussion um das Salzverhalten bei der Entstehung der Unterwerra-Mulde, die von STILLE & LOTZE (1933, dargestellt in RITZKOWSKI 1978:198) und von NIEBERDING (1972:55), der sich dabei auf TRUSHEIM (1957) bezieht, geführt wurde. Hinzu kommt, daß der geomorphologische Formenschatz im Bereich um Wendershausen und vor der Schichtstufe des Kaufunger Waldes eindeutig auf vorangegangene Salzauslaugung im Sinne WEBERs hinweist.

Die Tatsache, daß sich am Nordwestende des Unterwerra-Sattels eine deutlich geringere Hebung als im Zentrum vollzog, führte dazu, daß auch das Deckgebirge in seiner Struktur weniger beeinträchtigt wurde. Nur der zentrale Bereich des Kleinalmeroder Beckens - die Umgebung der verlängerten Sattelachse - wurde durch die Aufwölbung vollständig zerstört. Darüber hinaus haben sowohl die Grabenbildungen (Eichenberg-Gothaer-, Altmorschen-Lichtenauer- und Leinetalgraben) als auch die Entstehung des Leinholz-Sattels und der Unterwerra-Mulde dieses Gebiet beeinflusst, wobei sich keiner dieser Vorgänge in das Grundgebirge durchgepaust hat (FAUPEL 1971:52 ff, 100), was als Beleg für die Grabenbildungshypothese von MEIBURG (1982:225) anzusehen ist. Aus dieser geologisch-tektonisch-geomorphologischen Situation ist die Reliefentwicklung (Abb. 49) abzuleiten.

Aufwölbung und Zerrüttung des Hangendverbandes ermöglichten den Tageswässern Zugang zu den salinaren Serien, deren Auslaugung einerseits zu einer Tieferlegung führte, andererseits die Ausräumung des zerstörten Deckgebirges vorbereitete. Dieser Prozeß hat sich verstärkt im sattelnahen Bereich und deutlich abgeschwächt in sattelfernen Lagen ausgewirkt. Letztere verfügen zudem über Deckgebirge mit hoher Buntsandsteinmächtigkeit, was die Mobilität des Salzes

in dem Bereich nahe der Sattelachse beeinflusst haben könnte. Die von WEILAND (1937: 73) aufgezeigten Tertiärvorkommen (Eozän), die in Höhenlagen von 300 bis 600 m NN anzutreffen sind, dienen hier nicht, im Gegensatz zur Auffassung von WEILAND, zur Untermauerung starker posteoziäner Hebung, sondern vielmehr als Argument, daß präbasaltisch bzw. präoligozän schon reliefiertes Gelände vorhanden gewesen ist. Die Moore, deren Inkohlung zur Braunkohle führte, konnten sich in den abgesunkenen Geländeteilen bilden.

Im Oligozän ist die Umgebung des Kleinalmeroder Beckens als schwach welliges Gebiet anzusehen, das durch die umgebenden Buntsandsteinkomplexe, die heutige Landstufe, überragt wird. In den stark durch Abtragung gekennzeichneten Aufwölbungsbereichen greift die Auslaugung von der Sattelachse in die Randbereiche und führt dort zu einem Nachsacken des ca. 500 m mächtigen hangenden Buntsandsteins (GARLEFF 1985:15), ohne jedoch den Gesteinsverband völlig zu zerstören. Diese Vorstellung entspricht dem idealtypischen Weg der Salzauslaugung im Werragebiet (WEBER 1952: 70 f, PRIESNITZ 1972:Abb. 1). Die gleiche Reliefgeneration spiegelt sich am Osthang des Unterwerra-Sattels zwischen Witzenhausen und Ellershausen wieder. Aufgrund des starken Einfal-

lens der Schichten ist hier der geomorphodynamische Einfluß der Auslaugung deutlich zurückgedrängt.

Eine Besonderheit sind die Triasschollen auf dem Grundgebirgskörper, die von FAUPEL (1971:100, 1973) als Rutschmassen gedeutet werden. Sie werden von mir als Relikte der ehemals zerstörten hangenden Struktur gedeutet, die über Salz- und Gipslösungen, möglicherweise auch in Verbindung mit Rutschungen - ähnlich dem Abgleiten von Decken in den Alpen - tiefergewandert sind, bis sie auf der Grauwacke zur Ruhe kamen. Sie und stützen die eingangs beschriebene Modellvorstellung einer großräumigen Reliefgenese, die durch diese Oberreste der oligozänen Reliefgeneration untermauert wird. Die weitere Oberprägung dieser Gesteinskörper hat klimageomorphodynamisch stattgefunden, aber nicht zu einem völligen Abtrag geführt.

Der Basaltaufstieg am Bilstein gibt die Zeitmarke für die miozäne Reliefgeneration. Die Aufstiegszone wird durch die Zerrüttung und den Einsturz infolge Auslaugung vorbereitet. Die von WEILAND (1937/38:74 f) genannten, parallel zum Altmorschen-Lichtenauer Graben verlaufenden Spalten, an die der Basaltaufstieg gebunden ist, müssen demzufolge nicht rein tektonischen Ursprungs sein.

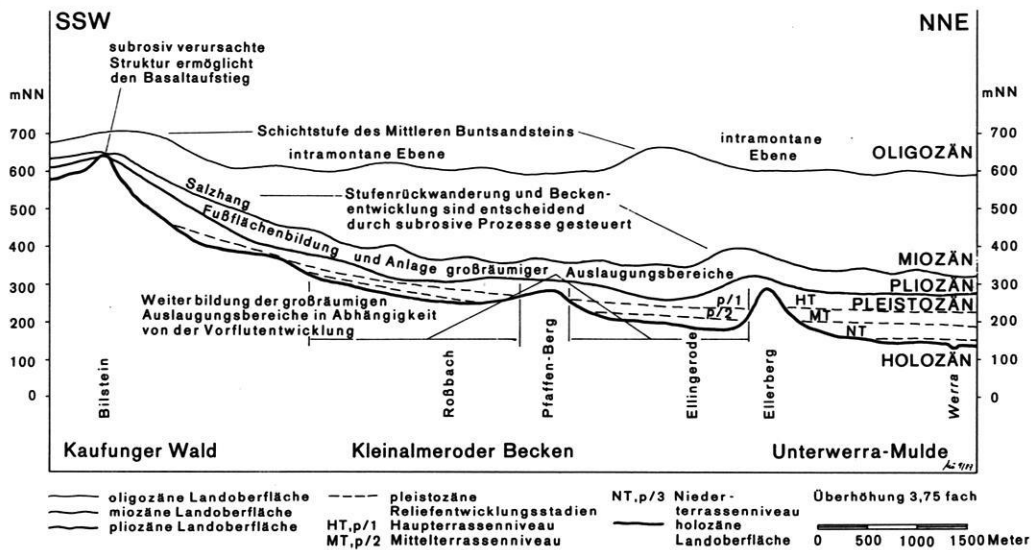


Abb. 49: Schematisches Profil zur Reliefentwicklung zwischen Werra und Bilstein.

In Analogie zu Abb. 48 stellt diese Abbildung die Reliefentwicklung zwischen Kaufunger Wald und Werratal an einem südsüdwest-nordnordost ausgerichteten Landschaftsprofil dar. Auf die Wiedergabe der Entwicklung der geologischen Situation wurde verzichtet.



Unabhängig hiervon gehören die im Untersuchungsgebiet angetroffenen vulkanischen Erscheinungen zum Vulkanismus der nördlichen Hessischen Senke. Am Rand solcher tektonischen Großstrukturen deute ich die Basaltfüllung des Bilsteins als Intrusivkörper eines durch Salzauslaugung verursachten Einbruchschlotes im Mittleren Buntsandstein. Die folgende Abtragung hat die Basaltkuppe herausmodelliert. Die Geländeoberfläche muß in dieser Phase der Reliefentwicklung, unter Heranziehung der angrenzenden Höhen, um 50 bis 60 m höher gelegen haben, da der Basalt sonst in Form einer Decke ausgetreten wäre. Daß bei solchen Vorgängen Deckgebirge von 600 m Mächtigkeit durch Salzauslaugung durchschlagen wird, paßt zu den in 2.2.2 referierten Vorstellungen über geomorphologische Auswirkungen von Auslaugungsprozessen.

Die erhöhte Landoberfläche gilt auch für die umliegenden Bereiche, so daß ein Reliefstadium deutlich über dem heutigen angenommen werden muß. Die Beckenbasis muß sich zu dieser Zeit gegenüber dem vorangegangenen Reliefstadium weiter abgesenkt haben, während die Werra, als Ur-Werra, in deutlich mehr als 160 m über der heutigen Talauflage präpliozän nach Norden in den Leinetalgraben abgefließen ist. Sie muß sich zu dieser Zeit schon auf der östlichen Flanke des Unterwerra-Sattels befunden haben. Das Roßkopfmassiv und die umgebenden Abdachungen können als Roßkopffläche I und II i.S. von MAIER-SIPPELL (1952:12 f) schon freigelegt gewesen sein und damit den tertiären, durch tropische Tiefenverwitterung gekennzeichneten Abtragungsbedingungen unterlegen haben. Belege für die geomorphologische Einteilung MAIER-SIPPELLs existieren nicht. Auch die von WEILAND (1937/38:73 ff) beschriebenen Flächensysteme (Bilstein-, Wegweiser-, Steinberg- und Hühnerfeldfläche: vgl. Abb. 13) setzen tektonische Aktivitäten voraus, die sich im Gelände nicht nachvollziehen lassen. Höhenmäßig korreliert die Hühnerfeldfläche mit den Roßkopfflächen I und II von MAIER-SIPPELL.

GARLEFF (1985) übernimmt die älteren, detaillierteren Vorstellungen für den betrachteten Raum nicht, sondern weist ein alt- bis mitteltertiäres Relief in einer Höhenlage von 260 bis 700 m NN nach. Ihm schließt sich nach unten ein oberes Reliefstockwerk des Pliozäns an.

Aus diesen unterschiedlichen Auffassungen sowie aus den genannten Argumenten schließe ich, daß das miozäne Relief hier nicht in Form einer über alle Schichten hinweggreifenden Rumpffläche bestanden hat. Aufgrund der vorangegangenen tektonischen Ereignisse und den daraus resultierenden Abtragungsbedingungen hat sich ein Relief herausgebildet, das dem heutigen nicht unähnlich war, jedoch weit weniger Zertalung zeigte. Das Kleinalmeroder Becken war noch nicht vollständig ausgeräumt, als der Ansatz zur Bildung der Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins durch den Salzhang schon vorgezeichnet war. Der Übergang zur Unterwerra-Mulde scheint anhand der vorgefundenen Reliefverhältnisse noch nicht im heutigen Maße herauspräpariert gewesen zu sein.

Die großräumige Talentwicklung der Werra leitet zur Reliefgeneration des Pliozäns über. Der Werraverlauf wird bis zur Höhe von Unterrieden schon dem heutigen Lauf entsprochen haben. Von dort ab floß die Werra nach Norden über den Eichenberger Sattel. Dieser Weg ist durch Schotterfunde belegt und ins Altpliozän (HECK 1928 zit. bei GARLEFF 1985:51) datiert. Das heißt, daß der Talboden im Pliozän 140 bis 160 m über der heutigen Werra-Aue lag. Für die der Werra tributären Bäche und Flüsse bedeutete die Lage dieser Vorflut, daß das Hinterland zur Zeit der pliozänen Reliefgeneration ein deutlich anderes Aussehen gehabt haben muß. Fußflächenbildung, die einerseits im Unteren Buntsandstein angelegt war, andererseits aber auch über stratigraphisch verschiedene Einheiten hinwegreichte, prägte das Vorfeld der Landstufen. Die Fußflächen zeichneten sich durch Fangerbedeckung aus und gelten als die pliozäne Reliefgeneration. Für das Kleinalmeröder Becken folgt, daß bis zu einer Höhe von 290 m NN der Beckenboden einerseits in die Fußflächenbildung, andererseits in die Auslaugung einbezogen war. Beide Prozesse haben parallel gewirkt, denn die großräumigen Auslaugungsbereiche sind mit den Fußflächen, die sich heute als Riedel des Unteren Buntsandsteins mit Fangerbedeckung darstellen, verzahnt. Da es sich, auch unter Berücksichtigung der Bohrergebnisse bei Escherode (KULICK et al. 1984:132), nicht mehr um Salzauslaugung gehandelt hat, ist die Anhydritumwandlung mit anschließender Gipslösung die Ursache der

ausgewiesenen großräumigen Auslaugungsbereiche. Die Weiterbildung der steilen, wannenförmigen Talschlüsse, die mit kesselförmigen Arealen vergesellschaftet sind, führt zu einer weiteren Versteilung des Reliefs. Dieser Prozeß dauert bis heute an, was in Anbetracht der südwestlich von Escherode erbohrten Al-Mächtigkeit von 180 m (KULICK et al. 1984:Tafel 17) verständlich ist. Schreibt man diese Mächtigkeit in das Kleinalmeroder Becken fort und addiert die angenommene Salzmächtigkeit von 120 m, so waren in diesem Gebiet 300 m auslaugungsfähiges Material vorhanden. Der heute anzutreffende Formenschatz läßt sich damit durch die Auslaugung von Salzen und Gipsen ohne die Heranziehung langandauernder wiederkehrender tektonischer Aktivitäten erklären.

Bezüglich der pliozänen Reliefgeneration muß bedacht werden, daß die Flächenniveaus MAIER-SIPPELLS (A,B,C) in einer Höhenlage von 260 bis 380 m NN in Fußflächenbildungsphasen mit einbezogen waren, die im Kleinalmeroder Becken zwischen 390 und 230 m NN nachzuweisen sind. In dieser Hinsicht besteht Übereinstimmung mit dem von GARLEFF (1985:50 f) aufgezeigten oberpliozänen / ältestpleistozänen Reliefstockwerk. WEILAND (1937:79) sieht hier nur die Cattenbühl-Fläche, die jedoch weiter westlich, in einer Höhenlage von 320 m NN, liegt. In die pliozäne Phase der Reliefentwicklung gehören neben der Fußflächenbildung die Anlage der großräumigen Auslaugungsbereiche im Kleinalmeroder Becken sowie um die Domäne Rückerode und um das Alte Gericht.

Die Reliefentwicklung auf der nordöstlichen Abdachung des Unterwerra-Sattels ist mit Hilfe des Formenschatzes nicht zu erklären. Ursache hierfür ist der geologische Bau dieses Gebietes, der durch steiles Einfallen des Deckgebirges zur Unterwerra-Mulde hin gekennzeichnet ist. Das läßt dem Ausstreichen der Serien nur einen schmalen Saum, wie an der Verbreitung perlschnurartig aufgereihter Dolinen um Wendershausen sowie nordwestlich Oberrieden abzulesen ist.

Eine Eingrenzung des großräumigen Auslaugungsbereiches zwischen Witzenhausen, Unterrieden und Wendershausen fällt schwer, denn sowohl das Schichteneinfallen als auch

die pleistozäne Reliefgestaltung haben hier die Möglichkeit der Datierung sehr eingeschränkt. Modellhaft ist davon auszugehen, daß die Anlage dieser Mesoform ebenfalls in das ausgehende Tertiär zu stellen ist. NIEBERDING (1972:55) ist der Auffassung, daß sowohl die Unterwerra-Mulde als auch der nördlich anschließende Leinholz-Sattel auf halotektonische Einflüsse aufgrund eines vorhandenen Zechsteinsalinars zurückgeführt werden können. Letzteres sei zwar nicht mehr da - mit Ausnahme von Wendershausen - doch seien nach RITZKOWSKI (NIEBERDING 1972:55) an mehreren Stellen im Zechstein Residualbreccien bzw. Residualtone zu finden, die auf ein ehemaliges Salinar deuten. Dementsprechend wäre der Leinholz-Sattel im Sinne von TRUSHEIM (1957) als langgestrecktes Salzkissen zu deuten. Das Salz aus der Unterwerra-Mulde wäre demzufolge in den Kissenbereich gewandert.

Darüber hinaus bricht NIEBERDING (1972:55) mit den Vorstellungen von BOSSE (1931:30 ff) zur Grabenbildung wie auch mit den Ausführungen von WUNDERLICH (1957:407) zur großräumigen Entwicklung des Leinetalgrabens und weiter des Altmorschen-Lichtenauer-Grabens. Er führt die Bauelemente der saxonischen Faltung überwiegend auf salztektonische Einflüsse zurück, was den geomorphologischen Befunden und Vorstellungen entgegenkommt. Begründung hierfür ist das Fehlen von Störungen im Grundgebirgskörper, was von FAUPEL (1971:55 f) aufgezeigt wird. KOLTZE (1975:Ostprofil im Anhang) erhärtet diese Ansicht indirekt und bringt am Ahrenberg Salztektonik in die Diskussion über die Absenkung des Bergrückens. Sie steht meiner Ansicht nach in Verbindung mit der Genese des großräumigen Auslaugungsbereiches um Bad Sooden-Allendorf (vgl. 5.1.4).

Weitere Unterstützung erfahren diese Vorstellungen von STILLE & LOTZE (1933, zit. nach RITZKOWSKI 1978:198), die die Mobilität von Zechsteinsalzen an Störungsbahnen aufzeigen. Die Randbereiche des Unterwerra-Sattels, insbesondere seine steilgestellte Ostflanke, begünstigen die Vorstellungen einer möglichen Salzwanderung. Da diese parallel zur Tektogenese stattgefunden haben muß, sind ihre Auswirkungen nur modellhaft nachzuvollziehen. Bis auf Wendershausen sind alle bis hierher diskutierten Sachverhalte in die eingangs erläuterte Modellvor-

stellung eingebunden. Eine konkretere Eingrenzung der Reliefentwicklung kann erst mit dem Beginn des Pleistozäns beginnen. Mit dem klimatischen Wandel setzt die Talbildung verstärkt ein, wobei sich der Übergang vom Tertiär ins Pleistozän in erster Linie in der Talentwicklung des Vorfluters - der Werra - widerspiegelt.

Ausgehend vom weitgespannten Werratalboden des Pliozäns, der über unterschiedlich harten Gesteinen in 140 bis 160 m über der heutigen Aue ausgebildet war, setzt die plio-/pleistozäne und nachfolgend die pleistozäne Talentwicklung ein. Aus der Fülle der bearbeiteten und stratigraphisch gedeuteten Terrassenreste (vgl. 2.2.1.4) zeigt sich aufgrund der eigenen Befunde, daß geomorphographisch und durch Schotterfunde belegbar vier Terrassenniveaus auszuweisen sind. Es sind dies, bezogen auf den mittleren Wasserspiegel der Werra:

- die Niederterrasse in 2 - 8 m,
- die Mittelterrasse in 9 - 40 m,
- die Hauptterrasse in 40 - 80 m und
- die plio-/pleistozäne Breitterrasse in 97 - 106 m (Hochboden)

Alle weiteren Terrassenkörper treten vereinzelt auf und sind in vielen Fällen durch Subrosion beeinflusst (ELLENBERG 1968, BROSCHE 1986, MENSCHING 1953, GARLEFF 1966).

Für den beschriebenen Reliefausschnitt wurde nur der linkswerrische Talhang, die Ostflanke des Unterwerra-Sattels, bearbeitet. Steiles Einfallen der unterschiedlich resistenten Gesteinsserien zeichnet diesen Bereich aus. Dementsprechend gibt es so gut wie keine älteren aufgeschlossenen Terrassenniveaus. Stellenweise tritt eine Lößdecke auf, die je nach stratigraphischer Position durch eine Vielzahl von Erdfällen und Bodensenkungen gegliedert ist. (z.B. südöstlich des Ludwigsteins). In Anlehnung an die stratigraphischen Verhältnisse sind Auslaugungserscheinungen im Röt zwischen Ermschwerd und Witzenhausen sowie im Muschelkalk zwischen Ermschwerd und Burg Ludwigstein zu belegen. Wenige Kleinformen der Subrosion gehen eindeutig - ausgenommen im Gebiet um Wendershausen - auf die Auslaugung von Zechsteinsalzen und -gipsen zurück.

Es ist zu vermuten, daß die Buntsandstein-, aber auch die Muschelkalksporne Auslieger

in der Begrenzung von großräumigen Auslaugungen im Zechstein sind. Belege hierfür sind in Kap. 5.1.3 und 5.1.4 aufgeführt, wobei im Südosten und Osten des Unterwerra-Sattels eine andere tektonische Situation - keine Mulden- und Sattelstruktur - anzutreffen ist.

Die holozäne Reliefgeneration ist durch eine Vielzahl von Auslaugungserscheinungen, die zeitlich nicht eindeutig festzulegen sind, geprägt. Einfach zu erfassen sind die rezenten Erdfälle, wie z.B. im oberen Dohrenbachtal und am Alten Gericht sowie bei Wendershausen. Schwerer wird es bei der Einordnung von Bodensenkungen unter Lößdecken (z.B. südöstlich Burg Ludwigstein) oder von Erdfällen, die weit in den Unteren Buntsandstein hinaufreichen (z.B. südwestlich Roßbach). Daneben treten die Auslaugungsformen im Mittleren Muschelkalk bzw. im Oberen Buntsandstein, die sich im Holozän gebildet haben müssen, da sie sonst von periglazialen Abtragungsresten verschüttet und eingeebnet wären. Die Probleme bei der absoluten Alterseinordnung von Erdfällen und Bodensenkungen sind in 2.2.2 aufgezeigt. Die Schlucklöcher im Dohrenbachtal bzw. am Hungershäuser-Bach sehe ich dabei als holozän/rezent an, da die zugehörigen Talungen deutlich als Trockentäler ausgebildet sind. Schlucklochbildung kann hier durch Erreichen eines verkarsteten Niveaus bzw. durch die Erniedrigung der Vorflut mit anschließender Auslaugung erreicht werden.

Dabei weisen die Sulfatgehalte in Wässern deutlich dort ein Maximum auf, wo entweder Auslaugungserscheinungen im Hinterland zu beobachten sind oder eine sulfathaltige Schicht durchflossen wird (vgl. Beilagen 1 und 2).

Zusammenfassend lassen sich für die nordwestliche Abdachung des Unterwerra-Sattels und seiner engeren Umgebung folgende Reliefgenerationen ausweisen:

(1) Im Oligozän überragten die heutigen Schichtstufen die zerstörte Struktur über dem Kleinalmeroder Becken. Salzauslaugung griff geomorphologisch wirksam von der Satteltachse in die Randbereiche über.

(2) Im Miozän bildete sich der Einbruchschlot des Bilsteins, in dem sich tertiäre

Sedimente ablagerten, die dann vom Basalt überflossen wurden. Die Reliefoberfläche muß zu diesem Zeitpunkt 50 bis 60 m über dem heutigen Top des Buntsandsteins gelegen haben. Der Beckenbereich wurde parallel weiter erniedrigt und ausgeräumt.

(3) Im Pliozän war die Reliefbildung weit fortgeschritten, es bildeten sich Fußflächen, vorwiegend angelehnt an den Unteren Buntsandstein, und großräumige Auslaugungsbereiche, die in die Fußflächenbildung eingriffen. Die Werra floß zu dieser Zeit 140 bis 160 m über der heutigen Aue über den Eichenberger Paß in den Leinetal-Graben.

(4) Im Pleistozän kam es zur Tieferlegung des Vorfluters Werra. Die seitlichen Nebenbäche tiefen sich rasch ein und verstärkten somit die Reliefentwicklung im Einzugsgebiet. In den Kaltzeiten kamen die subrosiven Prozesse zum Stillstand. Die Relikte des Pleistozäns (Terrassen, Hangschuttdecken, Löß) wurden in den nachfolgenden Interglazialen bzw. im Holozän in die Subrosionsprozesse einbezogen.

(5) Die postglaziale, holozäne und rezente Subrosion führte zu vielfältigen Auslaugungsformen in den genannten Reliefgenerationen im gesamten Gebietsabschnitt.

#### 5.1.2 Die Westflanke des Unterwerra-Sattels bis in den Altmorschen-Lichtenauer Graben

Dieses Gebiet nehmen die bis zu 2° nach Westen einfallenden Hangendschichten der Grauwacke unter Einbeziehung des Meißners und seiner westlichen Hänge ein. Im einzelnen sind in diesem Kapitel folgende Teilräume erfaßt (vgl. Abb. 21, Beil. 2):

- der Altmorschen-Lichtenauer Graben (4.2)
- der Hohe Meißner (4.3)
- das östliche Meißnervorland (4.4)
- das Wehretal (4.6)

Forschungsschwerpunkt dieses Gebietes ist der Hohe Meißner, der von den genannten Randbereichen umgeben wird. Der Wissensstand (vgl. 2.2, 2.2.1.1 und 2.2.2.4, 2.2.3) ermöglicht es:

- die Salzverbreitung,
- die Genese des Altmorschen-Lichtenauer Grabens und
- ein Modell zur Reliefentwicklung darzustellen.

Die Anwendung des Auslaugungszyklus von WEBER (1929 ff) auf die Situation des östlichen Meißnervorlandes und der östlich exponierten Meißnerhänge (MÜLLER 1985) wurde von STÄBLEIN (1986:62), STÄBLEIN & MÜLLER (1986:242 ff) sowie MÜLLER & STÄBLEIN (1986:308) erneut aufgegriffen und diskutiert. Ergebnis war, daß die Reliefentwicklung dieses Gebietes bedeutend stärker durch Auslaugung beeinflusst ist, als es bisher angenommen wurde. Belege für diese Ergebnisse sind aus geologischer Sicht die "tonmittel und tonigen Vertretungen des NaI" (KULICK et al. 1984:19), die als Reste einer Salzverbreitung interpretiert werden. Im Gegensatz zur Auffassung von KULICK et al. (1984:14), die die Salzverbreitung vor Sedimentation des nächsten Zechsteinzyklus (Z 2) schon wieder als abgetragen ansehen, vertrete ich die Auffassung, daß der auftretende Formenschatz, vor allem der weiträumige Schichtstufenverlauf des Mittleren Buntsandsteins sowie die aufgezeigten Zusammenhänge zwischen Salzverbreitung und Geomorphologie (vgl. 2.2.2.7, 2.2.2.8) für eine postsaxonische Salzverbreitung unter dem Meißner sprechen.

Geht man von der These aus, daß aus Bereichen mit mächtigen Decksedimenten das Salz aufgrund seiner Plastizität in Areale wandert, die weniger Auflast tragen, so folgt, daß der Einbruch des Altmorschen-Lichtenauer Grabens das vorhandene Salz mobilisiert und unter die im Gefolge der Aufwölbung des Unterwerra-Sattels zerstörten Hangendbereiche verdrückte. Dort, in der zerrütteten Struktur, war es den Kräften der Abtragung leichter zugänglich. Diese Interpretation wird unterstützt durch Ergebnisse zur Ausbildung von Braunkohlenlagerstätten in unterschiedlicher Position. Insbesondere sind bei der Absenkung der Hirschbergmulde (KREUTZER 1986), wie auch im Grabenknoten von Hessisch-Lichtenau (BROSIUS 1957:130) und in der Subrosions-senke von Fürstenhagen (HIEKE & RITZKOWSKI 1968:190) die Einflüsse der Zechsteinsalzauslaugung als formend angeführt. Aufgrund dieser Argumentation verliert das von KU-

LICK et al. (1984:134) gedeutete Bohrergebnis an Gewicht. In Anlehnung an die Vorstellung WEBERs, daß Salz im Eschweger Becken nicht mehr zu erbohren sei, da es ausgelaugt ist, wird für den Meißner angenommen, daß Salz vorhanden war, seine Subrosion aber im Miozän als abgeschlossen betrachtet werden kann.

Ausgehend von der weiteren Umgebung des Untersuchungsgebietes, in der tertiäre Absenkungsprozesse auf Zechsteinsalzauslaugung zurückgeführt werden (R. HERRMANN 1930:476 f, JANKOWSKI 1964:500), ist zu überprüfen, welche Argumente auf die Zechsteinsalzauslaugung unter dem Hohen Meißner hinweisen. Da der Nachweis sukzessiver Absenkung der Meißnermulden Indiz für Auslaugung ist (KERSTEN 1986:87 ff, HARLING 1986:66 ff), ist noch zu klären, welches Substrat - Salz oder Anhydrit - für die geomorphologischen Verhältnisse grundlegend ist. Der Vergleich zu Salzhängen in anderen Auslaugungsgebieten (Heringen, Philippstal, Südharz) zeigt, daß die Neigungsverhältnisse des östlichen Meißnerhanges, aber auch die kurzen, wannenförmigen, steilen Tal-schlüsse typisch für Salzhänge sind. Eine ähnliche Ausformung, die auf Gipsauslaugung zurückgeführt werden kann, zeigen weniger ausgeprägte Reliefelemente, und zwar in den Neigungsverhältnissen wie auch in der Gesamtausdehnung. Der Gipsauslaugung im Untergrund wird dennoch, sowohl im östlichen Meißnervorland als auch im Weißenbacher Tal, eine hervorragende Stellung eingeräumt, doch sind die Mächtigkeit des Gips-lagers von 57 m in der Bohrung Küchen (KULICK et al. 1984:134) wie auch die Lösungsgeschwindigkeit des Gipses zu gering, als daß sie eine Formung wie am östlichen Meißnerhang hervorrufen könnten. Ich schließe daher indirekt, daß allein Salzvorkommen an der Westflanke des Unterwerra-Sattels eine dementsprechende Formung hinterlassen konnten.

Bevor die Reliefentwicklung charakterisiert wird, soll die Genese des Altmorschen-Lichtenauer Grabens dargestellt werden. Fußend auf der Arbeit von MEIBURG (1982), ist die Grabenbildung auf das Abscheren der Solling-Scholle von der Hunsrück-Oberharz-Schwelle unter Aufreißen der rheinischen Richtungen zurückzuführen. Das Zechsteinsal-

linar mit einer Neigung von 1,4° nach Nordwesten war Gleitmittel für diese Bewegung, die durch die saxonische Tektonik ausgelöst wurde. Hebung fand im Gebiet der Hunsrück-Oberharz Schwelle gegenüber dem Niedersächsischen Bereich statt. Die anschließende Rutschung im Gefolge der Spannungsumwandlung an der Jura/Kreide-Grenze in Richtung des Weser-Beckens führte auch zum Aufreißen des Altmorschen-Lichtenauer Grabens (MEIBURG 1982:225). Diese Theorie wird verständlich vor dem Hintergrund, daß sowohl FAUPEL (1971:55 f) als auch RITZKOWSKI (1978:199) zeigen, daß die Grabenbildung keine Fortsetzung im Grundgebirge hat.

Ausgehend von der saxonischen Tektonik, die sich im Rahmen eines langanhaltenden epirogenen Entwicklungsganges aufbaute (MEIBURG 1982:2) und in der Heraushebung des Unterwerra-Sattels sowie in der Abscherung der Solling-Scholle von der Hunsrück-Oberharz Schwelle im Untersuchungsgebiet ihre Entlastung fand, setzte die Reliefentwicklung ein (Abb. 50).

In den folgenden 100 Mio. Jahren leiten die Abtragungsmechanismen in die Reliefgeneration des Oligozän über. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß der Muschelkalk an der Westflanke des Unterwerra-Sattels bis auf die Grabenschulter zum Altmorschen-Lichtenauer Graben abgetragen wurde. Die Abtragungsbedingungen sowohl der Kreidezeit als auch des Alttertiärs haben diese Stufenrückverlagerung aus dem Zentrum der Hebung bis an den Grabenrand verursacht. Parallel hierzu hat die Auslaugung des Zechsteinsalinars sowie der salinaren Zyklen des Oberen Buntsandsteins und des Mittleren Muschelkalkes zur Zerrüttung des Hangenden und damit zur besseren Aufbereitung für die Abtragung beigetragen. Ich gehe davon aus, daß die Decksedimente auf dem Unterwerra-Sattel schon zu dieser Zeit bis in das Roßkopfniveau abgetragen waren und daß das östliche Meißnervorland, mit einem Salzhang vor der Stufe des Mittleren Buntsandsteins, schwach reliefiert war. Die Auslaugungsfront hat dabei unter den heutigen Meißnermulden gelegen und durch sukzessive Absenkung zur Moorbildung geführt.

Der Westabfall des Meißners ist durch das Abtauchen der triassischen Deckschichten gekennzeichnet. Hier setzen einerseits die

zeitlich zugehörigen Abtragungsbedingungen an, andererseits unterliegen die salinaren Serien des Mittleren Muschelkalkes und des Röts infolge ihrer geringmächtigen Decksedimente schon der Auslaugung in fortschreitend westlicher Richtung. Diese Vorstellung muß auf das Zechsteinsalinar erweitert werden. Hauptabsenkungszeit ist im Tertiär, wie an Füllungen von Subrosions-senken mit tertiären Sanden, Kiesen und Braunkohlen sowie ausschließlich wechsel-lagernden pliozänen Sedimenten gezeigt ist (vgl. 2.2.2.).

Die Werra floß im Alttertiär auf breiter Ebene zwischen den Stufenrändern der Aufwölbung des Unterwerra-Sattels. Sie konnte, wenn das Roßkopfmassiv schon freigelegt war, den Weg sowohl am östlichen als auch am westlichen Abfall des Unterwerra-Sattels gesucht haben. Das tertiäre Gewässernetz entsprach in weiten Teilen noch nicht dem heutigen, sieht man einmal von einer möglichen Wasserführung im Altmorschen-Lichtenauer Graben ab.

Die folgende Reliefgeneration des Miozäns ist durch den Basalt-Vulkanismus gekennzeichnet, dem die Sedimentation der Frie-lendorfer Gruppe vor allem in Senken (KERSTEN 1986:106) vorausging. Der Basalt intrudierte nach HARLING (1986:45) in gut durchfeuchteten Sedimenten, folgte weichen Horizonten und blieb dann stecken (KERSTEN 1986:107). Nach MEIBURG (1982:194) ist der Höhepunkt der Eruptionstätigkeit mit dem Höhepunkt der Subrosion verknüpft, was die Basalte am Schwiemelstein bzw. am Rosenbühl erklärt, die erst durch die spätere Abtra-gung freigelegt wurden.

Insgesamt aktivierte die Subrosion die Linien der saxonischen Tektonik (vgl. Abb. 27), was im Tertiär sowohl zur Anlage von Zerrungsformen als auch zu Schollenverkip-pungen führen konnte. Sieht man die Genese des Altmorschen-Lichtenauer Grabens unter diesem Aspekt, so ist das Einfallen der Deckschichten von 25 bis 30° auf den Graben zu durch Auslaugung im tiefen Untergrund modifiziert. Letztere müßte meiner Ansicht nach auch noch in postbasaltischer Zeit stattgefunden haben, so daß die am Osthang des Altmorschen-Lichtenauer Grabens gefun-

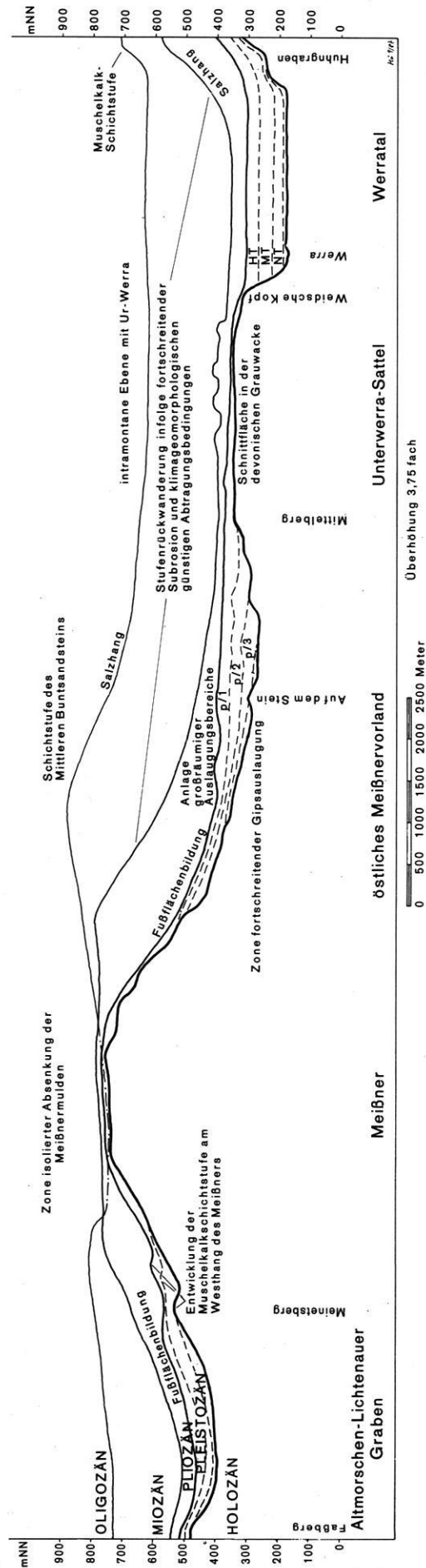


Abb. 50: Schematisches Profil zur Reliefentwicklung zwischen Werra, Meißner und Altmorschen-Lichtenauer Graben.

Die verwendeten Abkürzungen sind in Abb. 48 erklärt.

Verkleinert zeigt diese Abbildung noch einmal die Entwicklung der Geländeoberfläche in den einzelnen Reliefentwicklungsstadien. Die geologische Situation zu dieser Abb. ist in Abb. 48 wiedergegeben.

denen Basaltschuttdecken erst postsedimentär von ihrem Ursprung getrennt wurden, was durch KERSTEN (1986:106) erhärtet wurde. Sie zeigt auf, daß der mesozoische Sockel des Meißners atektonisch stark zerrüttet sein muß, da saxonische Tektonik nicht ausreicht, eine derartige Struktur zu erklären. Weiterhin, als zusätzliches Argument für Subrosion, wurde das umlaufende Einfallen des Mesozoikums gegen den Hang sowohl von KERSTEN (1986:88 ff) als auch von HARLING (1986:66 ff) nachgewiesen und im Sinne subrosiver Einflüsse gedeutet.

Interessant erscheint noch, daß KERSTEN (1986:98) die Einsenkungen der Meißnermulden mehr auf die Auslaugung des A1 zurückführt, als auf die von RITZKOWSKI (1978:198 ff) diskutierte Horst- und Grabenbildung. In der Frage der Auslaugung stimme ich ihr zu. Nimmt man hingegen den von PRINZ (1973:4) angegebenen groben Richtwert, daß Erdfälle über 50 m Durchmesser eine Sulfatmächtigkeit von 70 bis 100 m voraussetzen, so scheint bei der Mächtigkeit der Deckschicht (ca 600 m) und dem Durchmesser der Muldenstrukturen die erbohrte Mächtigkeit des A1 von ca. 57 m (KULICK et al. 1984:134) als nicht ausreichend zur Schaffung solcher Formen. Selbst die maximale Mächtigkeit von 180 m A1, Bohrung Escherode, - vorausgesetzt, das Ergebnis ist übertragbar - führt selbst bei ausgelaugten 120 m A1 nicht zur Anlage solcher Strukturen. Es muß vielmehr die schnelle Salzauslaugung mit der anschließenden, heute noch wirksamen Gipslösung in diesem Gebiet geherrscht haben, um derartige Formen zurückzulassen.

Insgesamt bringt diese Diskussion weitere Argumente für die Theorie der Salzverbreitung, wobei die primäre Grenze der Salzverbreitung für mich am Osthang des Hohen Meißners liegt. Die in diesem Kapitel eingangs diskutierte und dargestellte Na1-Verbreitung beruht auf folgender Vorstellung: Kommt das Salz des Perms auf beiden Sattelflanken vor, Salzresiduen im Meißner-vorland bestätigen dies (vgl. 2.2), so ist nicht einzusehen, warum der erst an der Wende Jura/Kreide stattfindende Aufstieg des Unterwerra-Sattels automatisch Salzfreiheit der Sattelachse zur Folge gehabt haben soll.

Nach der breiten Darstellung der Argumente für die Salzauslaugung wird für die weitere

Reliefentwicklung mit KERSTEN (1986:101) davon ausgegangen, daß keine weitere nachweisbare tektonische Beeinflussung des Meißners stattgefunden hat. Die Subeffusion des Basaltes vor ca. 11,5 Mio. Jahren setzte die Zeitmarke für das weitere Geschehen, wobei zu dieser Zeit eine weitere Absenkung infolge Abtragung und Auslaugung im Vorland des Meißners stattgefunden haben muß. Obwohl nicht nachweisbar, wird der Werraverlauf ähnlich demjenigen in der oligozänen Reliefgeneration angenommen. Vermutlich nahm in dieser Zeit die Tendenz zu auf die östliche Sattelflanke überzuwechseln, wie vereinzelte Schotterfunde des Werraliefergebietes auf dem Hitzleröder Plateau (330 - 340 m NN) belegen (MÜLLER 1979:51). Als Folge der Änderung des Werra-Verlaufes begann zu dieser Zeit der Oberrieder-Bach, auf einem Niveau von 400 m NN in den Unterwerra-Sattel einzuschneiden. Die nordöstlich fließende Werra war Vorfluter, der, um ca. 70 m tiefer liegend, über ausreichend Erosionspotential verfügte.

Die folgende pliozäne Reliefgeneration setzte mit der Fußflächenbildung am Meißnerosthang ein, die ihren Anfang in 370 bis 350 m NN nahm und durch Fanger belegt ist. Letztgenannte sind in plötzlich einbrechenden Erdfällen aufgeschlossen (Abb. 51).

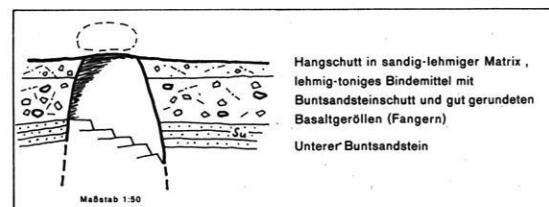


Abb. 51: Skizze eines frisch eingebrochenen Erdfalls mit deutlich aufgeschlossenem Fangerhorizont.

Der Einbruch dieses Erdfalls wurde im Sommer 1981 zur Zeit der Heuernte beobachtet. Er vollzog sich im Flurstück "Das Geling" nördlich Vockerode. Ursache ist die Gipsauslaugung im unterlagernden Zechstein. Das Areal, in dem der Erdfall einbrach, ist in die Fußfläche, die sich bis an den Osthang des Meißners verfolgen läßt, einbezogen. So ließen sich hier in Ergänzung zu den Feldbeobachtungen gut gerundete Basaltgerölle (Fanger) im Aufschluß beobachten.

Die Fußflächen streichen mit ihrem Gefälle von ca. 2° am pliozänen Werraverlauf aus, der sich zu dieser Zeit in Höhe des Wellingröder Plateaus befand (200-230m-Niveau

nach MAIER-SIPPELL 1952), wie zahlreiche Schotterfunde aus dem Einzugsgebiet der Werra belegen (MÜLLER 1979:51). Die Werra nahm zu dieser Zeit ihren Weg schon östlich des abtauchenden Unterwerra-Sattels unterhalb der Schnepfenburg, so daß sich die Berka in die Schwächezone des Unterwerra-Sattels (Grauwacke, Diabasdurchschläge, phyllitische Schiefer) einschneiden konnte. Die weitere Entwässerung des östlichen Meißnervorlandes nahm mit Einsetzen der Fußflächenbildung und der Anlage der großräumigen Auslaugungsbereiche - Gipse im engeren Vorflutbereich - linienhaften Verlauf. Der Vierbach mit seinem Einzugsgebiet begann seinem heutigen Weg zu folgen. Auch die Talentwicklung der Wehre südlich des Meißners fing an, sich in der tektonisch durch die Verlängerung des Netragrabens vorgezeichneten Schwächezone einzutiefen und ihrem heutigen Verlauf zu folgen. Ebenso schnitt sich der Oberrieder Bach weiter ein und schuf durch die Erniedrigung der Erosionsbasis die Voraussetzung für die Bildung der großräumigen Auslaugungsbereiche um Dudenrode, Hilgershausen und Vollung.

Insgesamt läßt sich sagen, daß die Reliefentwicklung in dieser Zeit - die Salzauslaugung war abgeschlossen - folgendermaßen gekennzeichnet ist:

- einerseits durch weiteren tropoiden, verwitterungsintensiven flächenhaften Abtrag (STABLEIN 1986:60) innerhalb der durch die Struktur vorgegebenen Areale,
- andererseits durch die deutlich über dem heutigen Niveau liegende Entwässerung, die Voraussetzung für die Umwandlung des A 1 und die nachfolgende Gipslösung war.

Hierzu lieferte der Hohe Meißner erstmalig kontinuierlich Wasser aus den überlaufenden, mit Basalt gefüllten Tertiärmulden, das in seinem Abtragungsverhalten reliefwirksam wurde. So ist schon zur Zeit der Fußflächenbildung und der Anlage der großräumigen Auslaugungsbereiche mit einer Unterschneidung des östlichen Meißnerhanges zu rechnen. Die von Fußflächenbildungen überformte Bergfußzone (Oberfahung durch Fanglomeratdecken) vor dem Steilanstieg des Meißners wurde in dieser Reliefgeneration durch Auslaugung umgeformt und, bedingt durch die Erniedrigung der Vorflut, in den

folgenden Reliefentwicklungsstadien zerstört. Der von STABLEIN (1986:60) aufgezeigten denudativen Tieferlegung des Reliefs im östlichen Meißnervorland um einen Betrag von 450 m zwischen Mio- und Pliozän, für die er einerseits die Abtragungsbedingungen des Tertiärs verantwortlich macht, andererseits den Effekt einer weiträumigen, mehrere Kilometer umfassenden Salzauslaugung, muß somit widersprochen werden (vgl. 5.1).

Der Betrag der Tieferlegung des östlichen Meißnervorlandes um 450 m wird in der bestehenden Literatur unterschiedlich bewertet. Ausgehend von STABLEIN & MÜLLER (1986:308), die den Meißnerosthang als Salzhang sehen, der seit dem Tertiär keine Weiterbildung mehr erfahren hat, beschreibt STABLEIN (1986:60 ff) den eben widerlegten geomorphodynamischen Ansatz. Zu diesen unterschiedlichen Auffassungen kommen die Ausführungen POSERS (1933, zit. nach GARLEFF 1986:6), der den Basalt als Härtling sieht, der nach postbasaltischer Absenkung in Reliefumkehr herauspräpariert wurde, sowie die Ansicht GARLEFFs (1986:6), daß der Meißner postbasaltisch pultschollenartig herausgehoben sei, was zur Versteilung der östlichen Meißnerabdachung führte. Diese unterschiedlichen Deutungen auf geomorphologischer Seite sind zu vergleichen mit den widersprüchlichen Ausführungen von HENTSCHEL (1978:208), der für die alleinige Wirkung der abtragenden Kräfte votiert, und von RITZKOWSKI (1978:200), der den Meißner ebenso wie GARLEFF (1985, 1986) und FINKENWIRTH (1978) durch eine mächtige postbasaltische Tektogenese in seine heutige Lage gebracht sieht. Zumindest letztere Auffassung, und das bestätigen die Geländeergebnisse von MÜLLER (1982) sowie BALDSZUHNSTRAKA et al. (1985), insbesondere auch KERSTEN (1986) und HARLING (1986), läßt sich vor Ort nicht nachvollziehen. Abtragung und Auslaugung sind hier meiner Ansicht nach gemeinsam seit der saxonischen Gebirgsbildung für die Obersteilung des östlichen Meißnerhanges und den hohen Reliefunterschied verantwortlich.

In der Phase der pleistozänen Reliefentwicklung kommt es nach der Klimaänderung auch zur Änderung der Abtragungsbedingungen - von der tropischen Tiefenverwitterung zu mehr linienhaftem Abtrag - so daß die Ein-



schneidung der Gewässer, auf den Vorfluter Werra ausgerichtet, stattfinden konnte. Zeugen dieser Eintiefung sind die überlieferten Terrassenreste, aber auch Hangleisten in vorfluttributären Tälern, die Anschluß an die jeweiligen Haupttalterrassen finden. Als Beispiel seien die konvergierenden Geländekanten im Beckingsgraben, unterhalb der Kreismülldeponie Weidenhausen, genannt (Abb. 52). Reliefelemente dieser Art lassen sich, was den Mittelterrassenbereich angeht, auch im Mittleren Berkatal zwischen Forsthaus Schmelzhütte und Frankershausen belegen. Sie zeigen den Einfluß der Taleintiefung zwischen den letzten beiden Glazialen. Durch die Tieferlegung der Vorflut der Werra senkte sich das Grundwasserniveau im östlichen Meißnervorland. Bereiche, die zuvor an den Grundwasserhorizont mit oberflächenhaftem Abfluß abgeschlossen waren, fielen trocken, wie z.B. das Trockental südlich Wolfterode, das heute nur noch episodisch Wasser führt. Großräumige Auslaugungsbereiche wurden durch den linienhaften Abtrag zerschnitten, wie z.B. das vor der Grube Gustav im Kupferbachtal gelegene Areal. Es kam zur Herausarbeitung der Keulentäler, die sowohl am Osthang des Meißners als auch am Westhang, z.B. westlich Bransrode, auftreten und durch auslaugende Prozesse vorbereitet waren. In dieser Phase der Taleintiefung mit der Folge kräftiger rückschreitender Erosion bekam die Auslaugung im Untergrund zusätzliche Bedeutung. Mit ihrer Hilfe kam es zur Rutschung der Basaltscholle am Frau-Holle-Teich, aber auch zur Rutschung im Laudenbacher Hohl. Beide Bereiche sind mit periglazialen Schuttdecken überzogen, wobei als Besonderheit der Frau-Holle-Teich in der letzten Kaltzeit durch Nivation überprägt wurde (MÖLLER 1982:37 ff). Die Verteilung des östlichen Meißnerabfalls wird einerseits durch das Unterschneiden des Basaltes durch die Oberlaufquellen der Tertiärmulden beeinflusst, andererseits wirkt die von Osten um sich greifende Subrosion weiter hangversteilend - im Tal der Teufelslöcher, dem oberen Abschnitt des Hollenbaches, lassen sich Bodensenkungen bis in eine Höhe von 470 m NN beobachten -, so daß Teile der Basaltdecke vom Plateaurand abbrechen und auf dem Tertiär bzw. auf dem Röt zu Tal rutschen, was sich an den mächtigen Hangschuttwülsten um die Teufelslö-

cher (z.T. mehrere 10er Meter mächtig) zeigen läßt.

Die Taleintiefung nimmt im Pleistozän zu. Oberrieder Bach, Dohlsbach und Berka schneiden sich tiefer in den Grauwackensattel, Vierbach und Wehre tiefen sich entlang hercynischer Störungsrichtungen in die Buntsandsteinschichten ein. Auffällig ist die Zerrüttung des Rohenbergs, des Wernersbergs und des Kombergs nördlich des Vierbachs. Sie sind infolge der Auslaugung des Zechsteinsalinars abgesunken. Der Salzhang liegt in diesem Geländeabschnitt auf der Linie Zungenkopf - Dachsberg - Finkenberg - Höllenrück und zieht am östlichen Meißnerhang über den Roggenberg in Richtung der Schichtstufe des Kaufunger Waldes. Kurze, steile Talschlüsse und salzhangparallele Bodensenkungen sowie großräumige Auslaugungsbereiche kennzeichnen den Fuß des Steilanstiegs. Lössanwehungen verkleiden im östlichen Meißnervorland einen Teil des Kleinformenschatzes und werden in die Folgen der Auslaugungsprozesse miteinbezogen. Mit dem Übergang ins Holozän werden die Prozesse abgeschlossen, welche die groben Konturen des Reliefs herausgebildet haben.

Abschließend erweist sich die holozäne Reliefentwicklung als landschaftsprägend. In günstiger Lage, in von Subrosion beeinflussten Senkungsbereichen, bilden sich Moore (Frau Holle Teich, Altarstein, Seesteine, Laudenbacher Hohl). Rezente Erdfälle führen im Taltrichter westlich Vockerode zu einer weiteren Tieferlegung des Talbodens durch Subrosion. Aktuelle Erdfälle beeinflussen die landwirtschaftliche Nutzung. In den Tiefenlinien der Täler findet linienhafte Erosion im Gefolge von Starkregen statt. Schwemmfächerbildung greift in die Niederterrasse ein. Aufgrund unterirdischer Lösungsprozesse, die sowohl durch die CO<sub>2</sub>-haltigen Wässer aus dem Meißnerbereich beeinflusst werden, aber auch durch künstliche Einflüsse, wie Laufverlegung eines Gewässers oder Erschütterungen durch Bahn- und Straßenverkehr, kommt es zur Bildung ein-sturzgefährdeter Zonen.

Zusammenfassend lassen sich die Reliefgenerationen in der besprochenen Einheit wie folgt darstellen:

(1) Die oligozäne Reliefentwicklung schafft im Bereich des Meißners die Muldenstrukturen, die wahrscheinlich mit der Zechsteinsalzauslaugung zusammenhängen. In ihnen setzt die Moorbildung ein. Die Schichtstufen sind gegen den Unterwerra-Sattel ausgebildet. Das Vorland ist wenig zertalt. Die obersten Bereiche des Roßkopfes liegen frei. Die Ur-Werra pendelt nordöstlich oder südwestlich des Roßkopfmassivs. Die Salzauslaugung erreicht ihr Maximum.

(2) Kennzeichen der miozänen Reliefgeneration ist der Basaltvulkanismus. Er trifft auf eine Reliefkonfiguration, die durch die moorgefüllten Meißnermulden, den östlich anschließenden Salzhang und das infolge Auslaugung und Abtragung schon erniedrigte östliche Meißnervorland gekennzeichnet ist. Die Ur-Werra fließt nunmehr eindeutig auf der östlichen Sattelflanke.

(3) Die pliozäne Reliefgeneration ist durch differenzierte Abtragung zwischen zerrüttetem und intaktem Schichtverband gekennzeichnet. Fußflächenbildung, Fangertransport und Hangversteilung findet im östlichen Meißnervorland statt. Großräumige Auslaugungsbereiche greifen in die Fußflächenbildung zerstörend ein, wobei sie von den gegenüber heute deutlich höher liegenden Vorflutverhältnissen in ihrer Bildung unterstützt werden. Die Werra fließt

gut 100 m über der heutigen Talsohle an der östlichen Sattelflanke.

(4) Die pleistozäne Reliefgeneration zeigt eine Änderung von der flächenhaften zur linienhaften Abtragung. Die deutliche Absenkung der Erosionsbasis im Pleistozän schottert 3 Terrassenkörper auf. Es sind dies die Hauptterrasse in 40 bis 80 m, die Mittelterrasse in 18 bis 40 m und die Niederterrasse in ca. 2 m relativer Höhe. Auf diese alten Talböden sind Hangleisten und Talböden der Nebentäler ausgerichtet. Die Bildung der Hangschuttdecken findet in den periglazialen Phasen auf allen Gesteinen statt. Die Subrosion ist nur in den Inter-glazialen reliefwirksam.

(5) Die holozäne Formung überprägt erneut den vorgefundenen Formenschatz. Den Wirkungen der Gipsauslaugung kommt mit der Anlage von vielen Erdfällen und Bodensenkungen in den Hangendschichten als Folge der weiteren Auslaugung des Zechsteins eine erhöhte reliefbildende Bedeutung zu. Neben ausgeprägten Trockentalsystemen ist die Entwicklung und Weiterbildung des karsthydrologischen Systems mit Ausrichtung auf die rezenten Vorflutverhältnisse zu verzeichnen. Die Auslaugungsfront erreicht, bezogen auf den Zechsteingips (A 1), auf der Linie Reichensachsen - Kammerbach - Oberrieder Bach, nördlich Hilgershausen, einen Bereich

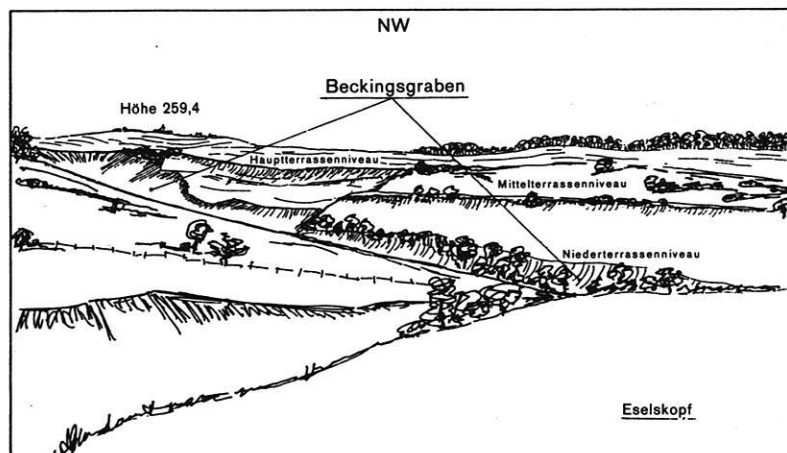


Abb. 52: Geländekanten im Beckingsgraben, die mit Werratalterrassen in Zusammenhang stehen.

Der Beckingsgraben mündet nördlich Strahlshausen in das Werratal. Grabenaufwärts lassen sich Geländekanten beobachten, die mit den Talterrassen der Werra in Zusammenhang zu bringen sind. Interessant für die Entwicklung der Geländeoberfläche ist, daß die Terrassenniveaus gegen das Grabenende konvergieren. Das zeigt die Abhängigkeit der Talentwicklung von der Entwicklung der Vorflut sowie den Ausgleich des Erosionspotentials über die Weglänge in Abhängigkeit vom Gestein.

großer Gipsmächtigkeit. Parallel dazu sind in den höheren Stockwerken, im Röt und im Muschelkalk, Auslaugung und ihre Folgeerscheinungen an der Erdoberfläche zu beobachten.

### 5.1.3 Der Südosten des Unterwerra-Sattels bis zu den umrahmenden Muschelkalk-Schichtstufen

Zweck dieses Abschnittes ist die Zusammenfassung der Reliefentwicklung, die aus der Betrachtung des Eschweger Beckens (4.7), des Werratales zwischen Frieda und Heldra (4.5.3), der umrahmenden Schichtstufe des Buntsandsteins (4.11.1) insbesondere des Schlierbachwaldes (4.8) und der Muschelkalkschichtstufe zwischen Graburg und Trimberg (4.9) und ihres Abfalls zum Nettratal (4.10) abgeleitet wird (Abb. 21, Beil. 2).

Die Verteilung von Auslaugungsformen (vgl. Beilage 1) ist in diesem Gebietsabschnitt von den unterschiedlich resistenten Gesteinsserien abhängig, die zudem noch in unterschiedlicher Position zur Vorflut stehen. Orographisch rechts der Werra ist die Schichtabfolge vom Grundgebirge bis zum Muschelkalk auf wenige Kilometer zusammengedrängt. Demzufolge nehmen die einzelnen Schichten geringen Raum ein und unterliegen besonders in der Umgebung des Fürstensteins (4.7.1) extremer Gipsauslaugung, während die Salzauslaugung schon beendet ist. Der Salzhang müßte, etwa dem Nachweis von STEINMÖLLER (1965:94) entsprechend, unter dem Anstieg zum Unteren Muschelkalk liegen. Belegt ist, daß die Salzauslaugung unter dem Hahnkroth schon abgeschlossen ist. Ferner gelten die Hasselkuppe und die Kleine Hasselkuppe nach RÜSING (frdl. mdl. Mitt.) ebenso wie der Ferneberg als inverse Erdfälle. Darüber hinaus treten Auslaugungsformen im Chiroteriensandstein sowie im Röt auf. Sie gehen einerseits auf Kalkauswaschungen, andererseits auf bis zu 40 m mächtige Gipse (JACOBSSHAGEN et al. 1977: 14) im Röt zurück. Der Untere Muschelkalk ist durch wenige Dolinen in Stufenrandnähe (Einspüldolinen) gekennzeichnet. Nördlich des Untersuchungsgebietes schließt sich die Auslaugungssenke von Kella an. Sie wird von FINKENWIRTH (1970:216 f) ebenso wie die nördlich anschließenden Talkessel

(vgl. 5.1.4) auf Salzauslaugung zurückgeführt.

Chloridische Wässer, die diese Hypothese stützen, treten in der Kluftquelle südlich des Bahnhofs Schwebda aus. Hohe Sulfatgehalte zeigen der Wasserbehälter am Fürstenstein, die Wasserversorgung des Schlosses Wolfsbrunnen bei Schwebda sowie die Flachbrunnen bei Frieda. Die Oberflächengewässer sind, so sie das Röt durchfließen, durch hohe Sulfatwerte gekennzeichnet. Interessant und als Beleg für die Zerrüttung durch vorausgegangene Auslaugung verwendbar ist die Beobachtung, daß dieser Reliefabschnitt keinen kontinuierlichen Oberflächenabfluß mit Ursprung im Mittleren Buntsandstein oder tiefer hat. Ebenfalls unterstützend für die Auslaugungshypothese sind die kurzen, steilen Talschlüsse, die Trockentäler sind und z.T. mit Löß bedeckt wurden. Sie sind durch Hohlwege überformt. Hier zeigt sich in Wegeinschnitten häufig die zerrüttete Struktur des Deckgebirges des Unterwerra-Sattels. Geomorphologisch sind aufgrund von Schotterfunden die drei schon beschriebenen Terrassenniveaus auszuweisen (vgl. 2.2.1.4).

Die Werra-Aue ist ein großräumiger Auslaugungsbereich. Dies läßt sich sowohl in dem plötzlichen Auftreten der Talweitungen als auch am gehäuften Auftreten von Altarmen zeigen. Unterstützend für diese Argumentation sind die wechselnde Niederterrassenmächtigkeit sowie die sulfat- und chloridhaltigen Wässer der Brunnensysteme (THEURER 1983:27, 126 ff).

Die südlich anschließende Fußflächenregion auf der Westabdachung des Unterwerra-Sattels ist durch weniger steiles Einfallen der Deckschichten gekennzeichnet, so daß die herauspräparierten Resistenzunterschiede und ihre kilometerbreiten Vorlandflächen dem Relief gegenüber den zuvor beschriebenen Abschnitten ein deutlich anderes Aussehen geben. Es beginnt mit der Fußflächenregion in Akkordanz zum Unteren Buntsandstein. Sie ist durch Auslaugung des Zechsteins sowohl sulfatischer als auch chloridischer Fazies und durch Talssysteme (großräumige Auslaugungsbereiche) gegliedert und in ihrer Struktur gestört. Ergebnis dieser Zerrüttungsprozesse ist, daß der

nach MATTHES (1970:58) und RAMBOW (1977: 298) sonst nicht zur Wassergewinnung genutzte Untere Buntsandstein wasserhöfFIG wird (FINKENWIRTH 1970:214). Neben die vielfältigen Auslaugungsformen treten die Basalte an der Blauen- und an der Kleinen Kuppe, die beide als steckengebliebene Basaltpfropfen in durch Auslaugung verursachten Einbruchsschlöten gedeutet werden. Im Salinar wird darüber hinaus der Kontakt zwischen Basalt und Grundwasser zu erhöhter Auslaugung geführt haben (vgl. 2.2.2.7).

Der Anstieg zum Mittleren Buntsandstein wird von FINKENWIRTH (1970:220) als Grenze der primären Salzverbreitung des Na 1 gedeutet. Im Vergleich mit anderen Auslaugungsgebieten scheint diese Schichtstufe die Grenze der heutigen Salzverbreitung aufzuzeigen, wohingegen der Salzhang analog zu den Ergebnissen von STEINMÖLLER (1965), aber auch zu den Betrachtungen an der Gohbert, im Anstieg zur Schichtstufe der Graburg zu sehen ist. Begründen läßt sich dies mit den Zertalungsformen des Schlierbachswaldes, aus denen geschlossen werden kann, daß die Auslaugung im tieferen Untergrund durch die Werra-Schleife begünstigt worden ist. Auch weisen, abgesehen von den zentralen Entwässerungsbahnen, viele Trockentäler auf den zerrütteten Untergrund hin, der hier durch geringere Mächtigkeit des Buntsandsteins (vgl. 2.1.1) gekennzeichnet ist. Zudem greifen von Osten großräumige Auslaugungsbereiche in den Untergrund des Schlierbachswaldes über. Vergleichbar dem Schlierbachswald ist der Anstieg zum Mittleren Buntsandstein östlich Wanfried zu sehen. Hier befinden sich am oberen Talhang die kurzen, steilen, wannenförmigen Talschlüsse - Trockentäler -, die in den Buntsandstein greifen und die großräumigen Auslaugungsbereiche in der Werraue zwischen Heldra und Frieda begrenzen (vgl. Beil. 1).

Ober dem Buntsandstein östlich der Werra setzt oberhalb der schmalen, z.T. eng zertalten Landterrasse die Schichtstufe des Unteren Muschelkalkes ein. Sie ist durch eine Vielzahl von Rutschungen gekennzeichnet (z.B. Plesse). Unter ihrem Anstieg wird in Analogie zu STEINMÖLLER (1965), KUNZ (1962) und FINKENWIRTH (1970) der Salzhang angenommen, der zusätzlich durch Gipsauslaugung geprägt ist. Die Verteilung dieser

Geländeabschnitte ist auf den Richtungswechsel der Werra, die hier nach Nordnordwest abbiegt, zurückzuführen. Absenkungen haben in der Aue bei Altenburschla eine 40 m mächtige Niederterrassensedimentation ermöglicht (GRABNER 1970:99).

Ausgeprägt ist der Übergang zum Muschelkalk vor der Graburg bzw. vor dem Schieferstein. Das Röt bildet hier eine Fußflächenregion, die durch eine Vielzahl von Auslaugungssenken gegliedert ist. Ursache hierfür sind die Rötgipse, mit denen die hohen Sulfatgehalte der Oberflächenwässer in Verbindung zu bringen sind. Die Talungen um Weißenborn und Rambach (kurze, steile, wannenförmige Talschlüsse) sind großräumige Auslaugungsbereiche, die sich im Salzhang gebildet haben.

Das Salz, hier nach RICHTER-BERNBURG (1955: 883) mit mehr als 200 m Mächtigkeit vertreten, bildet unter den zuletzt beschriebenen Reliefelementen den Salzhang. An der Mäuselmühle nördlich Rambach sind 117 m Na 1, in der Bohrung Großer Kurfürst II östlich Weißenborn 6 m Na 3 nachgewiesen, ohne daß man das Na 1 erreicht hätte. Es darf also, unabhängig von der Darstellung der primären Salzverbreitung in FINKENWIRTH (1970), der Anstieg der Salzmächtigkeit unter der Schichtstufe des Unteren Muschelkalkes erwartet werden. Da die Auslaugung hier auch von Osten, im Gefolge der Werra-Schlingen, in das Relief eingegriffen hat, ist nicht auszuschließen, daß die noch nicht ausgelagten Salzvorkommen ein noch weit differenzierteres Aussehen haben.

Der Abfall zum Netragraben ist hingegen durch keinerlei Auslaugungsstrukturen großräumiger Art gekennzeichnet. Lediglich im Taltiefsten finden sich flache Auslaugungssenken im Mittleren Keuper. Erst der Anstieg zum Ringgau zwischen Röhrda und Wichmannshausen ist wieder durch solche geomorphologischen Elemente gegliedert, die auf Auslaugung im tieferen Untergrund weisen. Ähnliche Elemente reichen kurz, steil und wannenförmig auch in den Hang des Heuberges im tektonisch stark gegliederten Talknoten von Netra und Sontra. In den geomorphologischen Feldarbeiten ließen sich keine eindeutigen Beobachtungen machen, die auf die Grabengenese schließen lassen. Anhand der

erarbeiteten Ergebnisse läßt sich jedoch vermuten, daß Salz bzw. Salzwanderung neben den tektonischen Einflüssen bei der Anlage dieser Grabenstruktur nicht auszuschließen ist.

Die Reliefentwicklung dieses Gebietes ist erheblich differenzierter als in den schon beschriebenen Arealen. Das hat seine Ursache im flachen, mit weniger als 2° abtauchenden Hangenden des Unterwerra-Sattels nach Südosten, so daß einerseits die Auslaugung in den abtauchenden Sattelschichten ansetzt, andererseits die geomorphodynamische Wirkung der Talentwicklung der Werra reliefbildend wirkt. Dabei gehe ich von der Vorstellung aus, daß die Ur-Werra auf ihrem allgemeinen Weg nach Nordwesten in das durch die tektonischen Strukturen vorgezeichnete Relief eindringt und aufgrund der geringen Abtragungsresistenz zerrütteter Gesteine ihren Weg in der Aufwölbungszone des Unterwerra-Sattels, bzw. an dessen Rand sucht. In dieser Position konnte sie sowohl auslaugend als auch abtragend wirksam werden. Die Werra hat sich im Zuge der Reliefentwicklung ihren Weg in diesem Gewölbe gesucht und ist hierbei durch die kreide- bis tertiärzeitlichen Abtragungsbedingungen unterstützt worden, die zur Herauspräparierung der Stufenlandschaft führten. Hierbei kommt der Auslaugung von Salz eine entscheidende Rolle zu. Nimmt man den Sattelaufstieg im Kreuzungspunkt des Werra- und Wehretales als Ausgangspunkt der Salzauslaugung, so entstehen, unter Zugrundelegung der heutigen Salzverbreitung, Distanzen von 9 km nach Süden, 10 und mehr km nach Westen sowie 2 - 3 km nach Osten, in denen während der Reliefentwicklung Salz ausgelaugt worden ist, was zu einem Nachsacken der Oberfläche führte. Hinzu kommt die klimageomorphologische Überprägung, die die Ausräumung des zerrütteten Materials, die Zertalung sowie die weitere Strukturierung des Reliefs begünstigt hat.

Datierbar ist der postsaxonische Basalt der Blauen Kuppe, der nach KORITNIG (1978:237) auf ca. 10 bis 12 Mio. Jahre vor heute eingeordnet wird. Geht man mit KORITNIG (1978:238) davon aus, daß die Blaue Kuppe und die Kleine Kuppe Reste eines alten Vulkans sind, zu dessen Zeit die Landoberfläche gut 200 m über dem heutigen Niveau lag, dann heißt das, daß der gesamte Schichtstufen-

komplex (Buntsandstein, Muschelkalk) zu dieser Zeit noch weiter beckenwärts gelegen hat (Abb. 53).

Nimmt man den Werralauf in dieser Zeit mit 160 m über seiner heutigen Aue an (GARLEFF 1985:51), so wird aus den Höhen des umliegenden Reliefs klar, daß die Werra im Eschweger Becken schon zu jener Zeit einen ähnlichen Verlauf wie heute gehabt haben muß. Sie wird dabei die Verflachungen im Mittleren Buntsandstein überflossen haben. Das miozäne Reliefentwicklungsstadium, in dem der Basaltaufstieg erfolgte, ist durch einen ähnlichen Flußverlauf wie heute geprägt: er befand sich nördlich der Blauen und der Kleinen Kuppe mit dem Zugang zum Aufwölbungsbereich des Unterwerra-Sattels. Parallel hierzu wirkten der tertiäre Abtragungsmechanismus und die Salzauslaugung.

In der folgenden pliozänen Reliefgeneration sind Fußflächenbildungen im genetischen Sinne nicht nachzuweisen. Das mag zwei Ursachen haben. Einerseits lag die Werra in einer Höhenlage von etwa 100 m (ELLENBERG 1968, zit. nach SEMMEL 1972:82) über der heutigen Aue, so daß die Ausbildung von Fußflächen wegen der Nähe zur Vorflut nicht stattfinden konnte, andererseits kann in einer durch Auslaugung gestörte Fußflächen-Generation die klimagenetische Überprägung des Pleistozäns zum Abtrag der Fußflächensedimente geführt haben.

Die pleistozäne Reliefgeneration ist gegenüber den vorigen Reliefstadien klarer zu gliedern. Drei Terrassenkörper treten auf (vgl. 2.2.1.4). Wehre und Sontra schneiden sich von Süden her in dem Maße in das triassische und permische Deckgebirge ein, wie die Werra ihre Lage an der Ostflanke des Sattels eintieft. Terrassenreste alter Wehreläufe sind linkswerrisch bei Eltmannshausen nachzuweisen. Sie sind durch Auslaugungssenken gestört, sind aber ein Indiz für das Talniveau zur Hauptterrassenzeit. Großräumige Auslaugungsbereiche sind im Mittelterrassenniveau in relativer Abfolge unterhalb der Asbachhöhe, zwischen Wanfried und Altenburschla sowie zwischen Eschwege und Reichensachsen in den höher gelegenen Talhängen nachzuweisen. Die Auslaugungsbereiche im Niederterrassenniveau leiten zur holozänen Reliefgeneration über, die durch die kartierten Auslau-

gungsphänomene und die dazugehörigen Wasserwerte (vgl. Beilage 2) ein Bild von der rezenten Subrosion ergibt.

Zusammenfassend lassen sich die Reliefentwicklungsphasen betrachten. Voraussetzung für die Reliefentwicklung dieses Gebietes ist, daß der Werraverlauf an die Nordostflanke der Wölbungszone rückt.

(1) Die Reliefgeneration des Oligozäns ist nicht zu belegen.

(2) Die Reliefgeneration des Miozäns wird indirekt auf die Basaltdatierung der Blauen Kuppe und die zu dieser Zeit herrschenden Reliefverhältnisse sowie auf die Datierung der Talentwicklung bezogen.

(3) Die Reliefgeneration des Pliozäns weist keine Fußflächen im genetischen Sinne auf. Im Vergleich zum östlichen Meißnervorland ist die Fußflächenregion als Breiterrasse (Hochboden) zu verstehen.

(4) Die pleistozäne Talentwicklung bringt in unterschiedlicher Höhe drei Terrassenkörper. Auslaugungsbereiche und ihre Ausprägung sind auf die unterschiedlichen Vorflutbedingungen eingestellt.

(5) Die Reliefgeneration des Holozäns wirkt überformend. Die rezente Auslaugung ist auf die Bereiche mit salinärer Fazies und ihre unmittelbaren Deckschichten beschränkt und spiegelt sich in den Gewässern wieder (vgl. Beil. 2).

#### 5.1.4 Der Osten des Unterwerra-Sattels bis zur Muschelkalkschichtstufe der Gobert

Von Ost nach West sind in diesem Kapitel die Talkessel der Gobert (4.1.2) und das Werratal zwischen Bad-Sooden-Allendorf und Albugen (4.5.2) samt seinen Hängen erfaßt.

Reliefbestimmendes Element dieses Gebietes ist die Aufwölbung des Unterwerra-Sattels, in deren Gefolge eine Schichtverstellung bis zu 30° nach Osten stattfindet. Bemerkenswert ist die starke Verstellung der Hangendenserien, die nur an der nordöstlichen Sattelflanke auftritt. Sie läßt auf einen Aufwölbungsmechanismus mit stark östlicher Komponente schließen, wobei nach kurzer Distanz von 5 - 6 km das Einfallen wieder bei 2 - 5° liegt. In der Folge ist die den Sattel an der östlichen Flanke begleitende Werra reliefwirksam. Sie hat im

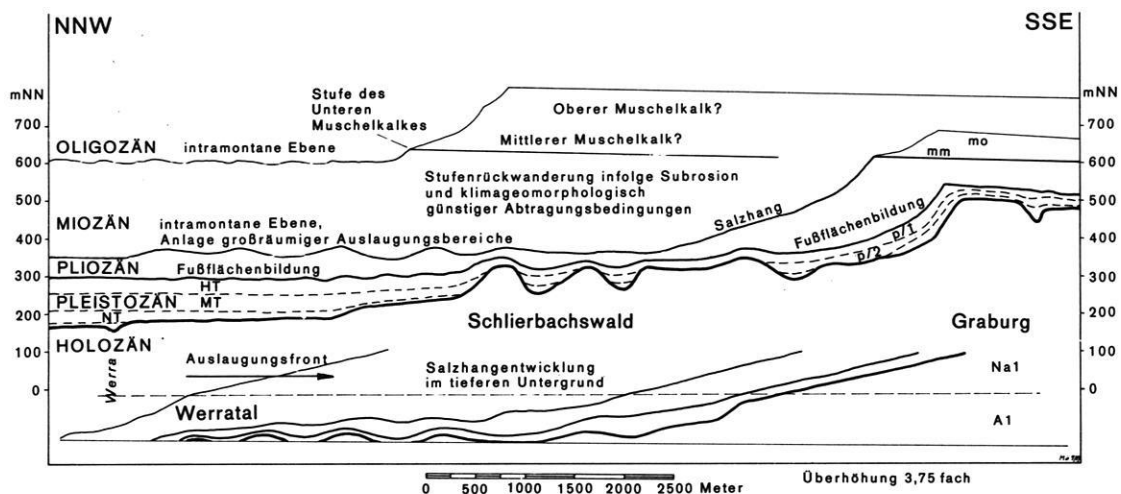


Abb. 53: Schematisches Profil zur Reliefentwicklung zwischen Eschwege und der Graburg.

Die verwendeten Abkürzungen sind in Abb. 49 erklärt.

Die Reliefentwicklung dieses Gebietsabschnittes unterscheidet sich von den Stadien der Reliefentwicklung in den Abb. 48, 49 und 50 dadurch, daß hier kein den Unterwerra-Sattel kreuzender Schnitt dargestellt ist, sondern ein Profil, welches mit ca. 25° von der Sattelachse nach Süden abweicht. Dementsprechend müssen die Beträge der Wanderung von Stufen, der Fußflächenentwicklung, der Anlage großräumiger Auslaugungsbereiche, aber auch der Salzhangentwicklung bedeutend größer sein, als das in den erwähnten Profilen der Fall ist. Zur besseren Anschauung ist die Salzhangentwicklung im tieferen Untergrund mit dargestellt.

Zuge ihrer Talentwicklung hohen Anteil an der Herauspräparierung der Stufen des Mittleren Buntsandsteins und des Unteren Muschelkalkes gehabt.

Postsaxonisch kommt es zur durch tropische Klimate gesteuerten, verwitterungsintensiven Abtrag, der unterstützt wird durch Auslaugung in den nach Osten einfallenden Hangendserien. Das aufbereitete Material wird durch eine Ur-Werra abgeführt. Letztere hat nachweisbar schon früh, seit der Wende Mio-/Pliozän, ihren Weg an der Ostflanke des Sattels genommen (Schotterfunde auf dem Hitzeroder Plateau). Umfangreiche Salzauslaugung hat zu den Beckenstrukturen nördlich Albugen, nördlich Kleinvach und um Bad Sooden-Allendorf geführt. Da die Auslaugung nach Osten fortschreitet, bleiben diese großräumigen Auslaugungsbereiche nach Westen offen (Abb. 54 und Beil. 1). In die Uranlage der Beckenbereiche, auf einem Werraniveau das 140 bis 160 m, mindestens aber 100 m über der heutigen Aue lag, ist auch die Uranlage der großräumigen Auslaugungsbereiche westlich der Gobert, der Talkessel von Ammicherode und Asbach, zu stellen. Sie sind meiner Ansicht nach die ältesten geomorphologisch noch in Entwicklung befindlichen Formen.

KIRBIS (1950:Karte 2) zeigt, daß die Talkessel an geringfügige Aufsattelungen senkrecht zum Streichen des Unterwerra-Sattels

gebunden sind. Ich deute diese Aufsattelungen als Ausgleichsbewegungen auf die großen tektonischen Beanspruchungen im Zuge der Hebung des Unterwerra-Sattels. Da in ihnen der Hangendverband in seiner Struktur zerstört ist, wird die folgende Auslaugung mit ihren Auswirkungen unterstützt. Somit können vom steilgestellten Deckgebirgsausstrich an der Ostflanke des Sattels und durch das Hangende Tageswässer den Untergrund angreifen. Im Zuge der Reliefentwicklung wird zuerst das Salz des Oberen Buntsandsteins ausgelaugt, was zur Folge hat, daß der Verband des hangenden Muschelkalks zerrüttet wird. Durch diesen Prozeß, der nicht flächenhaft, sondern ineinander verschränkt an Buchten und Vorsprüngen ansetzt, wurde der Einbruch der Talkessel in den weiter zerstörten Sattelstrukturen vorgezeichnet. Vom Mechanismus her wird der erste Einbruch über ausgelaugtem Röt stattgefunden haben, während die Muldenzonen zunächst noch über einen intakten Salzuntergrund verfügten. Parallel zu dieser relativ oberflächennahen Auslaugung fand im tiefergelegenen Zechstein, in größerer Sattelnähe, Subrosion von Salzen und Gipsen statt, die zu einer weiteren Aufbereitung des Hangenden führten. Mit der Wanderung des Salzhanes Richtung Gobert begannen sich die Talkessel deutlich schneller - gegenüber ihren Muldenzonen - einzutiefen. Es wird davon ausgegangen werden müssen, daß dieser Vorgang auf einem

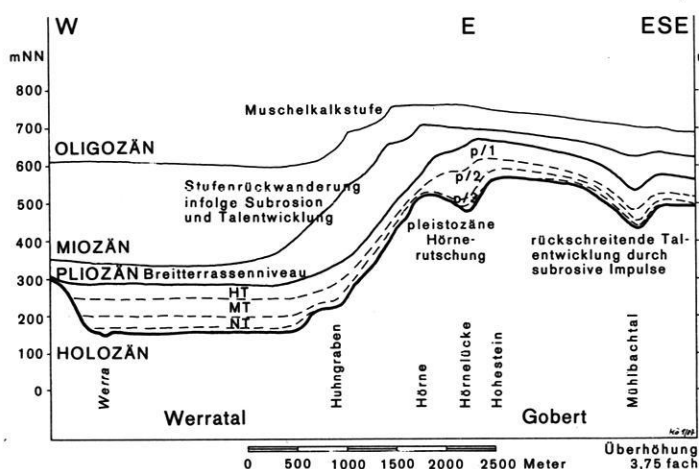


Abb. 54: Schematisches Profil zur Reliefentwicklung zwischen Werra und Gobert.

Die verwendeten Abkürzungen sind in Abb. 49 erklärt.

Zwischen Werratal und Gobert verläuft die Reliefentwicklung nach dem Modell aus Abb. 48. Ergänzt wird am Beispiel des oberen Mühlbachtals im Talschluß östlich Hitzerode die Anlage der Talkessel durch Subrosionsprozesse.

sehr viel höheren Vorflutniveau stattgefunden hat. Ich stelle die Uranlage der Talkessel daher, parallel zur schwerpunktmäßigen Salzauslaugung, in die Zeit des Oligozän/Miozän, als in den anderen Gebieten ebenfalls Phasen aktivster Salzauslaugung - begleitet durch Basaltvulkanismus - beobachtet wurden.

Im Zuge der Reliefentwicklung fand durch Abtragung an der Nordostflanke des Unterrerra-Sattels eine Bloßlegung der unmittelbaren permischen Auflage statt. Einige Zechsteinklippen (Hauptdolomit) blieben südlich der Talweitung von Bad Sooden-Allendorf stehen. Am heutigen rechten Werratalhang läßt sich demzufolge vom austreichenden Zechstein (Andreaskapelle) über den Buntsandstein (Schloß Rothestein) bis zum Unteren Muschelkalk (Hörne) die Stratigraphie des Untersuchungsgebietes mit dem der geomorphologischen Wertigkeit entsprechenden Formenschatz auffinden.

Das Reliefentwicklungsstadium des Pliozäns läßt sich an den Breiterrassen der Werra, gut 100 m über der heutigen Talau, nachweisen. Die Werra verlief östlich von Bad Sooden über den Sickenberg und wird mit einem Seitenarm durch den Sattel des Ahrenbergs geflossen sein. Letzterer ist infolge Auslaugung (KOLTZE 1975) in seine verkippte Lage an den Nordrand des großräumigen Auslaugungsbereichs von Bad Sooden-Allendorf gelangt. Ein ebenso zu deutender Auslieger ist der Höhenzug des Buntsandsteins am Hirschenberg in der südlichen Umrahmung des Bad Sooden-Allendorfer Beckens. Er ist ebenfalls Relikt der pliozänen Breiterrassengeneration. Der weiter südlich liegende Witzgenstein - der Bergriegel östlich der Andreaskapelle (R 356890-6920/H 567845-80) - zeigt ein mehr dem Stadium der Hauptterrasse zugehöriges Niveau. Die Einsattelung im Übergang zum Unteren Buntsandstein ist durch Anhydritsubrosion verursacht. Unterstützt wird diese Beobachtung dadurch, daß auf der Sattelfläche keinerlei Schotter gefunden wurden.

Die Entwicklung der Vorflut beeinflußt darüber hinaus schon im Breiterrassenniveau die weitere Genese der Talkessel am Rand der Gobert, wobei die Auslaugung ebenfalls Anteil an der weiteren Herauspräparierung der Talkessel sowie ihrer Versteilung gehabt hat.

Die Reliefentwicklung des Pleistozän hinterläßt einen vielfältigen Formenschatz:

- die Hauptterrassenschotter auf der Sommerliede westlich Albungen in 80 m relativer Höhe,
- die Mittelterrassenreste in der Alten Ziegelei bei Albungen in 30 m relativer Höhe (BROSCHKE 1986:Tab. 1a) und
- die Niederterrassenschotter, die sich heute in Auskiesung befinden.

Abgesehen von den datierbaren Terrassen ist für die Reliefentwicklung die Reaktion des benachbarten Reliefs auf die Einschneidung der Werra von Interesse. So ist zum Beispiel im Hauptterrassenniveau südöstlich Kleinvach eine Verknüpfung von radial auf ein Zentrum zulaufenden Tiefenlinien festzustellen, die den Rand eines ehemaligen großräumigen Auslaugungsbereiches nachzeichnen. Dem gleichen Niveau wird die Bodensenkung bei R 357000/H567850, westlich der Dünau, zugeordnet. Beide Formenkomplexe wurden aufgrund der geomorphographischen Ausprägung als Auslaugungsformen eingestuft.

Im nächstniedereren, dem Mittelterrassenniveau, lassen sich am Talhang westlich Rothestein wieder radial verlaufende, auf ein Auslaugungszentrum hinweisende Tiefenlinien aufzeigen, die von RÜSING (mdl. Mitt.) als Auslaugungssegmente bezeichnet werden. Ihre Talausgänge hängen im Mittelterrassenniveau der Werra. Sie sind Anzeichen für die auch zur Zeit der Mittelterrasse nach Osten greifende Auslaugung und die daran geknüpfte Geomorphodynamik. Im Vergleich zu anderen Prallhängen, deren mehr oder weniger steiles Unterschneidungsufer von glattem Habitus ist, fallen diese Strukturen besonders auf (Abb. 55).

Die Niederterrassenzeit ist durch regionale Absenkungen mit der Folge unterschiedlicher Schottermächtigkeit gekennzeichnet, wie für die großräumigen Auslaugungsbereiche bei Altenburschla, bei Eschwege und bei Bad Sooden-Allendorf gezeigt wurde.

Anknüpfend an die Talentwicklungsstadien der Werra lassen sich Hangleisten in den begleitenden Talkesseln der Gobert verfolgen. Sie zeigen die unterschiedlichen Ab-



tragungsniveaus auf und konvergieren mit den Kesselzentren. Hieraus schließe ich, daß die Kesselentwicklung im Pliozän abgeschlossen war und seitdem nur noch eine Oberprägung dieser Formen stattfindet. Hierbei hält der randliche Eintrag durch die Muschelkalkrutschungen, ausgelöst durch in Auslaugung befindliches Röt, Schritt mit der vorflutgesteuerten Abtragung, so daß die Kessel durch Materialaustrag bestehen bleiben, bzw. noch weiter vertieft werden. Das Erosionspotential wird an dem auf kurzer Distanz zu überwindenden Höhenunterschied deutlich, der heute ein Gefälle von 5% bedingt. Die Kesselgenese wird, im Widerspruch zu KIRBIS (1950:13 f), schematisch auf 7 Schritte reduziert, die den einzelnen Reliefentwicklungsstadien zuzuordnen sind:

- (1) Kesselbildung durch Salzauslaugung in den Aufwölbungszonen im Miozän,
- (2) Ende der "schnellen Salzauslaugung", Gipslösung aufgrund hoher Deckgebirgsmächtigkeit wenig reliefwirksam, Auftreten von Erdfällen in Störungszonen,
- (3) partielle Verfüllung der Auslaugungstrichter durch Rutschmassen des Unteren Muschelkalkes (Pliozän),
- (4) mögliche Versumpfung der Kesselböden mit Oberlauf gegen die Werra (Pliozän),
- (5) Taleintiefung der Werra die Nebenbäche mitzieht, sowie die Tiefenerosion, die Trockenlegung der Talkessel hervorruft (Pleistozän),
- (6) erneute Muschelkalk-, im Kesseltiefsten aber auch Buntsandstein-Schuttmassen, die die Talhänge und die Talböden der Kessel überformen und aus letzteren abgetragen werden (Pleistozän),
- (7) aufgrund des hohen Gefälles weitere Einschneidung der Nebentäler auf die Werra zu (Holozän), die vom Mittelalter ab durch Hohlwegbildung mit nachfolgender Bachverlegung (z.B. Hainbach) unterstützt wird.

Über die vorgestellten Reliefentwicklungsschritte hinaus findet im Holozän die Bildung von Auslaugungssenken im Chiroterien-sandstein auf den Höhen östlich Bad Sooden-Allendorf sowie die Bildung von Dolinen und Auslaugungssenken im Ausstrich des Röt

statt, besonders ausgeprägt westlich Sickenberg. Letztgenannter Lösungsprozeß ist auch verantwortlich für das Auslösen der Muschelkalkrutschungen, wie z.B. an der Plesse oder an der Hörne.

Die untersuchten Gewässer zeigen, abgesehen von Tiefenwässern bei Bad Sooden-Allendorf, keinen nennenswerten Chloridanteil. Es dominiert der Sulfatanteil, der in Einklang mit der rezente Geomorphodynamik, die durch Rötgipsauslaugung ausgelöst ist, zu erwarten ist. Die Karbonatlösung liegt in diesem vom Muschelkalk beherrschten Abschnitt nicht höher als in anderen durch  $\text{CaCO}_3$ -Gesteine geprägten Arealen.

Ausgehend von der saxonischen Aufwölbung des Unterwerra-Sattels mit einer starken östlichen Druckkomponente kommt es zur Verteilung der Deckschichten mit östlichem Einfallen des Deckgebirges. Dies ist die Ausgangssituation der Reliefentwicklung, die in folgenden Punkten weiter zusammengefaßt ist.

(1) Die nach Osten greifende Salzauslaugung wird unterstützt durch die Zerrüttung, die infolge der senkrecht auf der Sattelachse stehenden Aufwölbungen der Gobert und durch die Auslaugung des Röt-salzes verursacht wird. Die Kesselbildung beginnt schon im Oligozän in den Aufwölbungszonen.

(2) Im Miozän ist die Kesselbildung mit Abschluß der Salzauslaugung weitgehend beendet.

(3) Die Talentwicklung und die Kesselüberprägung hat sich im Pliozän auf das Niveau der Breiterrasse eingestellt.

(4) Die pleistozäne Taleintiefung ist charakterisiert durch drei Abschnitte, die mit unterschiedlichen Auslaugungserscheinungen vergesellschaftet sind.

(5) Die holozäne Ausformung des Reliefs ist gekennzeichnet durch die Bildung von Auslaugungssenken im Mittleren und Oberen Buntsandstein sowie durch Erdfälle an Störungszonen und rutschungsfördernde Auslaugungen im Röt.



Abb. 55: Auslaugungssegmente südwestlich Schloß Rothestein.

Das Foto gibt einen Überblick über die in Abb. 34 dargestellte Geomorphographie zwischen Albugen und Schloß Rothestein. Gut zu erkennen sind die beschriebenen Hängetäler und ihr steiler, kurzer und wannenförmiger Charakter. Von RÖSING wird diese Abfolge von Relief-elementen als Auslaugungssegmente im Hangenden über einem großräumigen Auslaugungsbereich angesprochen.

## 6. Quellen

### 6.1 Literatur

- ABHARI, F. 1982: Geologie des Gebietes zwischen Waldkappel und Germerode (TK 4825 Waldkappel, Niederhessen). - 1-51, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- ACKERMANN, E. 1958: Die Sturzfließung am Schickeberg südlich Eschwege. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 87: 172-187, Wiesbaden.
- ACKERMANN, E. 1977: Zeitliche und räumliche Gliederung der Rutschfließungen an der Wellenkalk-Schichtfolge. - In: Exkursionsführer Geotagung '77, 1977: Exk. L. - 113-120, Göttingen.
- ALBIKER, B. 1973: Mechanik der Suffosion nicht bindigen Untergrun des. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T2, B: 1-9, Essen.
- ALBRECHT, K. & HEITFELD, K.-H. 1973: Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeit von Fernerkundungsmethoden bei der Lokalisierung von Karstwasseraustritten und Hohlräumen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T3, M: 1-5, Essen.
- AMEELY, K., HOLTZ, S. & PRINZ, H. 1973: Seismische Messungen an Korrosionssenken im Mittleren Buntsandstein über tiefem Salinarkarst (Osthessen, BRD). - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T3, F: 1-10, Essen.
- AMIRI, G. 1976: Geologie des Südostrandes des Unterwerra-Sattels bei Eschwege. - 1-53, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- AMTHAUER, H. 1972: Untersuchungen zur Talgeschichte der Oberweser.- Göttinger geogr. Abh., 59: 1-99, Göttingen.
- ANDERLE, H.J. 1981: Tektonik. - In: Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Bl. 4723 Oberkaufungen: 104-118, Wiesbaden.
- APPEL, D. 1981: Zwischenergebnisse zu Themen Quartär, Tertiär und Grundwasser. Berechnungen von Salzaufstiegs- und Subrosionsraten am Salzstock Gorleben mit Hilfe geologischer Schnitte. - Entsorgung: 253-259, (Bericht von einer Informationsveranstaltung im Rahmen des Energiedialogs der Bundesregierung).
- AUBERT, I. 1966: Structure, Activite et Evolution d' Doline. - Bull. Soc. Neuchat. Sei.Taur., 89: 113-120, Neuchatel.
- BACKHAUS, E., GRAMANN, F., KAEVER, M., LEPPER, J., LOHMANN, H.H., MEIBURG, P., PREUSS, H., RAMBOW, D. & RITZKOWSKI, S. 1980: Erl. geol. Kte. des Reinhardswaldes 1:50 000. - Hess. L. -Amt Bodenforsch.: 1-32, Wiesbaden.
- BAR, W.-F., FUCHS, F. & NAGEL, G. 1986: Leuc/Sierra Norte (Mallorca) - Karst einer mediterranen Insel mit alpidischer Struktur. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.- Bd., 59: 27-48, Berlin, Stuttgart.
- BARTELS, G. & MEYER, B. 1972: Spät- und postglaziale Erosion und Akkumulation im Lutertal bei Göttingen. - Göttinger bodenkdl. Ber., 21: 159-188, Göttingen.
- BASKAN, M.E. 1969: Hydrogeologische Verhältnisse am Südostrand des Münsterschen Kreidebeckens und im Eggegebirge unter besonderer Berücksichtigung der Karsthydrologie. - Fortsch. Geol. Rheinl. Westfalen, 17: 537-576, Krefeld.
- BAUER, L. 1960: Zur vergleichenden Hydrographie Thüringen. - Ber. z. Dt. Landeskunde, 25,2: 256-271, Bad Godesberg.
- BAULE, H. & DRESEN, L. 1973: Methoden der Abgrenzung von Erdfallbereichen und der Lokalisierung unterirdischer Hohlräume. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, G3: 1-9, Essen.
- BAUMEISTER, R. & SCHROER, C. 1977: Zur Stratigraphie, Fazies und Paläogeographie des Tertiärs im Reinhardswald (Nordhessen). - Münster. Forsch. Geol. Paläont., 43: 143-169, Münster.
- BECKER, L. 1975: Das Vahlhäuser Senkungsfeld, eine mittelpleistozäne Subrosionssenke im Meinberger Graben (östliches Detmold). - Neues Jb. Geol. Pal. Abh. 150/3: 373-388, Stuttgart.
- BEHRMANN, W. 1919: Der Vorgang der Selbstverstärkung. - Z. Ges. f. Erdkde. Berlin, 3/4: 153-157, Berlin.
- BEHRMANN, W. 1930: Die diluvialen Bewegungen des mitteldeutschen Bodens. - P.M. Ergh., 209: 110-135, Gotha.
- BENDA, L., GAERTNER, H.R., HERMANN, R., LOTTIG, G., STREIF, H., VINKEN, R. & WUNDERLICH, H.G. 1976: Kanäozoische Sedimente in tektonischen Fallen und Subrosionssenken in Süd-Niedersachsen. - Z. dt. geol. Ges., 117: 713-726, Hannover.
- BENDER, F. 1911: Der Basalt des Stifts- und Kaufungerwaldes zwischen Werra und Fulda mit Einschluß der Hünenburg bei Eiterhagen. - Diss., Marburg.
- BERNHARD, H. 1973: Fossile Einbruchschlote im Muschelkalk Nordhessens. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T2, H: 1-5, Essen.

- BERNHARD, H., RAMBOW, D., RITZKOWSKI, S. & RÜSING, R. 1973: Die Subrosionsenke von Kassel-Waldau. - Nachr. Dt. Geol. Ges., 7:1-3, Hannover.
- BEYSCHLAG, F. 1886(a): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. - XXIII. Lieferung, Gradabteilung 55, No 39: Blatt Ermschwerd. - 1-17, Berlin.
- BEYSCHLAG, F. 1886(b): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. - XXIII. Lieferung, Gradabteilung 55, No 40: Blatt Witzenhausen. - 1-37, Berlin.
- BEYSCHLAG, F. 1886(c): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. - XXIII. Lieferung, Gradabteilung 55, No 45: Blatt Großalmerode. - 1-55, Berlin.
- BEYSCHLAG, F. 1886(d): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. - XXIII. Lieferung, Gradabteilung 55, No 46: Blatt Allendorf. - 1-66, Berlin.
- BEYSCHLAG, F. 1888: Ober Aufnahmen in Hessen. - Jb. kgl. preuß. geol. L.A. f. 1887: LXI-LXIV, Berlin.
- BEYSCHLAG, F. 1889: Bericht über die wissenschaftlichen Ergebnisse der Aufnahmen des Jahres 1898. - Jb. kgl. preuß. geol. L.A. f.19: LXXXVIII-XCIV, Berlin.
- BEYSCHLAG, F. 1922: Häuserbeschädigung durch Gipsauslaugung unter dem Dorfe Weißenbach. - 1-10, Wiesbaden (Gutachten, unveröff.).
- BINDER, H. (Hg.) 1961-1963: Bibliographie zur Karst- und Höhlenkunde in Deutschland für das Jahr 1960-1962. - Kleine Schriften zur Karst und Höhlenkunde, 2-4, München.
- BLANCKENHORN, M. 1933: Kritischer Oberblick über die Tertiärabla gerungen im nördlichen Hessen, ihr Alter, ihre Gliederung ihren Gegensatz zu denen Südhessens und ihre Abgrenzung nach S. - Abh. preuß. geol. L.A. f. 1932, 53: 263-303, Berlin.
- BLANCKENHORN, M. 1950: Das Tertiär Niederhessens. - Endergebnisse der geologischen Aufnahmen in Niederhessen von 1911-1946. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., (VI) 1: 7-82, Wiesbaden.
- BLUM, R., HORN, M. & KOSCHYK, K. 1984: Seismische Untersuchungen in der nördlichen Hessischen Senke. - Geol. Jb. Hessen, 112: 219-233, Wiesbaden.
- BÜGLI, A. 1963: Ein Beitrag zur Entstehung von Karsthöhlen. - Die Höhle, 14: 63-68, Wien.
- BÜGLI, A. 1964(a): Mischungskorrosion - ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. - Erdkde., 18: 83-92, Bonn.
- BÜGLI, A. 1964(b): The role of corrosion by mixed water in cave forming. - In: Problems of Speleological Research, Proc. Int. Speleol. Conf.: 125-131, Brno, CSSR.
- BÜGLI, A. 1978: Karsthydrographie und physische Speleologie. - 1-292, Berlin.
- BOIGK, H. 1956: Vorläufige Mitteilung über eine Neugliederung des Mittleren Buntsandsteins im Raume Südhannover. - Geol. Jb., 72: 325-340, Hannover.
- BORCHERT, H. 1940: Die Salzlagerstätten des deutschen Zechsteins. Ein Beitrag zur Entstehung ozeaner Ablagerungen. - Archiv für Lagerstättenforschung, Heft 67: 1-196, Berlin.
- BORM, G. 1973: Die Grenzen der Ortungsmöglichkeiten von unterirdischen Hohlräumen bei Anwendung geoelektrischer Gleichstromverfahren. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T3, J: 1-5, Essen.
- BORM, G. 1973: Auswertung von Schwerkraftmessungen zur Ortung oberflächennaher Hohlräume. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T3, I: 1-5, Essen.
- BOSSE, H. 1931: Tektonische Untersuchungen an niederhessischen Grabenzonen südlich des Unterwerra-sattels. - Abh. preuß. geol. Landesamt., N.F., 128: 1-37, Berlin.
- BOTTKE, H. 1970: Der Zusammenhang von Karsthohlformen mit der Lithofazies und dem tektonischen Flächengefüge der devonischen Dolomite in der Waldalgesheimer Mulde bei Bingen/Rhein (Rheinisches Schiefergebirge). - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 98: 173-186, Wiesbaden.
- BRANDT, K.H. 1974: Die Geologie der Unterwerra-Mulde zwischen Witzenhausen und Hedemünden (Trias Nordhessen). - 1-45, Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- BRANDT, A., KEMPE, S., SEEGER, M. & VLADI, F. 1976: Geochemie, Hydrographie und Morphogenese des Gipskarstgebietes von Düna/Südharz. - Geol. Jb., C 15: 3-55, Hannover.
- BREMER, H. 1959: Flußerosion an der oberen Weser. - Göttinger geogr. Abh., 22: 1-192, Göttingen.
- BRENDEL, K. 1976: Technogen beeinflusste natürliche Subrosionsenkungen in der Mansfelder Mulde. - Ztschr. f. Geol. Wiss., 4/8: 1115-1133, Berlin-Ost.
- BRENDEL, K. 1977: Die Bedeutung subrosionsbedingter Formänderungen der Geländeoberfläche für die Bausubstanz, Landeskultur und Territorialplanung in der Mansfelder Mulde. - Hallesches Jb. Geowiss., 1: 51-68, Halle-Wittenberg.
- BRINKMANN, R. 1932: Morphogenie und jüngste Tektonik im Leinetalgrabengebiet. - Abh. d. preuß. geol. L.A., N.F., 139: 101-135, Berlin.
- BRINKMANN, R. 1948: Die Mitteldeutsche Schwelle. - Geol. Rdsch., 1948/49, Bd. 36: 56-66, Stuttgart.
- BROSCHKE, K.-U. 1984: Zur jungpleistozänen und holozänen Entwicklung des Werratal zwischen Hannover-Münden und Philippstal (östl. Bad Hersfeld). - Eiszeitalter u. Gegenwart, 34: 105-129, Hannover.
- BROSCHKE, K.-U. 1986: Spät und postglaziale Formung im Werratal. - In: HAGEDORN, J. (Hg.) 1986: Exkursionsführer: 6-12, Göttingen.

- BROSIUS, M. 1957: Der Grabenknoten von Hessisch-Lichtenau und die Glimmeröder Tertiärmulde. - 1-179, Marburg (Diss. unveröff.).
- BROSIUS, M. & GRAMANN, F. 1959: Das ältere Tertiär von Großalmerode (Hessische Senke). - Z. Geol. Ges., 111: 543-558, Hannover
- BRUDER, J. 1977: Gipsauslagung im Schönbuchtal bei Herrenberg. - Jh. geol. Landesamt Bad.-Württ., 19: 7-16, Freiburg i.Br..
- BROHL, H. & THEURER, G. 1986: Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Werra und dem Grundwasser in der Talau im Bereich der Trinkwasserbrunnen bei Aue. - Berliner Geogr. Abh., 41: 41-51, Berlin.
- BRUNOTTE, E. 1978: Zur quartären Formung von Schichtkämmen und Fußflächen im Bereich des Markoldendorfer Beckens und seiner Umrahmung (Leine-Weser-Bergland). - Göttinger geogr. Abh., 72: 1-138, Göttingen.
- BRUNOTTE, E. & GARLEFF, K. 1979: Geomorphologische Gefügemuster des Niedersächsischen Berglandes in Abhängigkeit von Tektonik und Halokinese, Resistenzverhältnissen und Abflußsystemen. - In: HAGEDORN, J., HÖVERMANN, J. & NITZ, H.-J. (Hg) 1979: Gefügemuster der Erdoberfläche. - Festschr. 42. dt. Geographentag Göttingen 1979: 21-42, Göttingen.
- BRUNOTTE, E., GARLEFF, K. & JORDAN, H. 1985: Die geomorphologische Übersichtskarte 1:50 000 zu Blatt 4325 Nörten-Hardenberg der Geol.Karte von Niedersachsen 1:25 000. - Z. dt. geol. Ges., 136: 277-285, Hannover.
- BRUNOTTE, E. & SICKENBERG, D. 1977: Die mittel- und jungquartäre Entwicklung des Leine-Tales zwischen Northeim und Salzerhelden unter besonderer Berücksichtigung der Subrosion. - Geol. Jb., 144: 3-43, Hannover.
- BRUNOTTE, E., GARLEFF, K. & WAHLE, H. 1980: Neue morphologische und geomorphologische Karten aus dem südniedersächsischen Bergland. 6 Kartenproben im Maßstab 1:50 000 und 1:100 000. - N. Arch. f. Nds., 29/1: 85-96, Göttingen.
- BOCHNER, K.H. 1976: Baugrund. - In: Erl. geol. Kte. Niedersachsen 1:25 000, Blatt 4127 Seesen: 120-128, Hannover.
- BOCHNER, K.H. 1982: Baugrund. - In: Erl. geol. Kte. Niedersachsen 1:25 000, Blatt 3615 Osterkappeln: 81-86, Hannover.
- BOCKING, H. & FULDA, E. 1925<sup>2</sup>(a): Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen, Lief. 36, Blatt Vacha. - Berlin.
- BOCKING, H. & FULDA, E. 1925<sup>2</sup>(b): Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen, Lief. 8, Blatt Berka. - Berlin.
- BUCHSTEIN, H. 1984: Geologische Kartierung am Osthang des Wehretals zwischen Wichmannshausen und Reichensachsen (TK 25, Blatt 4825 Waldkappel). - 1-35, Berlin (Dipl.-Kart., unveröff.).
- BUSSE, E. 1964: Stratigraphie des Unteren Muschelkalks (Wellenkalk) im westlichen Meißnervorland. - Ver. Naturkde Kassel, Abh. 62:1-35, Kassel.
- BUSSE, E. 1970: Ceratiten und Ceratiten-Stratigraphie. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 98: 112-145, Wiesbaden.
- CARLE, W. 1979: Subrosionserscheinungen in Trias-Gipsen des nördlichen Baden-Württemberg. - Jh. Ges. Naturkunde Württemberg, 134: 34-57, Stuttgart.
- CHAUDHARI, S.M. 1963: Stratigraphische und tektonische Untersuchungen unter Berücksichtigung der Kluftektonik im Gebiet zwischen Witzenhausen und Eschwege/Hessen. - 1-148, Berlin (Diss., unveröff.).
- CHAWKI, N. 1975: Geologische Untersuchungen beiderseits des unteren Vierbach-Tals südwestlich von Eschwege (Bl. 4825) Waldkappel (Nordhessen). - 1-52, Berlin (Dipl.-Arb. unveröff.).
- CLAASEN, K. 1941: Die Flußterrassen des Werratales zwischen Bad Sooden-Allendorf und Hann.-Münden. - Arch. F. Landes- und Volkskde.v. Niedersachsen, 7: 2-125, Oldenburg.
- CLAASEN, K. 1944: Flußterrassen und Landschaft an der unteren Werra (zwischen Bad Sooden-Allendorf und Hannoversch-Münden). - Arch. F. Landes- und Volkskde. v. Niedersachsen, 20: 120-140, Oldenburg.
- CORNELIUS, C.D. 1954: Das Einsturzbeben im Werragebiet vom 22.2.1953. - Die Umschau in Wissenschaft und Technik, 1954: 48-54, Frankfurt.
- CRAMER, H. 1941: Die Systematik der Karstdolinen unter Berücksichtigung der Erdfälle, Erzschlotten und verwandter Erscheinungen. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont. Abt. B, 85: 283-382, Stuttgart.
- DABIRI, N. 1984: Geologische Untersuchung des Gebietes zwischen Germerode und Bischhausen, auf Blatt 4825, Waldkappel (Niederhessen). - 1-40, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- DECHEND, W. & MERKT, J. 1970: Der Erdfall von Diehausen. - Naturwiss. Ver., 33: 48-59, Osnabrück.
- DEUTLOFF, O., HAGELSKAMP, H. & MICHEL, G. 1974: Ober die Erdfallquelle von Bad Seebach in Vlotho, Ostwestfalen. - Fortschr. Geol. Rhld. u. Westf., 20: 27-46, Krefeld.
- DEUTSCHER WETTERDIENST IN DER US-ZONE 1950: Klima-Atlas von Hessen. - 1-20, Bad Kissingen.
- DEUTSCHER WETTERDIENST, OFFENBACH 1981: Das Klima von Hessen. - 1-85, Wiesbaden.
- DIEDERICH, G. 1970: Die Grenze Zechstein/Buntsandstein in südlicher Randfazies. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 98: 81-92, Wiesbaden.

- DIEDERICH, G. 1971: Die Grenze Mittlerer/Oberer Buntsandstein: - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 99: 124-141, Wiesbaden.
- DIEDERICH, G. & REUL, K. 1982: VII. Hydrogeologie. - Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Blatt 5622 Steinau: 111-129, Wiesbaden.
- DIEDERICH, G. & HICKETHIER, H. 1973: Zur Tektonik des Schlüchtener Beckens und seiner Umrahmung. - Nachr. dt. Geol. Ges., 7: 49-51, Hannover.
- DIETRICH, P.G. 1975: Möglichkeiten der regionalen hydrogeologischen Rayonierung von Grundwasserleitern in Beckengebieten. - Z. f. Angew. Geol., 20/12: 544-550, Berlin (Ost).
- DIETZ, C. 1925: Tektonik und Salz des Unteren Eichsfeldes. - Abh. d. Preuss. Geol. L. A., N.F., 95: 83-109, Berlin.
- DIETZ, C. 1926: Einflüsse der Tektonik auf die Auslaugungen im Gebiete des Werra-Kalireviers. - Ber. geol. L.A., 1: 41-47, Berlin.
- DIETZ, C. 1928: Die Salzlagerstätte des Werra-Kaligebietes. - Arch. Lagerst.-Forsch., 40:1-129, Berlin (Preuß. geol. L.A.).
- DÜRFNER, H. 1969: Ortung von Karsthöhlräumen. - Z. angew. Geol., 15:112, Berlin.
- DONGUS, H. 1980: Die geomorphologischen Grundstrukturen der Erde. - 1-200, Stuttgart.
- DRESCHER, J., HILDEBRAND, G. & SCHMIDEK, R. 1973: Bodensenkungen in der Lüneburger Altstadt: Vorschläge zur baulichen Sanierung. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T4, G:1-7, Essen.
- DRESCHER, J. & JORDAN, H. 1973: Bedeckter Sulfatkarst bei Osterode/Harz und seine Auswirkungen auf Ingenieurbauwerke. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T4, H: 1-8, Essen.
- DREYER, W. 1973: Prognose von Senkungen über Kavernen. - Schriftenr. Lagerstättenerfassungs-Darst., Bodenbewegungen, Bergschäden, Ingenieurvermessung, 5/5: 62-80, Berlin.
- EBERT, Th. 1881: Die tertiären Ablagerungen in der Umgebung von Cassel. - Z. dt. geol. Ges., 33: 654-679, Berlin.
- EHRENBERG, K.-H. & STRECKER, G. 1981: Vulkanische Gesteine. - In: KUPFAHL, H.-G. 1981: Erl. geol. Kt. Hessen 1 : 25 000, Blatt 4723 Oberkaufungen: 70-84, Wiesbaden.
- ELLENBERG, J. 1968: Die geologisch-geomorphologische Entwicklung des südwestthüringischen Werragebietes im Pliozän und Quartär. - 1-188, Jena.
- ELLENBERG, J. 1968(b): Beziehungen zwischen Auslaugung und quartärer Sedimentation im thüringischen Werra - Kaligebiet. - Z. dt.geol.Ges. 117, 670-679, Hannover.
- ELLENBERG, J. 1969: Die Auslaugungssenke Horschlitt im thüringischen Werra - Kaligebiet. - Geologie 18, 4: 488-490, Berlin (Ost).
- ELLENBERG, J. 1970: Zum Holozän der Werra in Südthüringen. - Wiss. Z. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe, Jg. 19: 905-913, Jena.
- ELLENBERG, J. 1972: Auslaugung und Sedimentation im Gebiet von Gerstungen. - Geologie 21 (3): 296-304, Berlin (Ost).
- ELLENBERG, J. 1975: Schwermineralverteilung, Sedimentation und Stratigraphie im Quartär der mittleren Werra. - Z. geol. Wiss. Berlin 3(1975) 11: 1389-1404, Berlin.
- ELLENBERG, J. 1976: Zur rezenten Sedimentation der Werra in Südthüringen. - Z. geol. Wiss. Berlin, 4 (1976) 5: 781-795, Berlin.
- ELLENBERG, J. 1978: Die zeitliche Fixierung der Subrosionsprozesse im thüringischen Werra-Kaligebiet. - Wiss. Z. Univ. Greifswald, 27: 25-28, Greifswald.
- ELLENBERG, J. 1982: Die Subrosion im Werra-Kaligebiet der DDR, quartärgeologische, geomorphologische und tektonische Aspekte. - Z. geol. Wiss., 10: 61-71, Berlin (Ost).
- ENGELMANN, D., GERLACH, H. & WÄCHTER, K. 1982: Komplexe Kontrolle und Untersuchung von subrosionsbedingten Senkungsvorhängen im Altberggebiet von Stassfurt als Grundlage für die Territorialplanung. - Z. geol. Wiss., 10/1: 153-159, Berlin (Ost).
- ENGELS, B. 1973: Mechanismen von Erdfällen und natürlichen Bodensenkungen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, G2: 1-6, Essen.
- EVERS, W. 1934: Zur Oberflächengestaltung des Niedersächsischen Bergund Hügellandes. - 26. Jb. d. nieders. geol. Vereins: 70-138, Hannover.
- EWERT, F.K. 1976: Gründungsarbeiten über einem Einsturztrichter in der Lippischen Keupermulde. - Nachr. dt. geol. Ges., 15: 11, Hannover.
- FAHLBUSCH, K., HEINZ, G. & KISTERMANN, R. 1980: Rezente Bewegungen im nördlichen Oberrheingraben, Verknüpfungen von Messdaten aus Geodäsie, Geologie und Bodenmechanik. - N. Jb. Geol. Paläont., 8: 460-476, Stuttgart.
- FANTASNY, D. & BRENDEL, K. 1972: Rezente Erdfälle im Bezirk Halle im Zeitraum 1960 bis 1970 und ihre ingenieurgeologische Bedeutung. - Ber. dt. Ges. geol. Wiss., A, 17/2: 277-288, Berlin.
- FAUPEL, J. 1971: Geologische Untersuchungen im NW-Teil des Unterwerra-Sattels. - 1-100, Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- FAUPEL, J. 1973: Neue Beobachtungen zu den allochthonen Triasvorkommen ("Schollen") auf dem Unterwerra-Sattel bei Hundelshausen/Nordhessen. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1973,: 654-666, Stuttgart.

- FINDEISEN, H.K. 1952: Pleistozäne und tertiäre Flußablagerungen in der Umgebung von Kassel. - 1-141, Heidelberg (Diss., unveröff.).
- FINKENWIRTH, A. 1965: Hydrogeologisches Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu der Aufstellung eines generellen Entwurfs für die Wasserversorgung der Gemeinden im Meißner-Gebiet. - 1-119, Wiesbaden (Gutachten, unveröff.).
- FINKENWIRTH, A. 1968: Die Braunkohle am Meißner. - Der Aufschluß, Sonderh. 17: 168-172, Heidelberg.
- FINKENWIRTH, A. 1970: Hydrogeologische Neuerkenntnisse in Nordhessen. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 98: 212-233, Wiesbaden.
- FINKENWIRTH, A. 1978: Die Braunkohle am Meißner. - Der Aufschluß, Sonderband 28: 229-236, Heidelberg.
- FINKENWIRTH, A. & HOLTZ, S. 1974: Entstehung und Alter des Erdfalls "Seeloch" bei Bad Hersfeld (Nordhessen). - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 102: 207-214, Wiesbaden.
- FREYBERG, v., B. 1923: Die tertären Landoberflächen in Thüringen. - Fortschr. d. Geologie und Paläont., 6, Berlin.
- FRICKE, U. 1981: Der Vier-Tannen-Turm-Schacht im Selter/Leinebergland. - Mitt. Verb. dt. Höhlen-Karstforsch., 27/2: 21-23, München.
- FRICKE, W. 1965: Zum Karstwasserproblem des Norddeutschen Ober-Jura. - Geol. Jb., 83: 641-666, Hannover.
- FRIEDRICH, L. 1985: Karsterscheinungen in Weißenbach am Meißner - ein Dorf wird verlegt. - Karst und Höhle 1984/85: 167-170, München.
- FRITZ, K.J. 1981: Die Bodenmorphologie des Bindersees. Geologische Situation im Bereich des Rollsdorfer Kessels. - Fundgrube, 17/2: 45-47, Berlin (Ost).
- FOHRES, M. 1981: Die basaltische Beeinflussung des Meißner-Flözes. - 1-66, Gießen (Inaug. Diss. Univ. Gießen).
- FULDA, E. 1909: Die Oberflächengestaltung in der Umgebung des Kyffhäusers als Folge der Auslaugung der Zechsteinsalze. - Z. prakt. Geol., 17, Halle.
- FULDA, E. 1923: Salzspiegel und Salzhang. - Z. dt. geol. Ges., 75: 10-14, Berlin.
- FULDA, E. 1923/24: Salzauslaugung. - Jb. halleisch. Verb., 4: 369-379, Halle.
- FULDA, E. 1926: Zur Stratigraphie der thüringischen Zechsteinsalze nach Tiefbohrungsergebnissen. - Jb. Preuß. Geol. L.-A., Berlin.
- FULDA, E. 1928: Die Salzlagerstätte des Werra - Kaligebietes. - Beitr. Geol. Thür., 1, H. 6: 35-42, Jena.
- FULDA, E. 1935: Zechstein. - Handbuch vergl. Stratigr. Deutschl. - Berlin.
- FULDA, E. 1938: Die Salzlagerstätten Deutschlands. - Deutsch. Boden, 6, Berlin.
- GAERTNER, H. 1963: Zur Gliederung des Mittleren Buntsandsteins im thüringischen-nordhessischen Grenzgebiet. - Geol. Jb., 80: 741-770, Hannover.
- GANGEL, L. 1970: Geologische Untersuchungen auf Blatt 4826 Eschwege (NE) und auf Blatt 4726 Grebendorf (SE). Mit besonderer Berücksichtigung des Mittleren und Oberen Buntsandsteins und des Quartärs. - 1-175, Frankfurt (Dipl.-Arb. unveröff.).
- GARLEFF, K. 1966: Beitrag zur Deutung der Terrassen im unteren Werratal. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 17: 118-124, Ohringen.
- GARLEFF, K. 1968: Geomorphologische Untersuchungen an geschlossenen Hohlformen ("Kaven") des Niedersächsischen Tieflandes. - Göttinger Geogr. Abh., 44: 1-142, Göttingen.
- GARLEFF, K. 1985: Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:100 000 der Bundesrepublik Deutschland, GMK 100 Blatt 5, C 4722 Kassel. - 1-74, Berlin.
- GARLEFF, K. 1986: Kasseler Becken - Hoher Meißner - Werratal. - Exkursion A des AK Geomorphologie 1986, in: HAGEDORN, J. (Hg.) 1986: Deutscher Arbeitskreis für Geomorphologie, Jahrestagung 1986, 6. - 10. Oktober 1986 in Göttingen, Exkursionsführer. - 1-12, Göttingen.
- GAY, C.C.W. & HENKE, K.F. 1973: Feststellung und Sanierung von unterirdischen Hohlräumen und Verbruchzonen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T3, H: 1-4, Essen.
- GEHRENKEMPER, J. & MÜLLER, K. & STÄBLEIN, G. 1978: GMK 25 Blatt 2, 5018 Wetter. - Geomorphologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 25 000: 2, Berlin.
- GEISSLER, H. MOEKER, H., SAUER, G. & SCHREWE, F. 1982: Tunnelplanung der Deutschen Bundesbahn in erdfallgefährdetem Gebiet, NBS Hannover - Würzburg, Leinebusch-Tunnel. - Rock Mechanics - Suppl., 12: 63-73, Wien.
- GERSTENHAUER, A. 1969: Die Karstlandschaften Deutschlands. - Abh. Karst- und Höhlenkunde, Reihe A, Heft 5: 1-8, München.
- GERWIEN, E. 1914: Der Lauf der Oberweser im Buntsandsteingewölbe. - 1-70, (Diss. Phil. Fak. Friedrich-Wilhelm-Univ. Berlin), Halle.
- GEYER, O.F. 1956: Ober die Morphogenetik der Dolinen mit besonderer Berücksichtigung von Südwestdeutschland. - Z. dt. geol. Ges., 108: 160-161, Hannover.
- GOLWER, A. & PRINZ, H. 1969: Korrosionserscheinungen in tertiären Karbonatgesteinen im Untermaingebiet. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 97: 243-257, Wiesbaden.
- GRABNER, J. 1970: Geologische Untersuchungen in der Umgebung von Wanfried. - 1-150, Frankfurt (Dipl.-Arb. unveröff.).

- GREILING, R. 1977: Ober die Subrosionssenke "der See" bei Kleinensee (Osthessen, TK 25 Blatt 5025 Hönebach). - Geol. Jb. Hessen, 105: 169-175, Wiesbaden.
- GRIMM, A. & LEPPER, J. 1973: Schlotförmige Erdfälle im Sollinggewölbe und deren Beziehung zu Salzwasservorkommen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T2, E1-E7, Essen.
- GROSCHOFF, P. & KOBLER, H.-U. 1973: Die Entstehung von Karsthohlformen auf der Schwäbischen Alb und am oberen Neckar. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T2, G: 1-3, Essen.
- GRUBE, F. 1973: Ingenieurgeologische Erkundung der Erdfälle im Bereich des Salzstocks Othmarschen - Langenfelde (Hamburg). - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T4, B: 1-7, Essen.
- GRUMBT, E. & LOTZNER, H. 1966: Störungszonen im Deckgebirge des thüringischen Werra-Kaligebietes und ihre Beziehungen zum Basaltvulkanismus und zur Auslaugung. - Geologie, 15: 531-544, Berlin.
- GRUMBT, E. & LOTZNER, H. 1983: Saxonische Tektonik und Basaltvulkanismus zwischen Thüringer Wald und Vorderrhön. - Z. geol. Wiss., 11: 943-954, Berlin.
- GRUPE, O. 1909: Salzlager im Hannoverschen Eichsfeld. - Z. f. prakt. Geol. 1909: 185-205, Berlin.
- GRUPE, O. 1911: Ober das Verhältnis der Dislokationen des hannoversch-hessischen Berglandes und ihren Einfluß auf Talbildung und Basalteruption. - Z. dt. geol. Ges., 63, Berlin.
- GRUPE, O. 1912: Die Flußterrassen des Wesergebietes und ihre Altersbeziehungen zu den Eiszeiten. - Z. dt. geol. Ges., 64: 264-298, Stuttgart.
- GRUPE, O. 1926: Tal- und Terrassenbildung im Gebiet der Werra, Fulda, Weser und SOERGELS "Gliederung und absolute Zeitrechnung des Eiszeitalters". - Geol. Rdsch., 17: 161-196, Berlin.
- GRUPE, O. 1937: Ober das hessische Pliozän und die Altersfrage der Basalte. - Z. dt. geol. Ges., 88: 634-661, Berlin.
- GRUND, A. 1914: Der geographische Zyklus im Karst. - Z. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 8: 621-640, Berlin.
- GUNDLACH, H. & STOPPEL, D. 1966: Zur Geologie und Geochemie der Schwerspatlagerstätten im Unterwerra-Grauwackengebirge. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 94: 310-337, Wiesbaden.
- GUNN, J. 1984: Applied karst hydrogeomorphology 3 case studies from Ireland. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.- Bd. 51: 1-16, Berlin, Stuttgart.
- HAASE, G. & OETTEL, S. 1963: Beitrag zur Kenntnis der Auslaugungserscheinungen im Werra-Kaligebiet. - Bergakademie, 15: 370-375, Leipzig.
- HABETHA, E. 1972: Ingenieurgeologische Erfahrungen bei Schäden in Erdfallgebieten Südniedersachsens. - Z. dt. geol. Ges., 114: 162-163, Hannover.
- HAEUPLER, H. & ELLENBERG, H. 1967: Ein Versuch zur Abgrenzung der Höhenstufen der Vegetation im südniedersächsischen Kartierungsgebiet. - Florist. Rundbriefe f. Süd-Niedersachsen, 3: 2-6, Göttingen.
- HAFFER, J. 1956: Zur Stratigraphie und Tektonik des Mittleren Buntsandsteins bei Witzhausen / Werra. - 1-28, Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- HAGEDORN, J. 1966: Kryoplanationsterrassen im niedersächsischen und hessischen Bergland. - Vortrag 13. Tag. Deugua, Göttingen. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 17: 209, Öhringen.
- HAGEL, J. 1959: Städte die das Salz bewegt. - Kosmos, 55 (2): 49-53, Stuttgart.
- HARLING, J. 1986: Geologische Untersuchung des südöstlichen Meißner-Gebietes. - 1-87, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- HECK, H.-L. 1928: Beiträge zur Talgeschichte der oberen Leine. - Jb. Preuss. Geol. L.-A., 47: 427-453, Berlin.
- HEDEMANN, H.A. 1952: Der Bau des Sollinggewölbes und seine Stellung in der Hessischen Senke, - Z. dt. geol. Ges., 103: 125-127, Hannover.
- HEDEMANN, H.A. 1957: Die Gewölbestruktur des Sollings und ihre Entstehung. - Geol. Jb., 72: 529-638, Hannover.
- HEITFELD, K.-H. 1969: Ingenieurgeologische Probleme bei der Gründung im Kalkstein. - Mitt. VGB. TH Aachen, 46: 59-86, Aachen.
- HEMPEL, L. 1955 (a): Rumpfflächenlandschaft oder Schichtstufenland? - Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. IIa, Math.-Phys.-Chem. Abh., 9: 223-238, Göttingen.
- HEMPEL, L. 1955 (b): Studien über Verwitterung und Formenbildung im Muschelkalkgestein. Ein Beitrag zur klimatischen Geomorphologie. - Göttinger geogr. Abh., 18: 1-112, Göttingen.
- HEMPEL, L. 1957 (a): Junge postglaziale Tektonik am Rande des Eichsfelder Beckens. - Geol. Jb., 72: 235-240, Hannover.
- HEMPEL, L. 1957 (b): Gesteinsstruktur und klimatisch bedingte Formungstendenzen. - Dt. Geogr.-Tag Hamburg 1955: 331-337, Wiesbaden.
- HEMPEL, L. 1957 (c): Flächenformen und Flächenbildung in der Stufenlandschaft. - Pet. geogr. Mitt., 101: 178-184, Gotha.
- HEMPEL, L. 1958: Studien in norddeutschen Buntsandsteinlandschaften. - Forschg. z. dt. Ldkde., 112: 1-116, Remagen/Rhein.
- HENTSCHEL, H. 1978: Der Basalt des Meißners. - Der Aufschluß, Sonderh. 28: 208-228, Heidelberg.



- HERRMANN, A. 1969: Einführung in die Geologie, Morphologie und Hydrogeologie des Gipskarstgebietes am südwestlichen Harzrand. - Jh. Karst- und Höhlenkunde, : 1-10, München.
- HERRMANN, A. 1973(a): Verschiedenartige Ursachen oberflächlicher Hohlformen - demonstriert an Erdfällen (Dolinen) usw. im Jura-Kreidegebiet bei Holzen auf der Südwestflanke der Ith-Hils-Mulde in Südniedersachsen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T2, I: 1-5, Essen.
- HERRMANN, A. 1973(b): Geologische und geochemische Bedingungen für das Auftreten von Erdfällen und Bodensenkungen als Auswirkung der natürlichen Lösung von Gesteinen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, G1: 1-6, Essen.
- HERRMANN, A. 1978: Gipslagerstätten und Gipskarst am südwestlichen Harzrand. - Aufschluß, Sonderh., 28: 141-145, Heidelberg.
- HERRMANN, A. 1981(a): Eine neue geologische Karte des Hainholzes bei Duena/Osterode am Harz. - Ber. naturhist. Ges. Hannover, 124: 17-33, Hannover.
- HERRMANN, A. 1981(b): Zum Gipskarst am südwestlichen und südlichen Harzrand. - Ber. naturhist. Ges. Hannover, 124: 35-45, Hannover.
- HERRMANN, A., HINZE, C. & STEIN, V. 1967: Die halotektonische Bedeutung der Elfas-Oberschiebung im südniedersächsischen Bergland. - Geol. Jb., 84: 407-462, Hannover.
- HERRMANN, A., HINZE, C. & STEIN, V. 1968: Tektonik und Halokinese am Schollenrand zwischen Hils- und Solling-Scholle. - Z. dt. geol. Ges., 116: 675-678, Hannover.
- HERRMANN, A., HINZE, C., HOFRICHTER, E. & STEIN, V. 1968: Salzbewegungen und Deckgebirge am Nordostrand der Sollingscholle (Ahlsburg). - Geol. Jb., 85: 147-164, Hannover.
- HERRMANN, A.G., KADING, K.-Ch. & STRUENSEE, v.G. 1980: Kalisalzlagerstätten des Sulfat-Typs: Hattorf (Werra-Fulda-Bezirk) und Salzetfurth (Bezirk Südhannover). Entstehung, Umbildung, Bergbau und wirtschaftliche Nutzung von Salzlagerstätten. - Fortschr. Miner., 58, Beiheft 2: 33-53, Stuttgart.
- HERRMANN, F. & HOFRICHTER, E. 1973: Subrosion, Bodensenkungen und Erdfälle an Salzstöcken NW-Deutschlands am Beispiel des Salzstockes Benthe bei Hannover. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T1, F: 1-10, Essen.
- HERRMANN, F. & WOSTENHAGEN, K. 1973: Der Felsbruch am Kahnstein bei Langelsheim (Harz) aus ingenieur-geologischer Sicht. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T2, O: 1-6, Essen.
- HERRMANN, R. 1929: Erdgeschichtliche Grundfragen der Oberflächenformung in Mitteldeutschland. - Beiträge zur Landeskunde Mitteldeutschlands, Festschr., 23, Deutsch. Geogr. Tag Magdeburg, Braunschweig.
- HERRMANN, R. 1930: Salzauslaugung und Braunkohlenbildung im Geiseltalgebiet bei Merseburg. - Z. dt. geol. Ges., 82: 467-479, Berlin.
- HERRMANN, R. 1936: Die Formenentwicklung in der Schichtkammlandschaft des Leineberglandes. - Z. f. Erdkde., 4,2: 673-677, Frankfurt/Main.
- HERRMANN, R. 1969: Die Auslaugung der Zechsteinsalze im niedersächsisch-westfälischen Grenzgebiet bei Bad Pyrmont. - Geol. Jb., 87: 277-294, Hannover.
- HERRMANN, R. 1972: Ober Erdfälle äußerst tiefen Ursprungs. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 100: 177-193, Wiesbaden.
- HERRMANN, R. 1973(a): Zur Beurteilung der Gefahr für Bauvorhaben nahe bei Erdfällen besonders tiefen Ursprungs. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T4, E: 1-5, Essen.
- HERRMANN, R. 1973(b): Eine multivariable statistische Klimagliederung Nordhessens und angrenzender Gebiete. - Marburger geogr. Schr., 60: 37-55, Marburg.
- HERRMANN, Regina 1986: Geologische Untersuchungen des nordöstlichen Meißnergebietes. - 1-94, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- Hessische Minister für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz (Hg.) 1985: Wasser-Report Hessen, "Ohne Wasser kein Leben". - 1-104, Wiesbaden.
- HESSMANN, W. & SCHWANDT, A. 1981: Zur Bruchtektonik im Salinar und Deckgebirge. - Z. geol. Wiss., 9/3: 283-292, Berlin.
- HIEKE, W. & RITZKOWSKI, S. 1968: Die altquartäre Subrosionssenne von Fürstentagen bei Hess. Lichtenau (Nördl. Hessen). - Geol. Rdsch., 58: 190-196, Stuttgart.
- HILDEBRAND, G. & PRINZ, H. 1973: Fallgewichtseismische und ingenieurgeologische Untersuchungen für Straßenbauten über Zechstein-Sulfat. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T3, E: 1-10, Essen.
- HINZ, E., KAMINSKI, W. & STEIN, A. 1976: Results of Seismic Refraction Profile from the Hoher Meißner to the North German Plain. - In: GIESE, P., PRODEHL & STEIN 1976: Explosion Seismology in Central Europa. - 257-267, Berlin, Heidelberg, New York.
- HÖVERMANN, J. 1953: Die Oberflächenformen um Göttingen. - Göttinger Jb., 1953: 63-74, Göttingen.
- HÖVERMANN, J. 1963: Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 99, Göttingen. - Geogr. Landesaufnahme 1:200 000, Hg. Inst. f. Landeskde., Bad Godesberg.
- HÜLTING, B. 1980: Hydrogeologie. - 1-340, Stuttgart.
- HÜLTING, B., LAEMMLEN, M. & SEMMEL, A. 1967: D. Quartär. - In: Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Bl. 5224 Eiterfeld: 78-89, Wiesbaden.

- HOLTHUSEN, H. 1977(a): Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen in Sedimenten der Trias südöstlich Eschwege (Nordhessen). - 1-54, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- HOLTHUSEN, H. 1977(b): Die Geologie des Ringgaues südlich Grandenborn in Nordhessen (TK 4926 Herleshausen). - 1-21, Berlin (Dipl.-Kart., unveröff.).
- HOLTZ, S. 1969: Gutachten über die Untergrundverhältnisse in Weißenbach, Kreis Witzenhausen und ihre Auswirkungen auf die geplante wasserwirtschaftliche Maßnahme (Oberflächenentwässerung). - Wiesbaden (Gutachten, unveröff.).
- HOLTZ, S. 1977: Geophysikalische und geologische Untersuchungen für das Hochwasserrückhaltebecken Mackenzell/Nüst, Kreis Fulda. - Giessner geol. Schr., 12: 123-140, Giessen.
- HOFRICHTER, E. 1967: Subrosion und Bodensenkungen am Salzstock von Stade. - Geol. Jb., 84: 327-340, Hannover.
- HOFRICHTER, E. 1973: Ursache eines Erdalles bei Vienenburg - Salzauflösung in ersoffenen Grubenräumen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T1, H: 1-6, Essen.
- HOPPE, W. 1944: Die Auslaugungserscheinungen im Werra - Kaligebiet, ihre Bedeutung für die Lagerstätte und die Landschaftsformen. - Jb. R.-Amt f. Bodenforsch., 62: 248-271, Berlin.
- HOHM, D. 1979: Ober Erdfälle am nordwestlichen Harzrand zwischen Hahausen und Osterode am Harz. - Mitt. geol. Inst. Techn. Univ. Hannover, 17: 35-154, Hannover.
- HOYNINGEN-HUENE, E.v. 1960(a): Auslaugung und Ablaugung. - Geologie, 9: 318-320, Berlin.
- HOYNINGEN-HUENE, E.v. 1960(b): Das Permokarbon im östlichen Harzvorland. - Freiburger Forschungshefte, C 93: 1-166, Berlin.
- HOYNINGEN-HUENE, E.v. & REUTER, F. 1963: Zur Terminologie von Auslaugungserscheinungen. - Z. angew. Geol., 9: 537-541, Berlin.
- HRENKO, P. 1959: Die Korrosions-, Rutschungs- und Karstformen unserer heimischen Hügellandschaft. - Geodäsie u. Kartographie, 11: 285-291, Budapest.
- HUMMEL, K. 1929: Die tektonische Entwicklung eines Schollengebirgslandes. - Fortschr. Geol. Paläont., 8, 24: 1-234, Berlin.
- HUMMEL, K. 1930: Glanzkohlengänge in der Braunkohle des Habichtswaldes. - Z. dt. geol. Ges., 82: 481-497, Berlin.
- HUNDT, R. 1950: Erdfalltektonik. - 1-145, Halle a.d. Saale.
- JACOB SHAGEN, V., KORITNIG, S., RITZKOWSKI, S., RÜSING, F., WITTIG, R. & WYCISK, P. 1977: Unterwerra-Sattel: Sein Deckgebirge (Perm-Tertiär) und der gefaltete paläozoische Kern. - in: Exkursionsführer Geotagung '77, II: 1-34, Göttingen.
- JÄGER, W. 1925: Über die Entstehung der Leuchtberge bei Eschwege. - Das Werratal, 2: 57-59, Eschwege.
- JASCHKE, M. 1888: Das Meißnerland. - Forsch. z. dt. Landes- und Volkskunde, III, 2: 36-47, Stuttgart.
- JANKOWSKI, G. 1964: Die Tertiärbecken des SE-Harzvorlandes und ihre Beziehungen zur Subrosion. - Z. angew. Geol., 9: 498-501, Berlin.
- JENNINGS, J.N. 1985<sup>2</sup>: Karst Geomorphology. - 1-293, New York.
- JORDAN, H. 1979: Der Zechstein zwischen Osterode und Duderstadt (südliches Harzvorland). Z. dt. geol. Ges., 130/1: 145-163, Stuttgart.
- JORDAN, H. 1981: Karstmorphologische Kartierung des Hainholzes (Südharz). - Ber. naturhist. Ges. Hannover, 124: 47-54, Hannover.
- JOST, O. 1974: Das Naturdenkmal "Zeller Loch" - Naturidyll und Forschungsstätte. - Beitr. Naturkde. Osthessen, 7-8: 5-20, Fulda.
- JULIAN, M. & NICOD, J. 1986: La Région Karstique Audoubert-Mous. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 49: 1-25, Berlin, Stuttgart.
- JUNG, W. 1965: Zum subsalinaren Schollenbau im südöstlichen Harzvorland. Mit einigen Gedanken zur Äquidistanz von Schwächezonen. - Geologie, 14/3: 254-271, Berlin.
- JUNG, W. 1977: Der Zechstein im südöstlichen Harzvorland und seine Beziehung zu den Nachbargebieten. - Wiss. Ztschr. d. Ernst-Moritz-Arndt-Univ., 26/1-2: 81, Greifswald (Math.-Nat. Reihe).
- KADING, K.-C. 1975: Zechstein. - Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Bl. 5225 Geisa: 30-44, Wiesbaden.
- KADING, K.-C. 1978: Stratigraphische Gliederung des Zechsteins im Werra-Fulda-Becken. - Geol. Jb. Hessen, 106: 123-130, Wiesbaden.
- KAMMERER, F. 1962: Ingenieurgeologische Methoden in Erdfall- und Senkungsgebieten. - Freiberg. Forsch.-H., C 127: 49-109, Berlin.
- KARRENBERG, H. & QUITZOW, H.W. 1956: Über Hohlraumbildung und Einstürze in Lössböden als Folge unterschiedlicher Materialwegführung. - Geol. Jb., 71: 631-642, Hannover.
- KASS, W. (Hg) 1972: 2. Internationale Fachtagung zur Untersuchung unterirdischer Wasserwege mittels künstlicher und natürlicher Markierungsmittel, Freiburg/Br. 1970. Vorträge, Diskussionen und Beiträge. - Geol. Jb., C2: 1-382, Hannover.
- KASTNER, H. 1964: Zur Kenntnis von Auslaugungserscheinungen im südlichen Werra - Kaligebiet. - Bergakademie, 16: 147-153, Leipzig.
- KAUFMANN, E. 1980: Erdfälle in der Gemarkung Vockerode, Gemeinde Meißner, WMK. - 2 Skizzen, Wiesbaden (Schadenskart., unveröff.).

- KAULE, G., BRUNS, O. & KOCH, M. 1984: B 27 Ortsumfahrung Oberrieden. - Gutachten über die Bilanzierung und Bewertung von Eingriffen in das Biotopkomplex "Alte Werra" und Vorschläge für Ausgleichsmaßnahmen: 1-67, Stuttgart.
- KEILHACK, K. 1912: Die geologischen Verhältnisse der Quellen am Meißner. - Berlin (Gutachten, unveröff.).
- KEMPE, S., BRANDT, A., SEEGER, M. & VLADI, F. 1976: Fünf Aspekte der Entwicklung der Gipshöhlen im Hainholz-Südharz. - Mitt. Verb. dt. Höhlen- Karstforsch., 22/1: 7-10, München.
- KERSTEN, G. 1986: Geologische Kartierung des südwestlichen Meißner-Gebietes und Bearbeitung der Lagerungsverhältnisse am Hohen Meißner. - 1-118, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- KILLE, K. & RUDOLPH, R. 1974: Abflußverhalten und Wasserhaushalt eines buchenbestandenen Buntsandsteingebietes. - Allgem. Forst. Zeitschr., 49: 1095-1098, Wiesbaden.
- KIRBIS, G. 1950: Beiträge zur Morphologie der Goburg. - Göttinger Geogr. Abh., 5: 1-42, Göttingen.
- KLAUSING, O. 1974: Die Naturräume Hessens. - Schr. aus d. hess. L.-Amt f. Umwelt, mit Karte der naturräumlichen Gliederung im Maßstab 1:200 000: 1-86, Wiesbaden.
- KLINGNER, F.E. 1935: Das Problem der Triasschollen auf dem Grauwacken-Sattel der unteren Werra bei Hundelshausen. - Z. dt. geol. Ges., 87: 49-56, Berlin.
- KLINK, H.J. 1969: Geographische Landesaufnahme 1:200 000, Naturräumliche Gliederung Deutschlands, Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 112, Kassel. - 1-108, Bonn-Bad Godesberg.
- KLOHN, K.H. 1930: Der Eichenberg - Gothaer Graben unter vergleichender Betrachtung der Viernhauser Dislokationszone südlich Schmalkalden. - Abh. preuß. geol. L.A., N.F., 116: 113-162, Berlin.
- KLUT-OLSZEWSKI, 1945: Untersuchungen des Wassers an Ort und Stelle, seine Beurteilung und Aufbereitung. - 9. Aufl.: 1-281, Berlin.
- KNOCH, K. (Hg.) 1950: Klima-Atlas von Hessen. - Erläuterungen 1-20, Bad Kissingen.
- KNOCHE, G. 1969: Die Trias des östlichen Netratales in Nordhessen. - 1-74, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- KOCKERT, W. 1972: Höhlenbildung im Zechstein der DDR und einige grundsätzliche Bemerkungen zur Karsthydrologie der Zechsteinschichten. - Ber. dt. Ges. geol. Wiss., Reihe A, Geol. u. Paläont., 17: 261-272, Berlin.
- KOERNER, U. 1973: Kleinseismische Untersuchungen in erdfallgefährdeten Gebieten. - Problematik bei der Auswertung der Meßergebnisse. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T3, C: 1-3, Essen.
- KOLTZE, E. 1975: Geologische Untersuchungen am Unterwerra-Sattel zwischen Bad Sooden-Allendorf, Hilgershausen und Oberrieden. - 1-163, Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- KORITNIG, S. 1968: "Die Blaue Kuppe" bei Eschwege. - Der Aufschluß, Sonderh. 28: 237-247, Heidelberg.
- KOSCHYK, K. 1982: Reflexionsseismische Untersuchungen nach dem Mini-Sosie-Verfahren in der Niederrhessischen Senke. - Unveröff. Ber. Archiv Nieders. L.A. Bodenforsch.: 1-31, Hannover.
- KOSCHYK, K. 1983: Refraktionsseismische Untersuchungen 1981 in der Hessischen Senke. - Unveröff. Ber. Archiv. Nieders. L.A. Bodenforsch.: 1-39, Hannover.
- KOSMAHL, W. 1969: Zur Stratigraphie, Petrographie, Paläogeographie, Genese und Sedimentation des Gebänderten Anhydrits (Zechstein 2), Grauen Salztones und Hauptanhydrits (Zechstein 3) in Nordwestdeutschland. - Beih. geol. Jb., 71: 1-129, Hannover.
- KRÄMER, F., KUPFAHL, H.G. & RÜSING, F. 1966: Leithorizonte im Mittleren und Oberen Buntsandstein zwischen Kassel und Eschwege. - Z. dt. geol. Ges., 115: 897-898, Hannover.
- KREUTZER, H.W. 1986: Palynologie, Stratigraphie und Tektonik im Becken von Großalmerode (Blatt 4724 Großalmerode, Niederrhessen). - Gießener Geol. Hefte, Gießen (im Druck).
- KREUZER, H., BESANG, C., HARRE, W., MOLLER, P., ULRICH, H.-J. & VINKEN, R. 1973: K/Ar - Datierungen an jungtertiären Basalten aus dem Vogelsberg und aus dem Raum zwischen Kassel und Göttingen. - Fortschr. Min., 50, Beih. 3: 10-11, Stuttgart.
- KROSS, G. 1969: Geologische Kartierung des westlichen Netratales (Ldkrs. Eschwege) unter besonderer Berücksichtigung der Stratigraphie des Mittleren Buntsandsteins. - 1-80, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- KUGLER, H. 1975: Grundlagen und Regeln der kartographischen Formulierung geographischer Aussagen in ihrer Anwendung auf geomorphologischen Karten. - Pet. Geogr. Mitt., 119: 145-159, Gotha.
- KUGLER, H., SCHWAB, M. & BILLWITZ, K. 1980: Allgemeine Geologie, Geomorphologie und Bodengeographie. - 1-216, Gotha/Leipzig.
- KUHNERT, Ch. 1986: Die geologischen Verhältnisse des Werra-Meißner-Kreises. - Berliner Geogr. Abh. 41: 25-39, Berlin.
- KULICK, J. et al. 1984: Petrofaziale und chemische Erkundung des Kupferschiefers der Hessischen Senke und des Harz-Westrandes. - Geol. Jb., D68: 3-223, Hannover.
- KULICK, J. & MEISCHNER, D. 1973: Tektonik. - In: Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Blatt 4820 Bad Wildungen: 236-261, Wiesbaden.
- KUNZ, H. 1962: Geologische Untersuchungen auf Blatt 4726 Grebendorf (Nordhessen). - 1-193, Frankfurt (Dipl.-Arb. unveröff.).
- KUNZE, W. 1914: Geologische Streifzüge in die Werralandschaften. - 1-119, Eschwege.

- KUPETZ, M. & MUCKE, D. 1979: Höhlenforschertreffen Eisleben 1979 - Karst in der Mansfelder Mulde. - Fundgrube, 15/3-4: 120, Berlin (Ost).
- KUPFAHL; H.G. et al. 1981: Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Blatt Oberkautungen Nr. 4723. - 2. Aufl.: 1-212, Wiesbaden.
- KUTSCHER, F. 1953: Angewandte erdmagnetische Messungen in Hessen (erdmagnetische Messungen am Meissner). - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 81: 350-367, Wiesbaden.
- KUTSCHER, F. 1966: Angewandte erdmagnetische Messungen in Hessen. 7. Erdmagnetische Messungen an den Wolkenbrüchen bei Trendelburg. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 94: 394-397, Wiesbaden.
- LACHMANN, R. 1912(a): Der Bau des niederhessischen Berglandes bei Hundelshausen. - 90 Jber. Schles. Ges. f. vaterl. Kultur, 1912, VI. Abt.: 13-61, Breslau
- LACHMANN, R. 1912(b): Ober die Bildung und Umbildung von Salzgesteinen. - Jhrber. der Schles. Ges. f. vaterl. Kultur, o.S., Breslau.
- LACHMANN, R. 1912(c): Beiträge zur Plastizitätsfrage. - Centralblatt f. Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 24: 745-757, Stuttgart.
- LACHMANN, R. 1917: Ekzeme und Tektonik. - Zentralbl. f. Min. 1917: 414, Stuttgart.
- LAEMMLEN, M. 1958: Ein Buntsandstein-Muschelkalk-Profil bei Hausen am Südwestabhang des Hohen Meißners in Nordhessen. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 86: 215-240, Wiesbaden.
- LAEMMLEN, M. 1970<sup>2</sup>: Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Bl. 5523 Neuhof. - 1-274, Wiesbaden.
- LAEMMLEN, M. 1970: Geol. Kte. Hessen 1:25 000, Bl. 5523 Neuhof, Wiesbaden.
- LAEMMLEN, K., PRINZ, H. & ROTH, H. 1979: Folgeerscheinungen des tiefen Salinarkarstes zwischen Fulda und der Spessart-Rhön-Schwelle. - Geol. Jb. Hessen, 107: 207-250, Wiesbaden.
- LANG, H.D. 1959: Die Abhängigkeit der Braunkohlenbildung von der Gestalt und dem Untergrund der Niederhessischen Senke. - Z. dt. geol. Ges., 111-247, Hannover.
- LANGBEIN, R. 1984: Ober subrosionsbedingte Gefüge in Anhydrit- und Gipsgesteinen. - Z. geol. Wiss., 12/3: 349-362, Berlin.
- LANGBEIN, R. & SEIDEL, G. 1968: Zur Auslaugung am Südrand des Harzes. - Geologie, 17: 529-542, Berlin.
- LANGE, P. 1979: Geologische Naturdenkmale in der Umgebung von Saalfeld. - Fundgrube, 15/1-2: 43-48, Berlin (Ost).
- LANGE, P.R. & KADING, K.-C.H. 1961: Stratigraphie und Tektonik im Buntsandstein des hessischen Werra-Kaligebietes östlich Bad Hersfeld. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 89: 242-265, Wiesbaden.
- LEHMANN, A., CIESIELSKI, R. & RABE, H. 1980: Zur Tektonik im Kohlefeld Witznitz. - Z. f. Angew. Geol., 26/7: 329-332, Berlin (Ost).
- LEHMANN, O. 1931: Ober Karstdolinen. - Mitt. Geol. Ethnogr. Ges. Zürich 31, Zürich.
- LEHMANN, O. 1932: Die Hydrographie. - Enzykl. d. Erdkunde, L. - Leipzig u. Wien.
- LEHMANN, R. 1930: Die Deckgebirgsschichten im mitteldeutschen Braunkohlenrevier. - Z. dt. geol. Ges., 82: 479-488, Berlin.
- LEIFELD, D., PAHL, A., MEISL, S., KULICK, J., THEUERJAH, A.K., PÜSCHEL, W., STRECKER, G., FINKENWIRTH, A., VOGELANG, D. & WOLF, M. 1983: Petrofazielle und chemische Erkundung des Kupferschiefers der Hessischen Senke und des Harz-W-Randes sowie parallel laufende Erprobung neu entwickelter Bohrtechnologien. - Unveröff. Ber. Archiv Bundesanstalt. Geowiss. u. Rohstoffe (Bundesbohrprogramm-Teilprojekt Kupferschiefer): 1-177, Hannover.
- LESER, H. 1977: Feld- und Labormethoden der Geomorphologie. - 1-446, Berlin, New York.
- LESER, H. 1979: Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:25 000 der Bundesrepublik Deutschland GMK 25 Blatt 4, 8313 Wehr. - 1-60, Berlin.
- LESER, H. 1980: Die Wölbung in der geomorphologischen Karte. - Kartogr. Nachr., 30: 11-24, Bonn-Bad Godesberg.
- LESER, H. 1982: Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:25 000 der Bundesrepublik Deutschland GMK 25 Blatt 9, 7520 Mössingen. - 1-56, Berlin.
- LESER, H. & STÄBLEIN, G. (Hg.) 1975: Geomorphologische Kartierung. Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25 000. - Berliner geogr. Abh., Sonderh.: 1-39, Berlin.
- LESER, H. & STÄBLEIN, G. 1978: Legende der Geomorphologischen Karte 1:25 000 (GMK 25), 3. Fassung im GMK-Schwerpunktprogramm. - Berliner Geogr. Abh., 30: 79-90, Berlin.
- LESER, H. & STÄBLEIN, G. 1979: GMK-Schwerpunktprogramm der DFG. GMK 25-Legende/4. Fassung. - Geogr. Taschenbuch 79/80: 115-134, Wiesbaden.
- LESER, H. & STÄBLEIN, G. 1980: Legende der Geomorphologischen Karte 1:25 000 (GMK 25) - 3. Fassung im GMK-Schwerpunktprogramm -. - Berliner Geogr. Abh., 31: 91-100, Berlin.
- LEYDECKER, G. 1976: Der Gebirgsschlag vom 26.3.1975 im Kaliberggebiet des Werratales. - Geol. Jb. Hessen, 104: 271-277, Wiesbaden.
- LICHTENSTEIN, D. (Hg.) 1970-1973: Bibliographie zur Karst- und Höhlenkunde in Deutschland 1967-1971. - Kleine Schriften zur Karst- u. Höhlenkunde, 9, 10, 12, 14, München.
- LIEBMANN, C.C. 1973: Flächen im Fulda-Werra-Bergland zwischen Waldkappel und Rotenburg/Fulda, unter besonderer Berücksichtigung der Flächen im Buntsandstein. - 1-118, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- LINCKE, L. 1977: Zur Geologie des Geiseltales. - Wiss. Beitr. Martin-Luther-Univ. Halle - Wittenberg, 2: 139-147, Halle - Wittenberg.

- LINCKE, L. 1978: Zur Entstehungszeit der Braunkohle im Geisetal. - Wiss. Beitr. Martin-Luther-Univ. Halle - Wittenberg, 30/7: 141-152, Halle - Wittenberg.
- LINSTOW, O.v. 1929: Salzlager, Solquellen und Erdfälle in dem Gebiet zwischen Kassel und Karlshafen. - Z. Kali, 22: 54-56, 71-74, 86-88, Halle.
- LISZKOWSKY, J. 1973(a): Bemerkungen über die Geomechanik von Erdfällen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T2, F: 1-5, Essen.
- LISZKOWSKY, J. 1973(b): Erdfälle und Bodensenkungen der Karstgebiete Polens, ihre Verbreitung und Genese. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T1, E: 1-7, Essen.
- LOHMANN, H.H. 1960: Das Tertiär im Oberweserbergland und seine Lagerungsverhältnisse. - Vortragsreferat in Z. d. dt. geol. Ges., 112: 576-577, Hannover.
- LOHMANN, H.H. 1962: Zur Formenentwicklung von Salzauslaugungstrichtern. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 90: 319-326, Wiesbaden.
- LOTZE, F. 1932: Der Südtteil des Göttinger Leinetalgrabens und der Eichenberger Grabenknoten. - Abh. d. preuß. geol. L.A., N.F., 139: 1-48, Berlin.
- LOTZE, F. 1938: Steinsalz und Kalisalze. - Geologie, Berlin.
- LOTZE, F. 1949: Die orogenen Kräfte bei der saxonischen Gebirgsbildung. - In: BENTZ, A. 1949: Erdöl und Tektonik in Nordwestdeutschland: 43-46, Hannover/Celle.
- LOTZE, F. 1957: Zur Geologie der Senkungszone des Heiligen Meeres (Krs. Tecklenburg). - Abh. Landesmuseum f. Naturkde. Münster/Westf., 18: 1-36, Münster.
- MAIER-SIPPELL, B. 1952: Zur Morphologie des Soodener Berglandes. - Göttinger Geogr. Abh., 11: 1-39, Göttingen.
- MARTIN, W. 1965: Geologie der Umgebung von Weißenborn auf Blatt 4826 Eschwege (Nordhessen). - 1-143, Frankfurt (Dipl.-Arb. unveröff.).
- MARTINI, H.-J. 1937: Großschollen und Gräben zwischen Habichtswald und Rheinischen Schiefergebirge. - Geotekton. Forsch., 1: 79-123, Berlin.
- MARTINI, H.J. 1955: Salzsättel und Deckgebirge. - Z. dt. geol. Ges., 105: 823-836, Hannover.
- MATTHESS, G. 1970: Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegungen in Festgesteinen. - Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 58: 57-72, Wiesbaden.
- MEIBURG, P. 1979: Geologische Naturdenkmale in Hessen. - In: Hess. Min. f. Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft und Forsten 1979: Naturschutz und Landschaftspflege in Hessen 1977/78. - 40-62, Wiesbaden.
- MEIBURG, P. 1980: Subrosions-Stockwerke im nordhessischen Bergland. - Aufschluss, 31/7-8: 265-287, Heidelberg.
- MEIBURG, P. 1982: Saxonische Tektonik und Schollenkinematik am Ostrand des rheinischen Massivs. - Geotektonische Forsch., 62: 1-267, Stuttgart.
- MEIBURG, P. & KAEVER, M. 1977: Subrosion und Sedimentation im jüngeren Tertiär des nördlichen Reinhardwaldes (Weserbergland). - Neues Jb. Geol. Paläont., 153/3: 283-303, Stuttgart.
- MEINECKE, F. 1913: Über die Entwicklungsgeschichte des Werratales. - Mitt. sächs.-thür. Ver. f. Erdkde. zu Halle/S., 37: 77-110, Halle/Saale.
- MEISSNER, O., MILITZER, H. & THON, H.-H. 1967: Ein Versuch zum Nachweis oberflächennaher Hohlräume unter einer Straße. - Jb. Geol., 1: 459-479, Berlin.
- MEISTER, D. 1974: Bericht über das Symposium Erdfälle und Bodensenkungen - Ingenieurgeologische Probleme löslicher Gesteine vom 10. bis 13. September 1973 in Hannover. - Dt. Ges. Erd- und Grundbau, 1974: 179-192, Hamburg.
- MENSCHING, H. 1950: Schotterfluren und Talauen im Niedersächsischen Bergland. - Göttinger geogr. Abh., 4: 1-54, Göttingen.
- MENSCHING, H. 1951: Akkumulation und Erosion niedersächsischer Flüsse seit der Ribzeit. - Erdkde., V: 60-70, Bonn.
- MENSCHING, H. 1953: Die periglaziale Formung der Landschaft des unteren Werratales. - Göttinger geogr. Abh., 14: 79-128, Göttingen.
- MERKE, A. 1978: Karsterscheinungen im Südharz, ein Beitrag zur Landeskunde. II. karsthydrologische Erscheinungen. - Rund um den Hausberg., 125/7-12: 1-24, Goslar.
- MESSER, E. 1978: Die nordhessischen Kaligruben. - Kali u. Steinsalz, 7, Heft 7: 306-318, Kassel.
- MIEMIETZ, E. 1972: Ingenieurgeologische Beurteilung von Subrosionserscheinungen im Bereich des Stassfurt - Egelner Sattels. - Z. Angew. Geol., 18/12: 580-588, Berlin (Ost).
- MILDE, G. & FORKMANN, B. 1970: Grundwassererkundung und Geophysik - Stand und Aufgaben gemeinsamer Arbeit. - Z. angew. Geol., 16: 201-206, Berlin.
- MIXIUS, F.K. 1940: Das hessische Grabengebiet im Süden der Sollingscholle. - Geotekt. Forsch., 5: 60-123, Berlin.
- MÜLLER, K. 1979: Detailaufnahme, Darstellung und Interpretation der Geomorphologie des Gebietes an der unteren Berka. - 1-99, Berlin (Zulassungsarb., unveröff.).
- MÜLLER, K. 1982: Geomorphologische Detailaufnahme und Interpretation des Meißners und seines östlichen Vorlandes. - 1-104, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).

- MÜLLER, K. 1985: Darstellung von Subrosionsphänomenen in Nordhessen. - 1-6, Berlin (Manuskript, Vortrag Geographentag 1985, unveröff.).
- MÜLLER, K. 1986: Konsequenzen für die Landnutzung im östlichen Meißnervorland - Ergebnisse geomorphologischer Forschung -. - In: Der Hessische Minister für Landwirtschaft und Forsten 1986: Zwischen Entwicklung und Bewahrung - Der ländliche Raum im Jahr 2000: 73-75, Wiesbaden.
- MÜLLER, K. & STABLEIN, G. 1982: Struktur- und Prozeßbereiche der GMK 25 am Beispiel des Meißners (Nordhessen). - Berliner Geogr. Abh., 35: 73-85, Berlin.
- MÜLLER, K. & STABLEIN, G. 1986: Die geomorphologische Karte 1:25 000 Blatt 17, 4725 Bad Sooden-Allendorf - Erkenntnisse und Anwendungen. - Berliner Geogr. Abh., 41: 227-255, Berlin.
- MOESTA, A.F. 1867: Geologische Schilderung der Gegend zwischen dem Meißner und dem Hirschberge in Hessen mit besonderer Berücksichtigung der daselbst auftretenden basaltischen und tertiären Bildungen nebst einer geol. Karte und einem Blatte mit Gebirgsprofilen. - Inaug.-Diss., 1-40, Marburg.
- MOESTA, F. 1876(d): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. - Gradabteilung 55, No. 51: Blatt Lichtenau. - 1-23, Berlin.
- MOESTA, F. 1876(e): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten. - Gradabteilung 55, No. 52: Blatt Waldkappel. - 1-24, Berlin.
- MOESTA, F. 1876(f): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten. - Gradabteilung 55, No. 53: Blatt Eschwege. - 1-24, Berlin.
- MORAWETZ, S. 1970: Zur Frage der Dolinenentstehung. - Z. Geomorph., N.F., 14: 318-328, Berlin, Stuttgart.
- MORTENSEN 1930: Einige Oberflächenformen in Chile und auf Spitzbergen im Rahmen einer vergleichenden Morphologie der Klimazonen. - Pet.Mitt., Ergh., 209, Gotha.
- MORTENSEN, H. 1947: Alternierende Abtragung. - Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., Jg. 1947: 27-30, Göttingen.
- MORTENSEN, H. 1949: Rumpffläche - Stufenlandschaft - alternierende Abtragung. - Pet. geogr. Mitt., 93: 1-14, Gotha.
- MORTENSEN, H. 1953: Neues zum Problem der Schichtstufenlandschaft. - Nachr. d. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., Jg. 1953: 3-22, Göttingen.
- MORTENSEN, H. 1963: Hangformung in der näheren und weiteren Umgebung von Göttingen. - Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, II. Math.-Phys. Kl., 1963, 19: 279-287, Göttingen.
- MOTZKA, R. 1968: Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Bl. 5324 Hühnfeld. - 1-156, Wiesbaden.
- MOTZKA, R. & LAEMMLEN, M. 1966: Geol. Kte. Hessen 1:25 000, Bl. 5224 Eiterfeld. - Wiesbaden.
- MOLLER, B. 1984: Geologische Kartierung westlich Eitmannshausen (Eschwege). - 1-30, Berlin (Dipl.-Kart., unveröff.).
- MOLLER, K.H., PRINZ, H. & THEWS, J.D. 1975: Ursachen und Folgeerscheinungen von Kalksteinkorrision in Hofheim am Taunus. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 103: 339-348, Wiesbaden.
- MURAWSKI, H. 1951: Zusammenhänge zwischen Basaltvulkanismus und Tektonik in Niedersachsen. - Geol. Rdsch., 39: 114-119, Stuttgart.
- MURAWSKI, H. 1956: Die tertiären Basaltvorkommen in der Umgebung von Göttingen. Wert und Ausmaß ihrer geologischen Aussage. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1956, 1: 1-31, Stuttgart.
- MURAWSKI, H. 1960: Das Zeitproblem bei der Tektogenese eines Großgrabensystems. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 88: 294-342, Wiesbaden.
- MURAWSKI, H. 1960: Einige Bemerkungen zur Frage der Regressionssedimente des oberoligozänen Meeres im Nordteil der Hessischen Senke. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1960: 220-227, Stuttgart.
- NAGEL, U. & WUNDERLICH, H.G. 1968: Geologisches Blockbild der Umgebung von Göttingen. - Geol. Jb., 86: 5-48, Hannover.
- NAUMANN, E. 1907: Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. - Gradabteilung 55, No. 54: Blatt Treffurt. - 1-64, Berlin.
- NEUNHOEFER, H. & WEIDERMANN, V. 1981: Seismische Überwachung von Bergbaugebieten, dargestellt am Beispiel der Mansfelder Mulde. - Veröff. d. Zentralinst. f. Phys. d. Erde, 64: 138-146, Potsdam.
- NIEBERDING, F. 1972: Geologische Untersuchungen am Süden des Leinetalgrabens (TK 4625 Witzenhäusen). - 1-56, Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- NIEDERMAYER, J. 1957: Beitrag zur Geologie des Salzstockes von Lüneburg unter besonderer Berücksichtigung der Senkungserscheinungen. - Geol. Jb., 74: 211-224, Hannover.
- NIEDERMAYER, J. 1973: Einfluß des Klimaablaufs auf die Erdfallbildung an norddeutschen Salzstöcken. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T1, C: 1-3, Essen.
- NÖLL, T. 1973: Die Geologie im Bereich des nördlichen Teiles des Altmorschen-Lichtenauer Grabens bei Trubenhagen (TK 4725 Bad Sooden-Allendorf und 4724 Großalmerode). - 1-76, Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- PASSARGE, S. 1929: Die Vorzeitformen der deutschen Mittelgebirgslandschaften. - Pet. Mitt., 65: 41-46, Gotha.
- PAVUZA, R. & TRAINDL, H. 1984: Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs im Maßstab 1:50 000. - Blatt 70 - Waidhofen Ybbs: 1-56, Wien.
- PENCK, W. 1924: Die morphologische Analyse. - Stuttgart.

- PENNDORF, H. 1936: Beitrag zur Stratigraphie und Tektonik des Kasseler Beckens. - Festschr. 100-jähr. Besteh. Ver. Naturkde. Kassel: 156-176, Kassel.
- PETRASCHEK, W.E. 1931(a): Tektonische Studien im nördlichen Solling und am Südrand des Elfas. - Abh. Preuß. Geol. L.-A., N.F. 128: 129-147, Berlin.
- PETRASCHEK, W.E. 1931(b): Entstehungsarten saxonischer Gräben. - Z. dt. geol. Ges., 83: 421-431, Berlin.
- PFEFFER, K.-H. 1978: Karstmorphologie. - 1-128, Darmstadt.
- PFEFFER, K.-H. 1984(a): Einführung in die Hydrologie der verkarsteten Regionen des Rheinischen Schiefergebirges. - Kölner Geogr. Arb., 45: 399-414, Köln.
- PFEFFER, K.-H. 1984(b): Zur Geomorphologie der Karstgebiete im Rheinischen Schiefergebirge. - Kölner Geogr. Arb., 45: 247-291, Köln.
- PFEFFER, K.-H. (Hg.) 1986(a): UIS - Union Internationale der Speleologie, International Atlas of Karst Phenomena. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 59: 1-85, Berlin, Stuttgart.
- PFEFFER, K.-H. 1986(b): Das Karstgebiet der nördlichen Frankenalb zwischen Pegnitz und Vils. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 59: 67-85, Berlin, Stuttgart.
- PFEIFFER, D. (Hg.) 1965-1968: Bibliographie zur Karst- und Höhlenkunde in Deutschland für das Jahr 1963-1966. - Kleine Schriften zur Karst- und Höhlenkunde 5-8, München.
- PFEIFFER, D. & HAHN, J. 1972: Karst of Germany. - In: HERAK & STRINGFIELD: Karst; Important Karst Regions of the Northern Hemisphere: 189-223, Amsterdam.
- PFEIFFER, S. 1970: Gesamterfassung des Südharzer Gipskarstes. - Die Mooskammer - Höhlenforscher, 2: 29, Dresden.
- PFEIFFER, S. 1974: Bisherige Ergebnisse der Gipskarstkartierung in der Mooskammer. - Fundgrube, 11/1-2: 17-29, Berlin (Ost).
- PFLANZL, G. 1952: Die Geologie des Meißners in Hessen. - 1-283, Marburg (Diss., unveröff.).
- PFLANZL, G. 1966: Das Alter der Braunkohlen des Meißners, der Flöze 2 u. 3 des Hirschberges und eines benachbarten Kohlenlagers bei Laudenbach. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 84: 232-244, Wiesbaden.
- PFLUG, E. 1985: Karst und Höhlen im Fulda-Werra-Bergland. - Karst und Höhle 1984/85: 145-154, München.
- PFLUG, H.D. 1966: Stratigraphische Einordnung weiterer hessischer und außerhessischer Tertiär-Vorkommen. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1966, 12: 736-744, Stuttgart.
- PHILIPPI, 1910: Ober die präoligozäne Landoberfläche in Thüringen. - Z. dt. geol. Ges., 62: 305-404, Berlin.
- PLAUMANN, S. & LEPPER, J. 1979: Gravimetrische Untersuchungen an Erdfällen im Reinhardswald und Solting. - Geol. Jb. Hessen, 107: 251-259, Wiesbaden.
- PLEIN, E. 1952: Der Bau des niederhessischen Berglandes im Raum Großalmerode. - 1-69, Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- POSER, H. 1933: Die Oberflächengestaltung des Meißnergebietes. - Jb. Geogr. Ges. Hann., 1932/1933: 121-176, Hannover.
- POSER, H. & BROCHU, M. 1954: Zur Frage des Vorkommens pleistozäner Glazialformen am Meißner. - Abh. Braunschw. Wiss. Ges., VI: 111-125, Braunschweig.
- POSER, H. & SCHUNKE, E. 1974: Geomorphologische Beschreibung. - In: HOFMANN, W. & LOUIS, H. (Hg.) 1974: Landformen im Karstbild. Topographisch-Geomorphologische Kartenproben 1:25 000. Gruppe III: Mittelgebirge, Kartenprobe 3: Schichtstufe mit Zeugenberg im Muschelkalk bei Waake, östlich Göttingen: 3-12, Braunschweig.
- PREUL, F. 1968: Die Subrosion am Salzstock von Salzgitter-Lebensstedt. - Geol. Jb., 85: 809-816, Hannover.
- PRIESNITZ, K. 1969(a): Ober die Vergleichbarkeit von Lösungsformen auf Chlorid-, Sulfat- und Karbonatgestein. - Überlegungen zu Fragen der Nomenklatur und Methodik der Karstmorphologie. - Geol. Rdschau., 58: 427-438, Stuttgart.
- PRIESNITZ, K. 1969(b): Kurze Übersicht über den Karstformenschatz des südwestlichen Harzrandes. - Jh. Karst- und Höhlenkunde, 9: 11-23, München.
- PRIESNITZ, K. 1970: Karstmorphologische Untersuchungen im Niedersächsischen Bergland. - Math.-Nat. Diss. Univ. Göttingen: 1-188, Göttingen.
- PRIESNITZ, K. 1972: Formen, Prozesse und Faktoren der Verkarstung und Mineralumbildung im Ausstrich salinärer Serien (am Beispiel des Zechsteins am südlichen Harzrand). - Göttinger Geogr. Abh. 60: 317-339, Göttingen.
- PRIESNITZ, K. 1974(a): Beobachtungen an einem bemerkenswerten rezenten Erdfall bei Göttingen. - Neues Arch. Niedersachsen, 23,4: 387-397, Göttingen.
- PRIESNITZ, K. 1974(b): Lösungsraten und ihre geomorphologische Relevanz. - Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., 29: 68-85, Göttingen.
- PRINZ, H. 1969: Ursachen und Folgeerscheinungen von Lösungs- und Subrosion im Straßen- und Kanalbau. - Tiefbau, 7: 609-611, Gütersloh.

- PRINZ, H. 1970: Fossile Einbruchschlote im Mittleren Buntsandstein der Vorderrhön, entstanden durch Auslaugung von Salzgestein im tiefen Zechsteinuntergrund. - Rock Mechanics, Subl., 1: 35-42, Wien.
- PRINZ, H. 1973(a): Gründung eines Bauwerkes in einer Korrosionssenke im Zechsteinsulfat. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T4, C: 1-4, Essen.
- PRINZ, H. 1973(b): Zur Entstehung von Einbruchsschlotten und Korrosionskesseln über tiefem Salinkarst. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T2, D: 1-6, Essen.
- PRINZ, H. et al. 1973: Verbreitung von Erdfällen in der Bundesrepublik Deutschland mit einer Übersichtskarte 1:1 000 000 (Vorläufige Ausgabe). - 1-36, Hannover (BGR).
- PRINZ, H. 1979: Ingenieurgeologische Probleme an der DB-Neubaustrecke Hannover - Würzburg in Osthessen. - Ber. 2. Nat. Tag. Ingenieurgeol., Fellbach: 93-101, Essen.
- PRINZ, H. 1980: Erscheinungsformen des tiefen Salinkarstes an der Trasse der DB-Neubaustrecke Hannover - Würzburg in Osthessen. - Rock Mechanics, Suppl., 10: 23-33, Wien.
- PRINZ, H. 1982: Abriß der Ingenieurgeologie. - 1-419, Stuttgart.
- QUADFLIEG, A. & SCHAFT, A. 1984: Kalkaggressive Kohlensäure in Grundwässern aus dem Buntsandstein Osthessens. - Geol. Jb. Hessen, 112: 165-178, Wiesbaden.
- QUERVAIN, F. de 1967<sup>2</sup>: Technische Gesteinskunde. - 1-261, Basel.
- RAMBOW, D. 1977: Grenzen der Grundwassernutzung in Nordhessen. - Z. dt. geol. Ges., 128: 297-304, Hannover.
- RAMBOW, D. 1981: Hydrogeologie. - Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Blatt 4723 Oberkaufungen: 132-146, Wiesbaden.
- RAMDOHR, P. 1920: Ober die Basalte der Blauen Kuppe bei Eschwege und benachbarte Vorkommen und ihren Cristoboliten. - Centralblatt für Mineralogie 1920: 33-36, Stuttgart.
- RATHJENS, C. 1954: Karsterscheinungen in der klimatischmorphologischen Vertikalgliederung des Gebirges. - Erde. Bd. VIII, 1-170,
- RAUSCH, M. 1977: Fluß-, Schmelzwasser- und Solifluktuationsablagerungen im Terrassengebiet der Leine und der Innerste - ein Beitrag zur pleistozänen Flußgeschichte Südniedersachsens. - Mitt. Geol. Inst. Techn. Univ. Hannover, 14: 1-84, Hannover.
- REIFF, W. 1973: Beispiele von Bauschäden und konstruktiven Maßnahmen beim Bauen in Erdfallgebieten Südwestdeutschlands. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, T4, K: 1-7, Essen.
- REINBOTH, F. 1974: Untersuchungen zum Problem der Höhlenbildung im Gips. - Mitt. Verb. dt. Höhlen - Karstforsch., 20/2: 25-34, München.
- REINBOTH, F. 1985: Aus der Geschichte der Kammerbacher Höhle. - Karst und Höhle 1984/85: 171-175, München.
- REUTER, F. 1963: Zur Klassifizierung von Karsterscheinungen für ingenieurgeologische Zwecke. - Z. angew. Geologie, 9: 25-27, Berlin.
- REUTER, F. 1964: Geländesenkungen und Bauwerksschäden in Auslaugungsgebieten. - Z. angew. Geol., 10: 143-147, Berlin.
- REUTER, F. 1965: Zu Fragen des Karstphänomens. - Z. angew. Geol., 11: 202-205, Berlin.
- REUTER, F. 1968: Ein Beitrag zur Klassifizierung von Karsterscheinungen in Salz- und Gipsgebieten. - Int. Congr. f. Höhlenkde, 3: 205-211, Ljubljana.
- REUTER, F. 1973: Bemerkungen zu Senkungs- und Erdfallerscheinungen in Salzkarstgebieten der DDR. - Act. 6. Congr. intern. Speleologie, 1/2: 347-352, Olmouc (CSSR).
- REUTER, F. & KOCKERT, W. 1971: Zu einigen Fragen des Karstproblems. - Z. f. angew. Geol., 17: 343-346, Berlin.
- REUTER, F. & R. 1962: Ingenieurgeologische Beurteilung und Klassifikation von Auslaugungserscheinungen (Hinweise für das Bauen in auslaugungsgefährdeten Gebieten). - Freiburger Forschungsh., C 127 Ingenieurgeologie: 1-47, Berlin.
- REUTER, R. & MOLEK, H. 1969: Große Erdfälle und Tagesbrüche im Salz und Gipskarst. - Fundgrube, 5: 59-66, Berlin.
- REUTER, F., MOLEK, H. & MEIER, G. 1971: Beziehungen zwischen Gebirgsfestigkeit und Karsterscheinungen im Salzkarst der DDR. - Neue Bergbautechnik, 1: 14-19, Berlin.
- RICHTER, G. 1940: Palaeogeographische und tektonische Stellung des Kirchdorfer Gebirges im Hessischen Raum. - Jb. des Reichsamtes f. Bodenforsch., 61: 283-332, Berlin.
- RICHTER, G. 1941/42: Zur vergleichenden Stratigraphie des Zechsteins in Mitteldeutschland. - Kali, Verwandte Salze u. Erdöl, 35 u. 36: 193-197 u. 4-12, Halle.
- RICHTER, G. 1942: Das Oberleiten von Variscischer zur Saxonischer Tektonik am nordwestlichen Thüringer Walde. - Geol. Rdsch., 33, H. I: 20-31, Stuttgart.
- RICHTER-BERNBURG, G. 1953: Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. - Z. dt. geol. Ges., 105: 843-854, Berlin.
- RICHTER-BERNBURG, G. 1955: Der Zechstein zwischen Harz und Rheinischem Schiefergebirge. - Z. dt. geol. Ges., 107: 876-899, Hannover.
- RICHTER-BERNBURG, G. 1977: "Saxonische Tektonik", HANS STILLES Begriff in heutiger Sicht. - Z. dt. geol. Ges., 128: 11-23, Hannover.
- RICHTER-BERNBURG, G. 1985: Zechstein - Anhydrite - Fazies und Genese. - Geol. Jb., A 85: 3-82, Hannover.



- RICHTER, W.U.A. 1968: Ein Rückblick auf 20 Jahre hydrogeologische Arbeiten des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung. - Geol. Jb., 85: 817-840, Hannover.
- RICKEN, W. 1980: Quartäre fluviatile und äolische Sedimentation am Südwest-Harz und ihre Beeinflussung durch die Subrosion. - 1-138, Göttingen (Dipl.-Arb. unveröff.)
- RICKEN, W. 1982: Quartäre Klimaphasen und Subrosion als Faktoren der Bildung von Kies-Terrassen im südwestlichen Harzvorland. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 32: 109-136, Hannover.
- RITZKOWSKI, S. 1965: Das marine Oligozän im nördlichen Hessen. - Stratigraphie und Paläogeographie. - Diss.: 1-194, Marburg.
- RITZKOWSKI, S. 1978: Geologie des Unterwerra-Sattels und seiner Randstrukturen zwischen Eschwege und Witzenhausen (Nordhessen). - Der Aufschluß, Sonderh. 28: 187-204, Heidelberg.
- RITZKOWSKI, S., RÜSING, F., BOHMANN, D. & WALTHER, M. 1977: Exkursion K: Tertiär Nordhessen. - Göttingen: Exkursionsführer Geotagung 1977, 2: 63-111, Göttingen.
- RÜSING, F. 1953: Eine präoligozäne Doline im Unteren Muschelkalk des oberen Ahnetales bei Kassel. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 81: 195-198, Wiesbaden.
- RÜSING, F. 1956(a): Das prätauffitische Relief im Tertiär des Habichtswaldes und seiner Umgebung. - Z. dt. geol. Ges., 108: 267-268, Hannover.
- RÜSING, F. 1956(b): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Bl. 4622 Kassel West. - 1-205, Wiesbaden.
- RÜSING, F. 1966: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Bl. 4621 Wolfhagen. - 1-246, Wiesbaden.
- RÜSING, F. 1971: Zur Geologie der Langen Berge und ihrer Randgebiete südwestlich Kassel. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 99: 240-245, Wiesbaden.
- ROHDENBURG, H. 1968: Zur Deutung der quartären Taleintiefung in Mitteleuropa. - Die Erde, 99: 207-304, Berlin.
- ROHDENBURG, H. & MEYER, B. 1963: Rezente Mikroformung in Kalkgebieten durch inneren Abtrag und die Rolle der periglazialen Gesteinsverwitterung. - Z. Geomorph., N.F., 7: 120-146, Berlin, Stuttgart.
- ROTH, H. 1971: Einführung in die Geologie der hessischen Salzlagerstätten, insbesondere Neuhof-Ellers. - Beitr. Naturkde. Osthessen, 4: 27-37, Fulda.
- ROTH, H. 1973: Geologische Exkursion in das Zechstein-Salinar von Neuhof bei Fulda. - In: MURAWSKI, H. (Hg.) 1973: Exkursionsführer geowiss. Tagung 1973. - 115-125, Frankfurt/Main.
- RUTTE, E. 1962/63: Karst- und Oberdeckungsbildungen im Gebiet von Kelheim-Donau. - Quartär, 14: 69-80, Bonn.
- SAMML. GEOL. FOHRER, BERLIN: 1982: Die Geologischen Einheiten des Harzvorlandes. - 70: 21-58, Stuttgart.
- SANDER, B. 1912: R. Lachmann. Beiträge zur Plastizitätsfrage (Diskussion des Beitrages LACHMANN, R. 1912(c)). - Verh. der. k. k.geol. Reichsanstalt, 17/18: 412-414, Wien.
- SEEDORF, H.H. 1955: Reliefbildung durch Gips und Salz im Niedersächsischen Bergland. - Schr. wirtschaftswiss. Ges. Stud. Niedersachsens, N.F., 56: 1-109, Bremen-Horn.
- SEIDEL, E. 1925: Kerbwirkung in Technik und Wissenschaft; Kerbwirkung in der Geologie. - Z. dt. geol. Ges., 77: 300-347, Berlin.
- SEIDEL, G. 1960: Zur Gliederung des Hauptanhydrits im Thüringer Becken. - Z. angew. Geol., 6,8: 383-385, Berlin.
- SEIDEL, G., WIEFEL, J. 1981: Zur Ausbildung des Zechsteins und Buntsandsteins im Gebiet von Gera. - Z. geol. Wiss., 9: 479-488, Berlin.
- SEMMEL, A. 1968: Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. - Frankfurter geogr. H., 45: 1-138, Frankfurt/M.
- SEMMEL, A. 1972: Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland. - Geogr. Zeitschr., Beihefte Erdkundliches Wissen, 30: 1-149, Wiesbaden.
- SEMMEL, A. 1973: Geomorphologische Fragen im Kasseler Raum. - Marburger Geogr. Schriften, 60: 23-36, Marburg.
- SEMMEL, A. 1984: Geomorphologische Kriterien für junge Krustenbewegungen in Mittelgebirgen. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 50: 79-90, Berlin, Stuttgart.
- SEMMEL, A. 1986: Angewandte konventionelle Geomorphologie, Beispiele aus Mitteleuropa und Afrika. - Frankfurter geowiss. Arb., D, 6: 1-114, Frankfurt a.M..
- SIEGERT, L. 1912: Ober die Entwicklung des Wesertales. - Z. d. Dt. Geol. Ges. 64: 233-264, Hannover.
- SIEGERT, L. 1921: Ober Salzauslaugung, Tektonik und Oberflächenformen zwischen Westharz und Vogelsberg-Rhön. - Abh. Preuss. Geol. L.-A., N.F. 90: 1-132, Berlin.
- SIMON, T. 1980: Erdfälle im Muschelkarst der westlichen Hohenloher Ebene zwischen Kocher und Jagst. - Geol. Jb., A 56: 45-75, Hannover.
- SOBOTH, E. 1932: Ober Salzauslaugung, Tektonik und Oberflächenformen zwischen Westharz und Vogelsberg-Rhön. - Z. dt. geol. Ges., 84: 725-732, Berlin.
- SOBOTH, E. 1933: Eine morphologische Karte des nordwestlichen Eichsfeldes. - Z. Geomorph., 7: 295-298, Leipzig.
- SOERGEL, W. 1927: Zur Entwicklung des Werra-Weser und des Ihm-Saale-Systems. - Geol. Rdsch., 18, 2: 103-120, Hannover.

- SPIERLING, P. 1985: Hydrogeologische und hydrometrische Untersuchungen zum Grundwasserhaushalt in einem Buntsandsteingebiet des südlichen Meißner-Vorlandes (Nordhessen). - 1-97, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- SPILKER, M. & SCHWARZKOPF, H. 1971: Exkursion A. Beispiele für Subrosionserscheinungen im Zechstein-ausstrich am südöstlichen Harzrand. - In: Kurzfref. Exkursionsführer. Hydrogeol. Probl. Zechstein DDR: 11-25, Halle. (Berlin, dt. Ges. Geol. Wiss.)
- SPÜCKER, R.G. 1948: Grundzüge der Karstkunde. - Mitt. d. dt. Ges. f. Karstforsch., 3: 1-19, Nürnberg.
- SUDERLAU, G. 1977: Möglichkeiten zur Bestimmung der natürlichen Senkungsraten in bergbaubeeinflussten Senkungsgebieten. - Hallesches Jb. Geowiss., 2: 55-71, Halle-Wittenberg.
- SUDERLAU, G., BRENDEL, K., KAMMERER, F. & F. & SCHOOF, H. 1972: 15 Jahre Senkungsmessungen in der Mansfelder Mulde und ihre Bedeutung für den vorbeugenden Katastrophenschutz. - Ber. dt. Ges. geol. Wiss. Reihe A, Geol. u. Paläont., 17: 289-299, Berlin.
- SUDERLAU, G., CZWAK, H.P. & RUHS, W. 1982: Erkennen, Bewerten und Behandeln subrosionsbedingter Bau-schäden. - Z. f. geol. Wiss. Mtl., 10/9: 1241-1252, Berlin (Ost).
- SWEETING, M.M. & GERSTENHAUER, A. 1960: Zur Frage der absoluten Geschwindigkeit der Kalkkorrosion in verschiedenen Klimaten. - Z. Geomorph., Suppl.- Bd. 2: 66-73, Berlin.
- SCHADE, H. 1984: Bergbauliche Lagerstätten im Bereich des Blattes 4925 Sontra. - Geol. Jb. Hessen, 112: 165-178, Wiesbaden.
- SCHÄLICHE, W. 1972: Die Bedeutung der Unterscheidung von verwitterten, verstützten Gipskeuper-Mergeln und Fließerden aus Keupermaterial für die Gründung von Bauwerken. - Geol. Mitt., 12: 19-28, Aachen.
- SCHALOW, G. 1978: Geologie zwischen Hilgershausen und Frankershausen auf der Südwestflanke des Unterwerra-Sattels (TK 4725, Blatt Bad Sooden-Allendorf, Nordhessen). - 1-177, Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- SCHAPFF, H.J. 1976: Hydrogeologie. - Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Blatt 5618 Friedberg: 115-150, Wiesbaden.
- SCHUECH, J. 1971: Anwendung der Flachseismik in der Karstmorphologie, ein Beispiel aus der Schabischen Alb. - Z. Geomorph., N.F., Suppl.- Bd. 12: 153-164, Berlin, Stuttgart.
- SCHILDER, C. & SCHWANDT, A. 1983: Zur Tektonik und Auslaugung in Kali- und Steinsalzabbaugebieten. - Z. geol. Wiss., 11: 1023-1033, Berlin.
- SCHMITTHENNER, H. 1956: Probleme der Schichtstufenlandschaft. - Marburger Geogr. Schr., 3: 1-87, Marburg.
- SCHNEIDER, H. 1975: Subrosionssenken im nordwestfälischen Bergland. - Münstersche Forsch. Geol. Paläont., 35: 71-88, Münster.
- SCHNEIDER, H.-E. 1972: Ausbildung des mittleren Quartärs und Sedimentationsablauf in der Auslaugungs-senke Horschmitt. - Geologie, 21 (3): 288-295, Berlin.
- SCHÖNHALS, E. 1957: Spätglaziale äolische Ablagerungen in einigen Mittelgebirgen Hessens. - Eiszeit-alter und Gegenwart, 8: 5-17, Ohringen.
- SCHÖNHALS, E. 1959: Klima, äolische Sedimentation und Bodenbildung während der Eiszeit in Hessen. - Z. dt. geol. Ges., 111: 251-253, Hannover.
- SCHRIEL, W. 1922: Junge und alte Tektonik am Kyffhäuser und Südharz.- Abh. Preuss. Geol. L.A., N.F., 93: Berlin.
- SCHRÖDER, B. 1969: Zur Morphogenese im Ostteil der Süddeutschen Scholle. - Geol. Rdsch., 58: 10-32, Stuttgart.
- SCHRÖDER, E. 1925: Tektonische Studien an niederhessischen Gräben. - Abh. preuß. geol. L.A., N.F., 95: 57-82, Berlin.
- SCHUBART, W. 1953: Zur Stratigraphie, Tektonik und den Lagerstätten der Witzenhäuser Grauwacke. - 1-95, Göttingen (Diss., unveröff.)
- SCHUBART, W. 1955: Zur Stratigraphie, Tektonik und den Lagerstätten der Witzenhäuser Grauwacke. - Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 10: 1-67, Wiesbaden.
- SCHULZ, K.H. 1981: Die Geologie des südöstlichen Teils des Blattes (Nr. 4725) Bad Sooden-Allendorf (nördliches Hessen, Unterwerra-Sattel) und eine mikrofazielle Analyse des Zechsteinkalks (CA 1). - 1-129, Göttingen (Dipl.-Arb. unveröff.)
- SCHULZE, H. 1977: Geologische Untersuchungen im Zentrum des Unterwerra-Sattels unter besonderer Berücksichtigung der Tektonik und der Petrographie der Werra-Grauwacke. - Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- SCHUMACHER, C. 1985: Die Kupfervererzungen des basalen Zechsteins im Rahmen der sedimentären Ent-wicklung des Werra-Fulda-Beckens. - 1-142, Berlin (Diss., unveröff.).
- SCHUNKE, E. 1968: Die Schichtstufenhänge im Leine-Weser-Bergland in Abhängigkeit von geologischem Bau und Klima. - Göttinger geogr. Abh., 43: 1-219, Göttingen.
- SCHUNKE, E. & SPÖNEMANN, J. 1972: Schichtstufen und Schichtkämme in Mitteleuropa. - Göttinger geogr. Abh., 60: 65-92, Göttingen.
- SCHUSTER, A. 1971: Das Bramsche Massiv. Die westlich und südwestliche Umrandung der Ibbenbürener Karbonscholle. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 293-352, Krefeld.

- SCHWARZ, F. 1932: Zur Tektonik und Morphologie Niederhessens. - Z. dt. geol. Ges., 84: 513-537, Berlin.
- SCHWARZ, F. 1932: Stratigraphie der Tertiärrelikte des Kaufunger Waldes. - Centralblatt f. Min., Geol. u. Paläont., Jg. 1932, B: 91-100, Stuttgart.
- SCHWARZ, F. 1933: Stratigraphische und tektonische Auswertung von Tertiäraufschlüssen zwischen der Söhre und den Langenbergen in Niederhessen. - Centralblatt f. Min., Geol. u. Paläont., Jg. 1933, B: 401-411, Stuttgart.
- SCHWARZ, F. 1943: Pliozän und junge Hebung im Unterlauf der Fulda. - Z. Geomorph., 11: 231-236, Berlin.
- STABLEIN, G. 1968: Reliefgenerationen der Vorderpfalz. - Würzburger Geographische Arbeiten, 23: 1-180, Würzburg.
- STABLEIN, G. 1986: Zechstein Leaching and Karst Landforms in the Werra-Meißner-Area / Northern Hesse. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.- Bd. 59: 49-65, Berlin, Stuttgart.
- STABLEIN, G. & MÜLLER, K. 1986: Subrosionsformen im Bereich des Meißners in Nordhessen. - Geol. Jb. Hessen, 114: 295-310, Wiesbaden.
- STEINBRECHER, B. 1959: Die Subrosion des Zechsteingebirges im östlichen und nordöstlichen Harzvorland unter besonderer Berücksichtigung der Edderitzer Mulde. - Geologie, 8 (5): 489-522, Berlin.
- STEINBRECHER, B. 1960: Ober Salzablaugung und Gipsauslaugung. - Geologie, 9: 321-324, Berlin.
- STEINHAUSEN, 1964: Senkungsgebiete und Erdfälle in der Gemarkung Weißenbach. - 1-9, Wiesbaden (Gutachten, unveröff.).
- STEINMÖLLER, A. 1962: Fossile Karst- und Verwitterungserscheinungen im Unterharz. - Z. Geomorph., 6: 70-92, Berlin.
- STEINMÖLLER, A. 1965: Zusammenhänge zwischen Auslaugung, Lagerungs- und Oberflächenformen im thüringischen Eichsfeld. - Z. angew. Geol., 11: 90-95, Berlin.
- STILLE, H. 1922: Übersichtskarte der saxonischen Gebirgsbildung zwischen Vogelsberg-Rhön und der norddeutschen Tiefebene. - Berlin.
- STILLE, H. 1923/25: Rhein. Gebirgsbildung im Christianiagebiet und in Westdeutschland. - Die saxonischen Brüche. - Göttinger Beiträge zur saxonischen Tektonik. - Abh. Preuss. Geol. L.A., N.F., 95, Berlin.
- STILLE, H. 1930: Das Einsetzen der "saxonischen" Richtungen im Westdeutschen Paläozoikum. - Abh. Preuss. Geol. L.A., N.F., 116: 38-74, Berlin.
- STILLE, H. & LOTZE, F. 1933: Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der Umgebung von Göttingen (Hochschullexkurskarte Nr. 3). - 1-67, Berlin.
- STOLL, R. & HARFF, J. 1977: Auswertung komplexgeophysikalischer Messungen im Senkungsgebieten mit Hilfe von Klassifizierungsmethoden. - Wiss.-techn. Informationsdienst, Zentr. geol. Inst., Sonderheft, 18/4: 179-188, Berlin.
- STOLL, R., SUDERLAU, G. & REY, F. 1976: Untersuchungen zum Nachweis von Zerrspalten im Senkungsgebieten mit geophysikalischen und bodenmechanischen Methoden. - Z. f. geol. Wiss., 4/8: 1149-1156, Berlin (Ost).
- STREIF, H. 1970: Limnologische Untersuchungen des Seeburger Sees (Untereichsfeld). - Geol. Jb., 83: 1-106, Hannover.
- STREITZ, B. 1980: Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen an zwei Mooren osthessischer Subrosionssenken. - Diss. TH Darmstadt: 1-158, Darmstadt.
- STRÜBEL, W. 1973: Der Grundgips im Raum Stuttgart als Modell der Gipsauslaugung und Bildung von Erdfällen. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen". Hannover, T1, G: 1-8, Essen.
- THEURER, G. 1983: Ursachen zunehmender Gesamtmineralisation in Wässern aus einzelnen Trinkwasserfassungsanlagen der Stadtwerke Eschwege. - 1-132, XXII S. Anhang, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- THEWS, J.-D. 1972: Zur Typologie der Grundwasserbeschaffenheit im Taunus- und Taunusvorland. - Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch. 63: 1-42, Wiesbaden.
- TINNES, A. 1928: Die Ältere Salzfolge Mitteldeutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Unstrutgebietes. - Arch. f. Lagerstättenforsch., 38: 1-55, Berlin.
- TOLLE-KRIEGER, J. 1941: Eschwege und seine Landschaft. - 1-87, Eschwege.
- TOUSSAINT, B. 1979: Der Ringgau, ein natürliches Groß-Lysimeter - dargestellt am Wasserhaushalt der Breitauer Kressenteichquelle unter besonderer Berücksichtigung der Karsthydrologie. - Geol. Jb., C 21: 99-135, Hannover.
- TRIMMEL, H. 1971: Internationale Bibliographie für Speleologie (Karst- und Höhlenkunde) Jahr 1960. - Wiss. Beih. Ztsch. "Die Höhle", 16: 1-132, Wien.
- TRIMMEL, H. 1978: Karstgefährdungskarten als Beitrag der Karstforschung zum Umweltschutz. - Wiss. Beih. Ztsch. "Die Höhle", 27: 5-22, Wien.
- TRUSHEIM, F. 1957: Ober Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschland. - Z. dt. geol. Ges., 109: 111-152, Hannover.
- TRUSHEIM, F. 1964: Über den Untergrund Frankens. Ergebnisse von Tiefbohrungen in Franken und Nachbargebieten 1953-1960. - Geologica Bavarica, 54: 1-92, München.

- TRUSHEIM, F. 1971: Zur Bildung der Salzlager im Rotliegenden und Mesozoikum Mitteleuropas. - Beih. geol. Jb., 112: 1-51, Hannover.
- UDLUFT, H. 1951: Gutachten über die Senkungerscheinungen und Erdfälle in der Gemeinde Weißenbach Kreis Witzzenhausen. - Wiesbaden (Gutachten, unveröff.).
- UDLUFT, H. & LANG, H.D. 1956: Der Untergrund der Niederhessischen Senke. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 84: 184-203, Wiesbaden.
- UTHEMANN, A. 1892: Die Braunkohlen-Lagerstätten am Meißner, am Hirschberg und am Stellberg mit besonderer Berücksichtigung der Durchbruchs und Contact- Einwirkungen, welche die Basalte auf die Braunkohlenflöze ausgeübt haben. - Abh. kgl. preuß. geol. L.A., N.F., 7: 1-54, Berlin.
- Verband Österreichischer Höhlenforscher (Hg.) 1978: Die Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs im Maßstab 1:50 000. - Wiss. Beih. Ztsch. "Die Höhle", 27: 1-112, Wien.
- VILLINGER, E. 1972: Seichter Karst und Tiefer Karst in der Schwäbischen Alb. - Geol. Jb., C 2: 153-188, Hannover.
- VLADI, F. 1976: Quartärgeologische Untersuchungen zu den Terrassen der Sieber am Südwestrande des Harzes. - 1-109, Hamburg (Dipl.- Arb. unveröff.).
- VOELKER, R. 1981: Die Hirschweghöhle bei Steigerthal und andere rezente Höhlenbildungen. - Fundgrube, 17/1: 27-28, Berlin (Ost).
- VOELKER, C. 1983: Die historischen Vorgänge bei der Entdeckung der Elisabethschächter Schlotte. - Fundgrube, 19/2: 45-50, Berlin (Ost).
- VOELKER, C. & VOELKER, R. 1983: Kenntnisstand über die im Sangerhäusener Revier bisher aufgefundenen Schloten. - Fundgrube, 19/2: 36-45, Berlin (Ost).
- WADEWITZ, S. 1974(a): Erdfallformen- und Volumenberechnung am Kartierungsbeispiel Mooskammer. - Fundgrube, 11/ 1-2: 23-34, Berlin (Ost).
- WADEWITZ, S. 1974(b): Erdfallformen und Volumenberechnung. - Z. angew. Geol., 20: 132-138, Berlin.
- WALTHER, M. 1978: Die Geologie des nördlichen Hohen Meißners. - Göttingen (Dipl.-Arb., unveröff.).
- WASSERBAUAMT 2 KASSEL 1927: Kanalisierung der Werra von Hann. Münden bis Eschwege. - Kassel.
- WEBER, H. 1923: Das Plateau von Gosse. - Centralbl. f. Min. Geol. u. Paläont.: 324-336, Stuttgart.
- WEBER, H. 1926: Die Oberflächenformen der Trambacher Schichten bei Eisenach. - Forsch. dt. Landes- u. Volkskde., 24: 63-124, Stuttgart.
- WEBER, H. 1929: Geomorphologische Studien in Westthüringen. - Forsch. dt. Landes- u. Volksk., 27, H.3: 267-474, Stuttgart.
- WEBER, H. 1930: Zur Systematik der Auslaugung. - Z. dt. geol. Ges., 82: 179-186, Berlin.
- WEBER, H. 1931: Das Plateau von Gosse in Thüringen, ein Auslaugungsgebiet. - Z. f. Geomorphologie VI, Berlin.
- WEBER, H. 1952: Pliozän und Auslaugung im Gebiet der oberen Werra. - Geologica, 8: 1-136, Berlin.
- WEBER, H. 1955: Zur Formenentwicklung der thüringischen Erdfälle. - Hallesches Jb. mitteldeutsch. Erdgesch., 2: 100-107, Halle/Saale.
- WEBER, H. 1958: Die Oberflächenformen des festen Landes. - 1-350, Leipzig.
- WEBER, H. 1963: Zum Begriff Salzspiegel. - Z. Geomorph. N.F., 7: 178-180, Berlin.
- WEBER, H. 1965: Bemerkungen zur Karstterminologie. - Hallesches Jb. f. Mitteldeutsche Erdgesch., 6: 9-17, Leipzig.
- WEDEPOHL, K.H. 1969: Die tertiären basaltischen Gesteine im nördlichen Hessen und südlichen Niedersachsen. - Der Aufschluß, Sonderbd. 17: 112-120, Heidelberg.
- WEDEPOHL, K.H. 1978: Der tertiäre basaltische Vulkanismus der Hessischen Senke nördlich des Vogelsberges. - Der Aufschluß, Sonderbd. 28: 156-167, Heidelberg.
- WEDEPOHL, K.D. 1982: K-Ar- Altersbestimmungen an basaltischen Vulkaniten der nördlichen Hessischen Senke und ihr Beitrag zur Diskussion der Magmengenese. - N. Jb. Miner. Abh., 144, 2: 172-196, Stuttgart.
- WEIDENBACH, F. 1953: Erdfälle in eiszeitlichen Beckentonen der Bodenseegegend. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 97: 379-390, Stuttgart.
- WEIDERMANN, V. 1980: Probleme der seismischen Überwachung. - Neue Bergbautechn., 10/6: 352-354, Leipzig.
- WEILAND, F. 1937/38: Morphologie des Kaufunger Waldes. - Jb. Nieders. Geol. Ver. Hann., 29, Sonderdruck: 1-89, Hildesheim.
- WEINBERG, H.J. 1981: Die erdgeschichtliche Entwicklung der Beiersteinsenke als Modell für die jung-quartäre Morphogenese im Gipskarstgebiet Hainholz/Beierstein (südwestliches Harzvorland). - Ber. naturhist. Ges. Hannover, 124: 67-112, Hannover.
- WEINBERG, H.J. 1983: Lagerungsverhältnisse und Karstmorphogenese des Zechsteins und Palynologie der quartären Deckschichten im Gipskarstgebiet Beierstein/südwestliches Harzvorland. - 1-120, Hamburg (Diss, unveröff.).
- WEISS, O. 1851: Über den Ursprung der Solquellen der Kurfürstlich Hessischen Saline Sooden bei Allendorf an der Werra. - Arch. Mineral., Geogn., Bergbau u. Hüttenk., 24: 303-331, Berlin.
- WEISSERMEL, W. 1930: Zur Geologie des Geiseltales bei Merseburg mit besonderer Berücksichtigung der Braunkohle. - Z. dt. geol. Ges., 82: 257-291, Berlin.

- WENZEL, H. 1931: Morphologie und Talgeschichte des niederhessischen Berglandes . - Z. f. Geomorph., 6: 129-173, Berlin.
- WENZENS, G. 1969: Morphologie des Sontraer Beckens. - Rhein-Mainische Forschungen, 68: 1-110, Frankfurt.
- WENZENS, G. 1985: Der Einfluß der Gips- und Salzauslaugung auf die Oberflächenformung im Sontraer Zechsteingebiet. - Karst und Höhle 1984/85: 155-165, München.
- WIEFEL, H. & WIEFEL, J. 1974: Zusammenhang zwischen Verkarstung und Travertinbildung im Gebiet von Weimar. - Abh. zent. geol. Inst., 21: 61-75, Berlin (Ost).
- WILHELM, O. 1937: Morphologische Untersuchungen am Nordrand der Niederhessischen Senke. - Jb. geogr. Ges. f. 1936 u. 1937: 77-165, Hannover.
- WIITIG, R. 1968: Stratigraphie und Tektonik des gefalteten Paläozoikums im Unterwerra-Sattel. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 96: 31-67, Wiesbaden.
- WITTIG, R. 1970: Rotliegend im Unterwerra-Sattel (Nordhessen). - Göttinger Arb. Geol. Paläont., 5: 125-144, Göttingen.
- WITTKÉ, W. 1973: Fallstudien und konstruktive Maßnahmen beim Bauen in Erdfallgebieten. - Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen", Hannover, G4: 1-9, Essen.
- WREDE, V. 1976: Der Karst im nördlichen Harzvorland. - Abh. Karst-Höhlenkde., A, 13: 1-25, Blaubeuren.
- WOLFF, P. 1982/83: Der Salzgehalt des Salzaches und die Entstehung von Erdfällen und Landsenkungen in der Gemarkung Witzenhausen-Wendershausen. - GHK, FB Int. Agrarwirtsch., FG Kulturtechnik u. Wasserw., Arb. u. Ber., 2: 1-9, Witzenhausen.
- WOLFF, P., INTLEKOFER, B. & LABENSKI, G. 1983: Zum Einfluß der Werraversalzung auf den Boden und das Grundwasser der ufernahen Bereiche im Raum Witzenhausen. - GHK, FB Int. Agrarwirtsch., FG Kulturtechnik und Wasserw., Arb. u. Ber., 3: 1-8, Witzenhausen.
- WOLFF, P. & INTLEKOFER, B. 1982/83: Der Einfluß der Werraversalzung auf den Boden der Uferzonen im Raum Witzenhausen. - GHK, FB Int. Agrarwirtsch., FG Kulturtechnik und Wasserw., Arb. u. Ber., 1: 1-8, Witzenhausen.
- WOYZECHOWSKI, S. 1984: Geologische Kartierung des Gebietes zwischen Oberhonne und Reichensachsen im Raum Eschwege (Werra-Meißner-Kreis). - 1-34, Berlin (Dipl.-Kart., unveröff.).
- WROZ, W. 1983: Die Werra - ein sterbender Fluß? - In: KONZEL, A. (Hg.) 1983: Witzenhausen und Umgebung - Beiträge zur Geschichte und Naturkunde. - Festschr. zum 100 jährigen Bestehen des Werratalvereins Witzenhausen 1883-1983. - Schriften des Werratalvereins, 7: 232-243, Witzenhausen.
- WOSTNER, L. 1964: Salzauslaugung und Tektonik im Zechstein des Werra-Kaligebietes nach Ergebnissen seismischer Messungen. - Z. angew. Geol., 10: 172-179, Berlin.
- WUNDERLICH, H.G. 1957: Tektogenese des Leinetalgrabens und seiner Randschollen. - Geol. Rdsch., 46: 372-413, Stuttgart.
- WUNDERLICH, H.G. 1968: Der Hohe Hagen - ein Basaltschlot im südniedersächsischen Bruchschollengebirge. - Der Aufschluß, Sonderbd., 17: 121-128, Heidelberg.
- WURSTER, P. 1965: Krustenbewegungen, Meeresspiegelschwankungen und Klimaänderungen der Deutschen Trias. - Geol. Rundschau, 54: 224-240, Stuttgart.
- WUTZIG, B. & FUNKE, D. 1981: Beobachtungen und Grabungsarbeiten an der Urbach-Doline im Südharz durch die Gruppe Höhlen- und Karstforschung Dresden. - Fundgrube, 17/2: 59-60, Berlin (Ost).
- WYCISK, P. 1977: Fazies und Environment der Becken- und Schwellensedimente des Mittleren Buntsandsteins (Rheinhardswald-Eschwege). - Nachr. dt. geol. Ges., 17: 64-65, Hannover.
- WYZISK, P. 1984: Faziesinterpretation eines kontinentalen Sedimentationstrogos (Mittlerer Buntsandstein / Hessische Senke). - Berl. geow. Abh., R. A, Bd. 54: 1-104, Berlin.
- YOUSSEFI, M. 1977: Geologie des Wellingeröder Plateaus bei Eschwege, Topographische Karte 1:25 000 4725 Bad Sooden-Allendorf und 4825 Waldkappel (Nordhessen). - 1-48, Berlin (Dipl.-Arb., unveröff.).
- ZEISE, O. 1904: Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. - Gradabteilung 55, No.47: Blatt Kella. - 1-21, Berlin.
- ZIEGENHARDT, W., DOLL, G. & JUMMRICH, M. 1976: Die geologischen Verhältnisse des eozän Braunkohlevorkommens von Colbe (Saale). - Jb. Geol., 7-8: 263-276, Berlin (Ost).
- ZÜTL, J.G. 1974: Karsthydrogeologie. - 1-284, Wien.

## 6.2 Kartenverzeichnis

### Geologische Karten

- BALDSZUHN-STRAKA, D., HARLING, J., HERRMANN, R. & KERSTEN, G. 1985: Geologische Karte des Meißners 1:25 000. - (Hg.) Institut für Geologie der Freien Universität Berlin.
- BOCKING, H., PRÜSCHOLDT & ZEISE, O. 1899/1900: Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 47 Blatt Kella, Berlin.
- FRANTZEN, W. 1905: Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 54 Blatt Treffurt, Berlin.
- KUPFAHL, H.G., LAEMMLEN, M. & PFLANZL, G. 1979: Geologische Karte des Meißner 1:25 000. - (Hg.) Hess. L.-Amt Bodenforsch., Wiesbaden.
- MOESTA, F. 1876 (a): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 51 Blatt Lichtenau, Berlin.
- MOESTA, F. 1876 (b): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 52 Blatt Waldkappel, Berlin.
- MOESTA, F. 1876 (c): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 53 Eschwege, Berlin.
- MOESTA, F. 1886 (a): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 35 Blatt Ermschwerd, Berlin.
- MOESTA, F. 1886 (b): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 40 Blatt Witzzenhausen, Berlin.
- MOESTA, F. 1886 (c): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 45 Grossalmerode, Berlin.
- MOESTA, F. 1886 (d): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000, Liefg. 23, Gradabteilung 55, No 46 Blatt Allendorf, Berlin.
- MOTZKA, R., HORN, M., HINTZE, C., JORDAN, H., LEPPER, J., REUTER, G., WALDECK, H. & DAHM, H. 1979: Geologische Übersichtskarte 1:200 000, Bl. CC 4718 Kassel. - Hg. Bundesanstalt f. Geowiss. u. Rohstoffe, Hannover.
- RÜSING, F. 1976: Geologische Übersichtskarte Hessen 1:300 000. - (Hg.) Hess. L.-Amt Bodenforsch., Wiesbaden.
- STILLE, H. & LOTZE, F. 1933: Geologische Übersichtskarte der Umgebung von Göttingen (Hochschulexkursionskarte Nr. 3) 1:100 000. - Hg. Preuß. geol. L.A., Berlin.

### Geomorphologische Karten

- GARLEFF, K., BRUNOTTE, E. & STINGL, H. 1985: Geomorphologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:100 000. - GMK 100 Blatt 5, C 4722 Kassel, Berlin.
- MÜLLER, K. & STÄBLEIN, G. 1984: Geomorphologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:25 000. - GMK 25 Blatt 17, 4725 Bad Sooden-Allendorf, Berlin.

### Topographische Karten

#### Hessisches Landesvermessungsamt Wiesbaden (Hg.)

- Topographische Karte 1:25 000 4624 Hedemünden, Ausgabe 1969, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:25 000 4625 Witzzenhausen, Ausgabe 1980, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:25 000 4724 Grossalmerode, Ausgabe 1980, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:25 000 4725 Bad Sooden-Allendorf, Ausgabe 1980, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:25 000 4726 Grebendorf, Ausgabe 1980, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:25 000 4824 Hessisch-Lichtenau, Ausgabe 1979, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:25 000 4825 Waldkappel, Ausgabe 1978, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:25 000 4826 Eschwege, Ausgabe 1978, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:25 000 4827 Treffurt, Ausgabe 1983, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:50 000 L 4724 Witzzenhausen, Ausgabe 1979, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:50 000 L 4726 Heiligenstadt, Ausgabe 1981, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:50 000 L 4924 Sontra, Ausgabe 1977, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:50 000 L 4926 Eschwege, Ausgabe 1977, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:100 000 C 4722 Kassel, Ausgabe 1976, Wiesbaden.
- Topographische Karte 1:100 000 C 5122 Bad Hersfeld, Ausgabe 1984, Wiesbaden.

Kurfürstenthum Hessen, Nachdruck des Hessischen Landesvermessungsamtes, Wiesbaden 1981.

Niveauekarte 1/25 000 No 17 Ermschwerd, Ausgabe 1857  
Niveauekarte 1/25 000 No 18 Witzenhausen, Ausgabe 1857  
Niveauekarte 1/25 000 No 24 Grossalmerode, Ausgabe 1857  
Niveauekarte 1/25 000 No 25 Allendorf, Ausgabe 1857  
Niveauekarte 1/25 000 No 26 Asbach, Ausgabe 1857  
Niveauekarte 1/25 000 No 33 Lichtenau, Ausgabe 1857  
Niveauekarte 1/25 000 No 34 Waldkappel, Ausgabe 1857  
Niveauekarte 1/25 000 No 35 Eschwege, Ausgabe 1857  
Niveauekarte 1/25 000 No 36 Treffurt, Ausgabe 1857

Schraffenkarte 1/50 000 No 7 Witzenhausen, Ausgabe 1852  
Schraffenkarte 1/50 000 No 8 Asbach, Ausgabe 1852  
Schraffenkarte 1/50 000 No 12 Sontra, Ausgabe 1852  
Schraffenkarte 1/50 000 No 13 Eschwege, Ausgabe 1854

### 6.3 Luftbildverzeichnis

Luftbilder zur stereoskopischen Auswertung, Bildmaßstab 1:12 000 - 1:15 000,

Hessisches Landesvermessungsamt Wiesbaden (Hg)

TK 25 4624 Hedemünden, 9 Reihen, flächendeckend.  
TK 25 4625 Witzenhausen, 6 Reihen, Bundesrepublik Deutschland flächendeckend.  
TK 25 4724 Grossalmerode, 9 Reihen, flächendeckend.  
TK 25 4725 Bad Sooden-Allendorf, 6 Reihen, flächendeckend.  
TK 25 4726 Grebendorf, 5 Reihen, Bundesrepublik Deutschland flächendeckend.  
TK 25 4825 Waldkappel, 7 Reihen, flächendeckend.  
TK 25 4826 Eschwege, 10 Reihen, Bundesrepublik Deutschland flächendeckend.  
TK 25 4827 Treffurt, 2 Reihen, Bundesrepublik Deutschland flächendeckend.

Luftbildpläne, Bildmaßstab 1:10 000, entzerrt,

Hessisches Landesvermessungsamt Wiesbaden (Hg)

TK 25 4624 Hedemünden, 9 Pläne, Befliegung vom 31.7.1981.  
TK 25 4625 Witzenhausen, 6 Pläne, Befliegung vom 31.7.1981.  
TK 25 4724 Grossalmerode, 9 Pläne, Befliegung vom 31.7.1981.  
TK 25 4725 Bad Sooden-Allendorf, 9 Pläne, Befliegung vom 31.7.1981.  
TK 25 4726 Grebendorf, 4 Pläne, Befliegung vom 7.9.1981.  
TK 25 4824 Hessisch Lichtenau, 9 Pläne, Befliegung vom 31.7.1981.  
TK 25 4825 Waldkappel, 9 Pläne, Befliegung vom 31.7.1981.  
TK 25 4826 Eschwege, 9 Pläne, Befliegung vom 7.9.1981.

## 7. Anhang

In diesem Kapitel sind die der Arbeit zugrunde liegenden Gewässerdaten verzeichnet. Neben einer Auswahl von Daten wasserwirtschaftlich genutzter Wässer (7.1) sind die gemittelten Werte der Oberflächenwässer (7.2) aufgeführt.

## 7.1 Auswahl von Analysenwerten wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer

| Proben-Nr.                      | Probenort                              | R      | / | H      | Meßzeitraum | n | Lf<br>(µS/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|---------------------------------|--|--------|---|--------|-------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
| <b>Blatt 4624 HEDENMÜNDEN</b>   |  |        |   |        |             |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4624/ 1                       | Ermschwerd, HB                         | 355651 | / | 569146 | 5.77 - 5.82 | 6 | 297          | 10,3       | 7,9        | 2,4         | 141,4                       | 58,2                                    | 9,0                       |
| W 4624/ 2                       | Rodeberg WW, TB                        | 355757 | / | 569022 | 6.79 - 6.84 | 5 | 422          | 15,0       | 10,4       | 4,6         | 186,2                       | 111,5                                   | 27,4                      |
| W 4624/ 3                       | Rodeberg WW, TB Eillenberg             | 355786 | / | 569007 | 6.81 - 5.84 | 4 | 342          | 12,3       | 10,9       | 1,4         | 195,1                       | 33,9                                    | 14,0                      |
| W 4624/ 4                       | Forsthaus Neufriemen, Küche            | 355320 | / | 568946 | 3.84        | 1 | -            | 3,9        | 1,4        | 2,5         | 25,1                        | 60,6                                    | 7,7                       |
| W 4624/ 5                       | Kleinalmerode, HB Ablauf               | 355378 | / | 568788 | 5.80 - 5.81 | 2 | -            | 3,9        | 1,8        | 2,1         | 32,2                        | 50,9                                    | 10,6                      |
| W 4624/ 6                       | Roßbach, HB                            | 355749 | / | 568738 | 5.79 - 5.82 | 4 | 320          | 13,1       | 9,3        | 3,8         | 166,8                       | 92,1                                    | 20,4                      |
| <b>Blatt 4625 WITZENHAUSEN</b>  |  |        |   |        |             |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4625/ 1                       | St. Witzzenhausen, TB Eschenborn-Rasen | 356038 | / | 568979 | 5.82 - 5.83 | 2 | 733          | 24,4       | 13,5       | 10,9        | 241,7                       | 264,2                                   | 214,1                     |
| W 4625/ 2                       | St. Witzzenhausen, TB "in der Aue"     | 356009 | / | 568941 | 5.81 - 5.83 | 3 | 2833         | 80,9       | 12,6       | 68,3        | 225,5                       | 1556,0                                  | 231,1                     |
| W 4625/ 3                       | St. Witzzenhausen, HB Warteberg        | 355971 | / | 568926 | 6.81 - 5.82 | 5 | 362          | 11,7       | 8,2        | 3,5         | 146,8                       | 84,9                                    | 69,2                      |
| W 4625/ 4                       | Jugendburg Ludwigstein, Zapfhahn       | 356346 | / | 568783 | 4.75        | 1 | -            | 24,3       | 18,6       | 5,7         | 332,9                       | 138,2                                   | -                         |
| W 4625/ 5                       | St. Witzzenhausen, HB B 451            | 355871 | / | 568765 | 5.82 - 5.84 | 2 | 856          | 22,0       | 13,0       | 9,0         | 232,7                       | 218,2                                   | 151,5                     |
| W 4625/ 6                       | St. Witzzenhausen, Pumpstation B 451   | 355912 | / | 568765 | 5.82 - 5.84 | 3 | 528          | 18,5       | 11,6       | 6,9         | 207,6                       | 167,3                                   | 110,4                     |
| W 4625/ 7                       | Oberrieden, Quelle                     | 356407 | / | 568651 | 5.81 - 8.83 | 3 | 524          | 21,7       | 15,4       | 6,3         | 275,7                       | 152,7                                   | 83,4                      |
| <b>Blatt 4724 GROSSALMERODE</b> |  |        |   |        |             |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4724/ 1                       | Trubenhäusen, Pumpstation              | 355802 | / | 568125 | 6.81 - 5.83 | 3 | 157          | 5,6        | 3,5        | 2,1         | 62,7                        | 50,9                                    | 5,9                       |
| W 4724/ 2                       | Laudenbach, HB                         | 355743 | / | 567707 | 4.79 - 6.81 | 4 | 237          | 9,7        | 6,1        | 3,6         | 109,2                       | 87,3                                    | 6,3                       |
| W 4724/ 3                       | Heilstätte, Telefonzentrale            | 355754 | / | 567619 | 9.81 - 2.84 | 4 | 168          | 4,6        | 1,5        | 3,1         | 26,9                        | 75,2                                    | 5,2                       |
| W 4724/ 4                       | Velmeden, HB                           | 355501 | / | 567576 | 6.81 - 8.83 | 3 | 266          | 8,5        | 1,8        | 6,7         | 32,2                        | 162,4                                   | 41,5                      |



Auswahl von Analysenwerten wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer

| Proben-Nr.                      | Probenort                             | R      | / | H      | Meßzeitraum  | n | Lf<br>(µS/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|---------------------------------|---------------------------------------|--------|---|--------|--------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
| Blatt 4725 BAD SOODEN-ALLENDORF |                                       |        |   |        |              |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4725/ 1                       | Hundelshausen, neuer HB               | 355888 | / | 568444 | 5.80 - 5.83  | 4 | 161          | 6,1        | 4,1        | 2,0         | 73,4                        | 48,5                                    | 15,0                      |
| W 4725/ 2                       | Ellershausen, HB                      | 356636 | / | 568415 | 11.80 - 8.83 | 4 | 410          | 16,0       | 11,6       | 4,4         | 207,6                       | 106,7                                   | 31,5                      |
| W 4725/ 3                       | Allendorf, TB Heyerkopf               | 356829 | / | 568315 | 12.81 - 5.82 | 2 | 462          | 15,2       | 10,9       | 4,3         | 195,1                       | 104,2                                   | 18,3                      |
| W 4725/ 4                       | Allendorf, TB Rockenrot I             | 356913 | / | 568295 | 12.81 - 8.83 | 3 | 545          | 21,8       | 11,1       | 10,7        | 198,7                       | 259,4                                   | 20,4                      |
| W 4725/ 5                       | Allendorf, Pumpstation Rockenrot      | 356898 | / | 568290 | 5.81 - 8.83  | 4 | 609          | 26,7       | 11,6       | 15,1        | 207,6                       | 366,1                                   | 20,6                      |
| W 4725/ 6                       | Allendorf, TB Rockenrot II            | 356913 | / | 568289 | 12.81 - 8.83 | 3 | 555          | 22,8       | 11,2       | 10,6        | 200,5                       | 257,0                                   | 18,5                      |
| W 4725/ 7                       | Allendorf, HB Klausberg               | 356947 | / | 568233 | 5.81 - 8.83  | 3 | 529          | 23,4       | 12,1       | 11,3        | 216,6                       | 273,9                                   | 17,1                      |
| W 4725/ 8                       | Kammerbach, HB                        | 356310 | / | 568172 | 11.80 - 8.83 | 4 | 199          | 7,0        | 4,1        | 2,9         | 73,4                        | 70,3                                    | 8,3                       |
| W 4725/ 9                       | Orferode, Pumpstation                 | 356596 | / | 568074 | 11.80 - 8.83 | 4 | 228          | 8,8        | 4,7        | 4,1         | 84,1                        | 99,4                                    | -                         |
| W 4725/10                       | Dudenrode, HB                         | 356068 | / | 567977 | 4.76         | 1 | -            | 9,0        | 5,0        | 4,0         | 89,5                        | 97,0                                    | 19,1                      |
| W 4725/11                       | Weißbach, HB                          | 355940 | / | 567973 | 6.81 - 5.83  | 3 | 233          | 8,9        | 4,9        | 4,0         | 87,7                        | 97,0                                    | 19,5                      |
| W 4725/12                       | Kleinvach                             | 356952 | / | 567963 | 6.74 - 6.75  | 2 | -            | 26,1       | 13,8       | 12,3        | 247,0                       | 298,2                                   | 23,6                      |
| W 4725/13                       | Hitzerode, HB                         | 356673 | / | 567937 | 8.80 - 1.84  | 4 | 524          | 20,6       | 12,4       | 8,2         | 222,0                       | 198,8                                   | 40,1                      |
| W 4725/14                       | Uengsterode, HB                       | 355836 | / | 567932 | 4.79 - 6.81  | 3 | 350          | 16,2       | 14,0       | 4,2         | 250,6                       | 101,8                                   | 10,0                      |
| W 4725/15                       | Frankenhain, HB                       | 356183 | / | 567858 | 8.80 - 1.84  | 4 | 321          | 11,2       | 6,4        | 4,8         | 114,6                       | 116,4                                   | 4,9                       |
| W 4725/16                       | Basaltwerk Bransrode, Umkleideraum    | 355968 | / | 567789 | 11.80 - 8.83 | 4 | 251          | 9,0        | 5,9        | 3,1         | 105,6                       | 75,2                                    | 6,8                       |
| W 4725/17                       | Frankershausen, HB                    | 356298 | / | 567752 | 3.78 - 3.82  | 5 | 172          | 7,9        | 4,3        | 3,6         | 77,0                        | 87,3                                    | 14,2                      |
| W 4725/18                       | Schmelzhütte, Revierförsterei, Küche  | 356672 | / | 567724 | 3.81 - 1.82  | 2 | 398          | 17,6       | 10,9       | 6,7         | 195,1                       | 152,7                                   | 26,0                      |
| W 4725/19                       | Wolfterode, HB                        | 356385 | / | 567678 | 6.76 - 6.78  | 3 | -            | 10,4       | 6,7        | 3,7         | 119,9                       | 89,7                                    | 18,5                      |
| W 4725/20                       | Gesegener Born, Quelle                | 356880 | / | 567630 | 1.83         | 1 | 1450         | 42,0       | 13,9       | 28,1        | 248,8                       | 681,2                                   | 38,1                      |
| W 4725/21                       | Vockerode, Jugenddorf, Küche          | 356160 | / | 567523 | 8.80 - 8.83  | 5 | 604          | 12,8       | 2,2        | 10,6        | 39,4                        | 257,0                                   | 52,8                      |
| W 4725/22                       | Vockerode, Germeröderstr. 4           | 356320 | / | 567521 | 8.80 - 5.83  | 4 | 428          | 13,6       | 2,7        | 10,9        | 48,3                        | 264,2                                   | 36,7                      |
| W 4725/23                       | Naturfreundehaus Hoher Meißner, Küche | 355888 | / | 567516 | 8.81 - 2.84  | 4 | 365          | 6,2        | 1,0        | 5,2         | 17,9                        | 126,0                                   | 77,3                      |
| W 4725/24                       | Sender Hoher Meißner                  | 355933 | / | 767508 | 3.82 - 8.83  | 2 | 241          | 5,6        | 1,0        | 4,6         | 17,9                        | 111,5                                   | 62,5                      |
| W 4725/25                       | Hausen, HB                            | 355816 | / | 567482 | 6.81 - 8.83  | 3 | 122          | 4,2        | 2,4        | 1,8         | 43,0                        | 43,6                                    | 4,5                       |

Auswahl von Analysenwerten wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer

| Proben-Nr.  | Probenort                              | R      | / | H      | Meßzeitraum   | n | Lf<br>(µS/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|---|--|--------|---|--------|---------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
| W 4725/26   | Abterode, HB                           | 356500 | / | 567482 | 6.76          | 2 | -            | 15,        | 2,0        | 13,2        | 35,8                        | 320,0                                   | 13,3                      |
| W 4725/27   | Germerode, HB                          | 356255 | / | 567417 | 8.80 - 3.82   | 3 | .399         | 7,8        | 1,8        | 6,0         | 32,2                        | 145,5                                   | 11,2                      |
| Blatt 4726 GREBENDORF   |  |        |   |        |               |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4726/ 1   | Allendorf, Quelle Gläserborn           | 357247 | / | 568303 | 5.81 - 8.83   | 3 | 443          | 19,3       | 13,2       | 6,1         | 236,3                       | 147,9                                   | 8,7                       |
| W 4726/ 2   | Hitzelrode, Pumpstation                | 357364 | / | 567927 | 10.81 - 3.84  | 4 | 355          | 13,4       | 9,2        | 4,2         | 164,7                       | 101,8                                   | 7,4                       |
| W 4726/ 3   | Motzenrode, HB Zulauf TB               | 357256 | / | 567880 | 9.80 - 10.83  | 4 | 928          | 43,6       | 11,8       | 32,8        | 211,2                       | 795,1                                   | 15,4                      |
| W 4726/ 4   | Neuerode, HB Zulauf                    | 357400 | / | 567711 | 10.81 - 10.83 | 3 | 508          | 18,8       | 12,0       | 6,8         | 214,8                       | 164,9                                   | 22,9                      |
| W 4726/ 5   | FB Anwesen Ritter (Gutachten KAUFMANN) | 357576 | / | 567687 | 74 - 80       | - | -            | 38,8       | 18,7       | 20,1        | 333,7                       | 487,3                                   | 118,1                     |
| W 4726/ 6   | Jestädt, HB                            | 357152 | / | 567645 | 9.80 - 10.83  | 4 | 681          | 28,8       | 12,9       | 15,9        | 230,9                       | 385,5                                   | 26,5                      |
| W 4726/ 7   | Schwebda, Schloß Wolfsbrunnen          | 357741 | / | 567490 | 5.79 - 3.84   | 3 | 727          | 22,8       | 12,0       | 10,8        | 214,8                       | 261,8                                   | 17,1                      |
| Blatt 4727 KÜLLSTEDT  |  |        |   |        |               |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| keine wasserwirtschaftlich erfaßten Wässer auf hessischer Seite |  |        |   |        |               |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| Blatt 4824 HESSISCH LICHTENAU                                   |  |        |   |        |               |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4824/ 1   | Küchen, TB                             | 355680 | / | 567209 | 7.80 - 8.82   | 3 | 187          | 6,8        | 4,8        | 2,0         | 85,9                        | 48,5                                    | 10,7                      |

## Auswahl von Analysenwerten wasserwirtschaftlich erfaßter Wässer

| Proben-Nr.                   | Probenort                        | R      | / | H      | Meßzeitraum   | n | Lf<br>(µS/m) | GH<br>(°d) | KH<br>(°d) | NKH<br>(°d) | CaCO <sub>3</sub><br>(mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/l) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/l) |
|------------------------------|----------------------------------|--------|---|--------|---------------|---|--------------|------------|------------|-------------|-----------------------------|---|---------------------------|
| <b>Blatt 4825 WALDKAPPEL</b> |                                  |        |   |        |               |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4825/ 1                    | Eltmannshausen, HB Zulauf        | 356917 | / | 567371 | 9.82 - 3.84   | 4 | 567          | 20,3       | 2,3        | 18,0        | 41,2                        | 436,4                                   | 9,4                       |
| W 4825/ 2                    | Vierbach, HB Zulauf              | 356501 | / | 567079 | 4.76          | 1 | -            | 5,8        | 1,8        | 4,0         | 32,2                        | 96,8                                    | 10,4                      |
| W 4825/ 3                    | Reichensachsen, TB               | 356817 | / | 566972 | 3.82          | 1 | 750          | 31,3       | 17,9       | 13,4        | 320,4                       | 324,8                                   | 12,3                      |
| W 4825/ 4                    | Reichensachsen, HB Ablauf        | 356842 | / | 566935 | 6.81 - 9.83   | 3 | 610          | 22,7       | 10,5       | 12,2        | 188,0                       | 295,8                                   | 10,2                      |
| W 4825/ 5                    | Oetmannshausen, HB Ablauf        | 356889 | / | 566745 | 9.80 - 9.83   | 4 | 569          | 26,2       | 11,4       | 14,8        | 204,1                       | 358,8                                   | 15,8                      |
| <b>Blatt 4826 ESCHWEGE</b>   |                                  |        |   |        |               |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4826/ 1                    | Frieda, TB                       | 357906 | / | 567385 | 10.81 - 3.84  | 4 | 694          | 27,2       | 14,3       | 12,9        | 256,0                       | 312,7                                   | 27,0                      |
| W 4826/ 2                    | Eschwege, Wasserschloß           | 357370 | / | 567315 | 10.81 - 3.84  | 6 | 503          | 17,1       | 12,1       | 5,0         | 216,6                       | 121,2                                   | 39,9                      |
| W 4826/ 3                    | Niederdüzlebach, Vor dem Dorfe 1 | 357676 | / | 567204 | 9.82 - 3.84   | 4 | 687          | 25,9       | 13,7       | 12,2        | 245,2                       | 295,8                                   | 28,5                      |
| W 4826/ 4                    | Eschwege, TB Eschwege 1          | 357469 | / | 567154 | 9.82 - 2.84   | 3 | 126          | 51,9       | 11,9       | 40,0        | 213,0                       | 969,7                                   | 30,4                      |
| W 4826/ 5                    | Völkershausen, HB                | 358098 | / | 567022 | 12.79 - 10.83 | 5 | 396          | 14,5       | 10,0       | 4,5         | 179,0                       | 109,1                                   | 13,9                      |
| W 4826/ 6                    | Eschwege, TB Schlierbach II      | 357789 | / | 566957 | 9.82 - 2.84   | 3 | 331          | 11,6       | 10,2       | 1,4         | 182,6                       | 33,9                                    | 16,3                      |
| W 4826/ 7                    | Langenhain, HB Ablauf            | 357286 | / | 566748 | 6.81 - 9.83   | 3 | 331          | 12,4       | 10,4       | 2,0         | 186,2                       | 48,5                                    | 13,3                      |
| <b>Blatt 4827 TREFFURT</b>   |                                  |        |   |        |               |   |              |            |            |             |                             |   |                           |
| W 4827/ 1                    | Wanfried, HB Leistersberg        | 358291 | / | 567162 | 7.81 - 10.83  | 3 | 648          | 30,9       | 13,8       | 17,1        | 247,0                       | 414,5                                   | 20,0                      |
| W 4827/ 2                    | Wanfried, TB Roter Berg          | 358202 | / | 567142 | 7.81 - 10.83  | 3 | 668          | 28,8       | 15,1       | 13,7        | 270,3                       | 332,1                                   | 32,1                      |
| W 4827/ 3                    | Altenburschla, HB Zulauf         | 358313 | / | 566947 | 7.81 - 10.83  | 3 | 672          | 29,1       | 15,5       | 13,6        | 277,5                       | 329,7                                   | 31,3                      |
| W 4827/ 4                    | Heidra, TB Kurshagen             | 358437 | / | 566661 | 12.82 - 10.83 | 3 | 765          | 31,7       | 13,8       | 17,9        | 247,0                       | 433,9                                   | 23,9                      |

## 7.2 Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer

| Proben-<br>Nr.                   | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | LF     | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|----------------------------------|-----------|----------|--------------|---|--------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|                                  | R         | / H      |              |   | (µs/m) | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| <b>4624 HEDEMÜNDEN</b>           |           |          |              |   |        |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4624/ 1                        | 355637    | / 568681 | 10.84 - 9.86 | 5 | 205    | 8,1  | 3,0  | 5,1  | 53,7              | 124,1                         | 19,4            |
| 0 4624/ 2                        | 355586    | / 568722 | 10.84 - 9.86 | 5 | 285    | 7,9  | 4,7  | 3,2  | 84,5              | 77,6                          | 19,6            |
| 0 4624/ 3                        | 355557    | / 568767 | 7.84 - 9.86  | 6 | 269    | 8,0  | 4,6  | 3,4  | 81,7              | 82,8                          | 20,4            |
| 0 4624/ 4                        | 355443    | / 568939 | 10.84 - 9.86 | 5 | 253    | 5,9  | 3,2  | 2,7  | 57,3              | 66,4                          | 18,6            |
| 0 4624/ 5                        | 355422    | / 569000 | 7.84 - 9.86  | 6 | 355    | 10,5 | 6,5  | 4,0  | 116,1             | 96,6                          | 21,4            |
| 0 4624/ 6                        | 355658    | / 569116 | 7.84 - 9.86  | 6 | 667    | 18,1 | 6,7  | 11,4 | 120,5             | 275,2                         | 24,6            |
| 0 4624/ 7                        | 355755    | / 568982 | 7.84 - 9.86  | 6 | 426    | 10,8 | 5,2  | 5,6  | 92,5              | 134,5                         | 25,8            |
| <b>4625 WITZENHAUSEN</b>         |           |          |              |   |        |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4625/ 1                        | 356537    | / 568575 | 10.84 - 9.86 | 5 | 2262   | 71,3 | 15,3 | 56,0 | 274,2             | 1332,0                        | 26,8            |
| 0 4625/ 2                        | 356494    | / 568547 | 10.84 - 9.86 | 5 | 478    | 10,7 | 6,9  | 4,8  | 122,6             | 115,2                         | 24,8            |
| 0 4625/ 3                        | 356423    | / 568562 | 7.84 - 9.86  | 6 | 877    | 23,7 | 8,9  | 14,8 | 158,7             | 359,2                         | 33,0            |
| 0 4625/3.1                       | 356418    | / 568552 | 7.84 - 11.85 | 3 | 609    | 17,2 | 11,1 | 6,1  | 199,3             | 147,9                         | 20,0            |
| 0 4625/ 4                        | 356211    | / 568702 | 7.84 - 9.86  | 6 | 738    | 22,2 | 13,1 | 9,1  | 234,8             | 220,2                         | 25,2            |
| 0 4625/ 5                        | 356389    | / 568715 | 7.84 - 9.86  | 6 | 755    | 21,2 | 14,5 | 6,7  | 259,0             | 163,2                         | 33,0            |
| 0 4625/ 6                        | 356188    | / 568634 | 7.84 - 9.86  | 6 | 1271   | 31,5 | 8,9  | 28,6 | 159,6             | 692,9                         | 18,6            |
| 0 4625/ 7                        | 356170    | / 568635 | 7.84 - 9.86  | 6 | 680    | 18,1 | 11,8 | 6,3  | 210,3             | 151,5                         | 37,4            |
| 0 4625/ 8                        | 356132    | / 568694 | 7.84 - 9.86  | 6 | 1828   | 63,4 | 10,7 | 52,7 | 191,2             | 1278,0                        | 21,4            |
| 0 4625/ 9                        | 356115    | / 568742 | 7.84 - 9.86  | 6 | 8078   | 63,0 | 12,6 | 50,4 | 225,8             | 1223,0                        | 2980,0          |
| 0 4625/10                        | 355945    | / 568645 | 7.84 - 9.86  | 6 | 282    | 7,0  | 4,3  | 2,7  | 77,8              | 65,5                          | 13,8            |
| 0 4625/11                        | 355833    | / 568576 | 10.84 - 9.86 | 5 | 252    | 5,7  | 4,7  | 1,0  | 82,3              | 24,2                          | 10,0            |
| 0 4625/12                        | 355905    | / 568950 | 10.84 - 9.86 | 5 | 298    | 9,4  | 4,4  | 5,0  | 78,8              | 122,2                         | 17,8            |
| <b>4724 GROSSALMERODE</b>        |           |          |              |   |        |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4724/ 1                        | 355779    | / 567697 | 10.84 - 9.86 | 5 | 594    | 17,3 | 12,6 | 4,7  | 226,0             | 114,5                         | 10,0            |
| 0 4724/ 2                        | 355691    | / 567690 | 10.84 - 9.86 | 5 | 347    | 8,8  | 4,6  | 4,2  | 81,6              | 101,8                         | 17,0            |
| 0 4724/ 3                        | 355605    | / 567603 | 10.84 - 9.86 | 5 | 494    | 16,3 | 11,8 | 4,5  | 211,9             | 108,6                         | 12,0            |
| 0 4724/ 4                        | 355798    | / 567559 | 10.84 - 9.86 | 5 | 304    | 7,8  | 2,1  | 5,7  | 37,1              | 138,2                         | 24,0            |
| 0 4724/ 5                        | 355707    | / 567438 | 10.84 - 9.86 | 5 | 182    | 5,7  | 2,1  | 3,6  | 38,1              | 87,3                          | 13,0            |
| 0 4724/ 6                        | 355541    | / 567463 | 10.84 - 9.86 | 5 | 532    | 16,0 | 12,2 | 3,8  | 219,1             | 92,6                          | 13,0            |
| 0 4724/ 7                        | 355744    | / 567875 | 9.85 - 9.86  | 3 | 550    | 17,4 | 9,9  | 7,5  | 178,4             | 181,0                         | 16,3            |
| 0 4724/ 8                        | 355717    | / 567852 | 9.85 - 9.86  | 3 | 621    | 18,3 | 11,2 | 7,1  | 201,1             | 172,1                         | 22,0            |
| <b>4725 BAD SOODEN-ALLENDORF</b> |           |          |              |   |        |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4725/ 1                        | 356793    | / 567434 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1042   | 27,2 | 13,7 | 13,5 | 244,5             | 327,3                         | 62,0            |
| 0 4725/ 2                        | 356500    | / 567515 | 8.84 - 9.86  | 5 | 454    | 11,1 | 5,6  | 5,5  | 100,2             | 132,1                         | 40,3            |
| 0 4725/ 3                        | 356328    | / 567547 | 8.84 - 9.86  | 5 | 378    | 8,4  | 3,4  | 5,0  | 61,3              | 121,8                         | 47,5            |

Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer

| Proben-<br>Nr. | Probenort       |     | Lf           | GH  | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |      |
|----------------|-----------------|-----|--------------|---|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|------|
|                | R               | / H |              |   |      |      |                   |                               |                 |      |
|                | Meßzeitraum     | n   | (µs/m)       | (°d)                                      | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |      |
| 0 4725/ 4      | 356649 / 567695 | 5   | 8.84 - 9.86  | 1205                                      | 36,8 | 9,2  | 27,6              | 164,7                         | 670,1           | 32,0 |
| 0 4725/ 5      | 356596 / 567753 | 5   | 8.84 - 9.86  | 657                                       | 17,2 | 9,8  | 7,4               | 176,1                         | 179,4           | 42,6 |
| 0 4725/ 6      | 356520 / 567768 | 5   | 8.84 - 9.86  | 1036                                      | 29,3 | 6,9  | 22,4              | 123,2                         | 542,1           | 27,0 |
| 0 4725/ 7      | 356374 / 567822 | 5   | 8.84 - 9.86  | 551                                       | 13,9 | 7,0  | 6,9               | 125,3                         | 166,8           | 26,2 |
| 0 4725/ 8      | 356407 / 567964 | 6   | 7.84 - 9.86  | 2393                                      | 81,0 | 11,3 | 69,7              | 202,9                         | 1689,0          | 29,4 |
| 0 4725/ 9      | 356396 / 567966 | 6   | 7.84 - 9.86  | 1347                                      | 45,2 | 13,1 | 32,1              | 235,1                         | 777,4           | 28,3 |
| 0 4725/10      | 356288 / 567896 | 5   | 8.84 - 9.86  | 488                                       | 12,1 | 6,3  | 5,9               | 112,8                         | 142,5           | 40,3 |
| 0 4725/11      | 356083 / 567639 | 6   | 7.84 - 9.86  | 318                                       | 8,7  | 4,1  | 4,6               | 74,0                          | 111,1           | 12,8 |
| 0 4725/12      | 356014 / 567854 | 6   | 7.84 - 9.86  | 277                                       | 6,7  | 2,3  | 4,4               | 40,6                          | 105,9           | 14,2 |
| 0 4725/13      | 355942 / 567847 | 6   | 7.84 - 9.86  | 543                                       | 12,8 | 7,7  | 5,1               | 137,3                         | 123,6           | 19,2 |
| 0 4725/14      | 355835 / 567863 | 6   | 7.84 - 9.86  | 1677                                      | 54,3 | 9,0  | 45,3              | 161,7                         | 1097,0          | 16,6 |
| 0 4725/15      | 355925 / 568070 | 6   | 7.84 - 9.86  | 948                                       | 25,5 | 8,9  | 16,6              | 159,0                         | 402,0           | 15,6 |
| 0 4725/16      | 355931 / 568268 | 5   | 8.84 - 9.86  | 447                                       | 12,3 | 9,0  | 3,3               | 160,4                         | 79,5            | 17,2 |
| 0 4725/17      | 356107 / 568077 | 5   | 8.84 - 9.86  | 368                                       | 7,9  | 4,6  | 3,3               | 82,3                          | 81,0            | 22,2 |
| 0 4725/18      | 356105 / 568088 | 5   | 8.84 - 9.86  | 470                                       | 10,4 | 6,7  | 3,7               | 120,3                         | 90,7            | 40,4 |
| 0 4725/19      | 356237 / 568149 | 5   | 8.84 - 9.86  | 352                                       | 8,9  | 3,6  | 5,3               | 65,1                          | 129,0           | 20,0 |
| 0 4725/20      | 356256 / 568173 | 5   | 8.84 - 9.86  | 909                                       | 26,6 | 7,5  | 19,1              | 133,5                         | 464,0           | 37,0 |
| 0 4725/21      | 356310 / 568297 | 5   | 8.84 - 9.86  | 524                                       | 14,0 | 9,6  | 4,4               | 171,1                         | 106,2           | 20,6 |
| 0 4725/22      | 356301 / 568302 | 5   | 8.84 - 9.86  | 756                                       | 20,2 | 12,0 | 8,2               | 214,8                         | 198,0           | 17,5 |
| 0 4725/23      | 356303 / 568352 | 5   | 8.84 - 9.86  | 785                                       | 21,6 | 7,5  | 14,1              | 134,3                         | 341,8           | 18,3 |
| 0 4725/24      | 356711 / 568529 | 4   | 8.84 - 11.85 | 502                                       | 12,7 | 9,1  | 3,6               | 162,9                         | 87,3            | 27,0 |
| 0 4725/25      | 356672 / 568333 | 4   | 8.84 - 11.85 | 765                                       | 16,6 | 13,3 | 3,3               | 238,5                         | 79,4            | 55,5 |
| 0 4725/26      | 356751 / 568100 | 5   | 8.84 - 9.86  | Balzerborn, gefaßte Quelle, kein Überlauf |      |      |                   |                               |                 |      |
| 0 4725/27      | 356890 / 567972 | 4   | 8.84 - 11.85 | 657                                       | 18,0 | 11,6 | 6,4               | 206,8                         | 153,9           | 32,3 |
| 0 4725/28      | 356850 / 567887 | 4   | 8.84 - 11.85 | 715                                       | 14,8 | 10,1 | 4,7               | 181,2                         | 112,7           | 54,0 |
| 0 4725/29      | 356900 / 567815 | 4   | 8.84 - 11.85 | 670                                       | 14,9 | 8,3  | 6,6               | 148,6                         | 158,8           | 70,5 |
| 0 4725/30      | 356879 / 567630 | 4   | 7.84 - 11.85 | 1456                                      | 41,6 | 12,1 | 29,5              | 216,1                         | 714,5           | 40,0 |
| 0 4725/31      | 356282 / 567513 | 2   | 9.85 - 9.86  | 509                                       | 16,3 | 3,2  | 10,4              | 57,3                          | 252,1           | 36,0 |
| 0 4725/32      | 356350 / 567710 | 3   | 9.85 - 9.86  | 341                                       | 11,0 | 4,6  | 6,5               | 82,3                          | 158,4           | 24,7 |
| 0 4725/33      | 356349 / 567722 | 3   | 9.85 - 9.86  | 363                                       | 11,0 | 3,6  | 7,4               | 64,4                          | 178,6           | 19,0 |

4726 GREBENDORF

|           |                 |   |              |            |      |      |      |       |        |       |
|-----------|-----------------|---|--------------|------------|------|------|------|-------|--------|-------|
| 0 4726/ 1 | 357876 / 567462 | 5 | 8.84 - 9.86  | 1044       | 28,8 | 14,0 | 14,8 | 251,3 | 358,3  | 32,0  |
| 0 4726/ 2 | 357687 / 567569 | 5 | 8.84 - 9.86  | 1066       | 29,2 | 11,7 | 17,5 | 209,1 | 424,2  | 29,6  |
| 0 4726/ 3 | 357375 / 567500 | 5 | 8.84 - 9.86  | 3614       | 46,2 | 9,8  | 37,4 | 175,4 | 906,7  | 949,2 |
| 0 4726/ 4 | 357444 / 567594 | 5 | 8.84 - 9.86  | Trockental |      |      |      |       |        |       |
| 0 4726/ 5 | 357365 / 567742 | 5 | 8.84 - 9.86  | 2166       | 67,8 | 13,3 | 54,5 | 238,1 | 1320,0 | 54,2  |
| 0 4726/ 6 | 357367 / 567776 | 5 | 8.84 - 9.86  | 548        | 16,2 | 10,8 | 5,4  | 193,3 | 131,9  | 22,6  |
| 0 4726/ 7 | 357410 / 567939 | 4 | 8.84 - 11.85 | 549        | 16,1 | 10,0 | 6,1  | 178,1 | 146,7  | 20,0  |
| 0 4726/ 8 | 357169 / 567827 | 5 | 8.84 - 9.86  | 1227       | 36,4 | 10,8 | 25,6 | 192,6 | 619,6  | 22,8  |
| 0 4726/ 9 | 357128 / 567711 | 5 | 8.84 - 9.86  | 698        | 18,8 | 11,1 | 7,6  | 198,3 | 184,2  | 28,4  |
| 0 4726/10 | 357024 / 567777 | 5 | 8.84 - 9.86  | 653        | 16,3 | 11,9 | 4,4  | 212,1 | 106,7  | 29,5  |
| 0 4726/11 | 357090 / 567655 | 4 | 8.84 - 11.85 | 1295       | 39,2 | 10,6 | 28,6 | 188,9 | 692,1  | 32,8  |

Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer

| Proben-<br>Nr.          | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf     | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|-------------------------|-----------|----------|--------------|---|--------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|                         | R         | / H      |              |   | (µs/m) | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| 0 4726/12               | 357236    | / 567579 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1007   | 26,7 | 10,7 | 16,0 | 192,3             | 387,4                         | 32,2            |
| 0 4726/13               | 357023    | / 567933 | 8.84 - 9.86  | 5 | 728    | 21,6 | 13,9 | 7,7  | 249,4             | 187,5                         | 20,0            |
| 0 4726/14               | 357063    | / 567955 | 8.84 - 9.86  | 5 | 461    | 13,2 | 6,2  | 7,0  | 111,7             | 168,7                         | 25,8            |
| 0 4726/15               | 357081    | / 568003 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1447   | 43,1 | 9,9  | 33,2 | 177,2             | 803,9                         | 21,0            |
| 0 4726/16               | 357018    | / 568143 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1362   | 42,6 | 9,9  | 32,7 | 177,9             | 792,2                         | 21,0            |
| 0 4726/17               | 357148    | / 568098 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1365   | 44,9 | 9,3  | 35,6 | 166,1             | 862,1                         | 16,6            |
| 0 4726/18               | 357153    | / 568078 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1117   | 33,1 | 11,0 | 22,1 | 197,3             | 536,7                         | 15,2            |
| 0 4726/19               | 357262    | / 568086 | 8.84 - 9.86  | 5 | 588    | 17,3 | 10,0 | 7,3  | 178,6             | 176,5                         | 13,4            |
| 0 4726/20               | 357161    | / 568235 | 8.84 - 9.86  | 5 | 551    | 15,7 | 11,4 | 4,3  | 203,2             | 104,2                         | 11,8            |
| 0 4726/21               | 357125    | / 568336 | 8.84 - 9.86  | 5 | 657    | 17,3 | 10,7 | 6,6  | 190,6             | 159,4                         | 22,8            |
| 0 4726/22               | 357163    | / 568328 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1411   | 42,0 | 11,4 | 30,6 | 204,4             | 741,3                         | 20,8            |
| 0 4726/23               | 357247    | / 568303 | 8.84 - 9.86  | 5 | 693    | 19,3 | 13,2 | 6,1  | 236,6             | 146,9                         | 15,2            |
| 0 4726/24               | 357344    | / 568265 | 8.84 - 9.86  | 5 | 1607   | 45,3 | 9,3  | 36,1 | 166,5             | 875,1                         | 18,2            |
| 4824 HESSISCH LICHTENAU |           |          |              |   |        |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4824/ 1               | 355782    | / 567307 | 10.84 - 9.86 | 5 | 172    | 5,6  | 2,0  | 3,6  | 35,4              | 88,2                          | 8,6             |
| 0 4824/ 2               | 355773    | / 567300 | 10.84 - 9.86 | 5 | 225    | 7,4  | 2,6  | 4,8  | 47,3              | 116,4                         | 10,4            |
| 0 4824/ 3               | 355677    | / 567392 | 10.84 - 9.86 | 5 | 316    | 7,9  | 2,5  | 5,4  | 44,8              | 131,9                         | 28,6            |
| 4825 WALDKAPPEL         |           |          |              |   |        |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4825/ 1               | 356900    | / 566954 | 10.84 - 9.86 | 5 | 478    | 10,6 | 5,0  | 5,6  | 90,2              | 135,3                         | 29,0            |
| 0 4825/ 2               | 356504    | / 567146 | 10.84 - 9.86 | 5 | 308    | 7,8  | 4,1  | 3,7  | 74,1              | 90,7                          | 32,0            |
| 0 4825/ 3               | 356425    | / 567243 | 10.84 - 9.86 | 5 | 269    | 8,0  | 2,3  | 5,7  | 41,5              | 138,7                         | 26,8            |
| 0 4825/ 4               | 356618    | / 567275 | 10.84 - 9.86 | 5 | 458    | 8,6  | 4,2  | 4,4  | 75,2              | 106,7                         | 42,5            |
| 0 4825/ 5               | 356640    | / 567274 | 10.84 - 9.86 | 5 | 330    | 7,7  | 2,7  | 5,0  | 47,6              | 120,2                         | 34,5            |
| 0 4825/ 6               | 356556    | / 567385 | 10.84 - 9.86 | 5 | 505    | 11,7 | 4,9  | 6,8  | 87,4              | 163,9                         | 35,2            |
| 0 4825/ 7               | 356572    | / 567396 | 10.84 - 9.86 | 5 | 435    | 11,8 | 6,0  | 5,8  | 107,8             | 139,6                         | 31,2            |
| 0 4825/ 8               | 356882    | / 567366 | 10.84 - 9.86 | 5 | 713    | 17,9 | 10,8 | 7,1  | 193,7             | 172,1                         | 36,8            |
| 0 4825/ 9               | 356857    | / 567176 | 10.84 - 9.86 | 5 | 877    | 23,6 | 11,7 | 11,9 | 210,2             | 289,0                         | 29,6            |
| 0 4825/10               | 356289    | / 566974 | 10.84 - 9.86 | 5 | 280    | 7,3  | 3,9  | 3,4  | 69,1              | 81,9                          | 19,0            |
| 0 4825/11               | 356162    | / 567144 | 10.84 - 9.86 | 5 | 242    | 6,2  | 3,2  | 3,0  | 56,7              | 72,3                          | 16,2            |
| 0 4825/12               | 356010    | / 567200 | 10.84 - 9.86 | 5 | 212    | 7,0  | 2,2  | 4,8  | 40,1              | 115,9                         | 14,2            |
| 0 4825/13               | 355916    | / 567183 | 10.84 - 9.86 | 5 | 207    | 5,4  | 2,8  | 2,8  | 50,8              | 67,4                          | 12,8            |
| 0 4825/14               | 356864    | / 567165 | 10.84 - 9.86 | 4 | 1339   | 44,0 | 13,2 | 30,8 | 236,3             | 745,4                         | 34,0            |
| 0 4825/15               | 356186    | / 567260 | 9.85 - 9.86  | 3 | 191    | 6,5  | 2,3  | 4,2  | 40,6              | 101,8                         | 20,7            |
| 0 4825/16               | 356254    | / 567404 | 9.85 - 9.86  | 3 | 262    | 6,1  | 2,1  | 4,0  | 38,1              | 96,2                          | 23,2            |
| 0 4825/17               | 356909    | / 567312 | 9.85 - 9.86  | 3 | 1404   | 42,1 | 12,9 | 29,2 | 231,5             | 707,1                         | 40,7            |
| 0 4825/18               | 356172    | / 567240 | 9.85 - 9.86  | 3 | 185    | 5,7  | 1,5  | 4,2  | 26,9              | 101,8                         | 23,0            |

Gemittelte Analysenwerte beprobter Oberflächengewässer

| Proben-<br>Nr. | Probenort |          | Meßzeitraum  | n | Lf      | GH   | KH   | NKH  | CaCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|----------------|-----------|----------|--------------|---|---------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
|                | R         | / H      |              |   | (µs/m)  | (°d) | (°d) | (°d) | (mg/l)            | (mg/l)                        | (mg/l)          |
| 4826 ESCHWEGE  |           |          |              |   |         |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4826/ 1      | 357509    | / 567011 | 10.84 - 9.86 | 5 | 454     | 12,1 | 7,0  | 5,1  | 125,3             | 124,6                         | 40,8            |
| 0 4826/ 2      | 357640    | / 567170 | 10.84 - 9.86 | 5 | 729     | 16,6 | 8,4  | 8,2  | 149,5             | 197,6                         | 68,8            |
| 0 4826/ 3      | 357568    | / 567323 | 10.84 - 9.86 | 5 | 642     | 12,6 | 7,2  | 5,4  | 128,9             | 130,3                         | 58,5            |
| 0 4826/ 4      | 357912    | / 567213 | 10.84 - 9.86 | 5 | trocken |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4826/ 5      | 357953    | / 567261 | 10.84 - 9.86 | 5 | trocken |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4826/ 6      | 358121    | / 567096 | 10.84 - 9.86 | 5 | 303     | 7,6  | 4,7  | 2,9  | 84,7              | 70,3                          | 17,3            |
| 0 4826/ 7      | 358052    | / 566984 | 10.84 - 9.86 | 5 | 477     | 12,6 | 8,6  | 4,2  | 154,7             | 102,3                         | 34,3            |
| 0 4826/ 8      | 357953    | / 566996 | 10.84 - 9.86 | 5 | trocken |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4826/ 9      | 357715    | / 566894 | 10.84 - 9.86 | 5 | 306     | 8,7  | 5,9  | 2,8  | 104,9             | 68,9                          | 18,6            |
| 0 4826/10      | 357715    | / 566883 | 10.84 - 9.86 | 5 | 394     | 11,5 | 6,0  | 5,5  | 106,7             | 132,9                         | 24,0            |
| 0 4826/11      | 357831    | / 566660 | 10.84 - 9.86 | 5 | 868     | 23,0 | 8,3  | 14,7 | 149,2             | 356,4                         | 24,7            |
| 0 4826/12      | 358018    | / 566443 | 10.84 - 9.86 | 5 | 1173    | 35,1 | 12,6 | 22,5 | 229,5             | 545,5                         | 21,8            |
| 0 4826/13      | 357654    | / 566505 | 10.84 - 9.86 | 5 | 1296    | 37,0 | 14,2 | 22,8 | 253,5             | 553,7                         | 31,0            |
| 0 4826/14      | 357441    | / 566532 | 10.84 - 9.86 | 5 | 2268    | 70,4 | 14,9 | 55,5 | 265,6             | 1346,0                        | 48,0            |
| 0 4826/15      | 357006    | / 566571 | 10.84 - 9.86 | 5 | 793     | 27,3 | 16,4 | 10,9 | 293,6             | 263,3                         | 32,2            |
| 0 4826/16      | 357573    | / 566739 | 10.84 - 9.86 | 5 | 305     | 7,4  | 5,0  | 2,4  | 88,6              | 58,8                          | 23,8            |
| 0 4826/17      | 357181    | / 566810 | 10.84 - 9.86 | 5 | 300     | 5,9  | 2,6  | 3,3  | 46,5              | 80,8                          | 28,0            |
| 0 4826/18      | 357066    | / 566887 | 10.84 - 9.86 | 5 | 567     | 13,8 | 9,4  | 4,4  | 167,9             | 106,7                         | 49,4            |
| 0 4826/19      | 357166    | / 566853 | 10.84 - 9.86 | 5 | 562     | 15,5 | 9,2  | 6,3  | 164,7             | 151,5                         | 45,3            |
| 0 4826/20      | 357235    | / 566890 | 10.84 - 9.86 | 5 | 485     | 10,0 | 4,1  | 5,9  | 74,1              | 144,0                         | 60,6            |
| 0 4826/21      | 357171    | / 567011 | 10.84 - 9.86 | 5 | 780     | 17,8 | 11,2 | 6,6  | 200,5             | 160,0                         | 55,2            |
| 0 4826/22      | 357094    | / 566940 | 10.84 - 9.86 | 5 | 451     | 9,1  | 3,0  | 6,1  | 53,7              | 147,9                         | 35,5            |
| 0 4826/23      | 357057    | / 567064 | 10.84 - 9.86 | 5 | 804     | 19,6 | 10,3 | 9,3  | 184,4             | 226,4                         | 58,5            |
| 0 4826/24      | 357042    | / 567230 | 10.84 - 9.86 | 5 | 787     | 19,5 | 10,8 | 8,7  | 192,4             | 210,9                         | 40,3            |
| 0 4826/25      | 357129    | / 567315 | 10.84 - 9.86 | 5 | trocken |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4826/26      | 357359    | / 567102 | 10.84 - 9.86 | 5 | 516     | 13,6 | 7,1  | 6,5  | 126,5             | 156,8                         | 31,7            |
| 4827 TREFFURT  |           |          |              |   |         |      |      |      |                   |                               |                 |
| 0 4827/ 1      | 355857    | / 567265 | 10.84 - 9.86 | 5 | 807     | 20,8 | 14,8 | 6,0  | 264,2             | 145,5                         | 23,4            |
| 0 4827/ 2      | 358294    | / 566926 | 10.84 - 9.86 | 5 | 1318    | 40,3 | 13,0 | 27,3 | 232,0             | 662,3                         | 37,4            |
| 0 4827/ 3      | 358357    | / 566619 | 10.84 - 9.86 | 5 | trocken |      |      |      |                   |                               |                 |

## Auslaugung und Reliefentwicklung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels (Nordhessen)

Zur Vereinfachung wird die Vielfalt der Karstformenbezeichnungen bereinigt. Erdfall wird als Form, die in nicht verkarstungsfähigen Serien liegt, aber auf Tiefensubrosion zurückgeht, der Doline, einer Form, die in verkarstungsfähigem Material liegt, gegenübergestellt.

Als Grundlage der Arbeit wurde eine detaillierte Kartierung der Auslaugungsformen durchgeführt. Hinsichtlich rezenter Subrosion erwies es sich als notwendig, die in Oberflächenwässern und wasserwirtschaftlich erfaßten Wässern gelösten Bestandteile von Chlorid, Sulfat und Karbonat zu ermitteln. Die Auswertung der gewonnenen Daten zeigt, daß ein Zusammenhang mit Gebieten besteht, die durch aktuelle Erdfälle und Dolineneinbrüche gekennzeichnet sind.

Als Voraussetzung zur Reliefgenese gilt, daß das Gebiet des Unterwerra-Sattels entscheidend durch die saxonische Gebirgsbildung an der Wende Jura/Kreide und die nachfolgende klimageomorphologische Entwicklung geprägt ist. Anhand der geomorphographischen Analyse wird der Einfluß der Salz-, aber auch der Sulfatauslaugung auf die Landschaftsgenese belegt. Die Auslaugung des Salzes (NaCl), dessen Mächtigkeit im Untersuchungsgebiet mit mindestens 120 m angenommen wird, und der unterlagernden ca. 130 m mächtigen Zechsteingipse (A 1 - A 3) zerrüttet die überlagernden triassischen Schichten weiter. Darüber hinaus wirkt die Subrosion von mehr als 30 m Rötgipsen und 50 m Gipsen des Mittleren Muschelkalkes im Hangenden des Zechsteins reliefformend.

Die ermittelten Ergebnisse - rezente und subrezente Formen, Lösungswerte - werden zunächst in kleineren Gebietseinheiten analysiert. Die Ergebnisse der Wasseranalysen bestätigen das geomorphographische Ergebnis, so daß in Anlehnung an die Gips-horizonte von Stockwerkssubrosion gesprochen werden kann. Entscheidend geprägt ist

die heutige Situation jedoch durch vorangegangene Zechsteinsalzauslaugung im tieferen Untergrund. Diese hat in den Hangendserien die Wasserwegsamkeit verstärkt, so daß die nachfolgende Sulfatsubrosion den Kleinformenschatz vor der Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins steuern konnte. Aufgrund ihrer für Auslaugungsgebiete typischen Ausprägung wird die Lage der Schichtstufe in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes an das in Auslaugung befindliche Salz geknüpft. Das Auftreten von Subrosionsformen vor der Landstufe des Kaufunger Waldes, den östlichen Meißnerhängen, dem Anstieg des Schlierbachswaldes sowie vor dem Anstieg des Buntsandsteins zwischen Heldra, Frieda und Bad Sooden-Allendorf untermauert diese Interpretation. In der südlichen und südöstlichen Umrahmung des Untersuchungsgebietes wird der Salzhang aufgrund geomorphographischer Kriterien unter dem Steilanstieg des Unteren Muschelkalkes ausgewiesen.

Aufgrund dieser Befunde wird die primäre Salzverbreitung als über den Unterwerra-Sattel reichend angenommen, womit sich, abgesehen von den Einflüssen der saxonischen Tektonik, alle Reliefentwicklungsprozesse allein durch Auslaugung und folgende geomorphologische Oberprägung erklären lassen.

Darüber hinaus ist dieses Gebiet in Nordhessen nicht nur durch eine über alle Schichten hinweggreifende Rumpfflächenbildung gekennzeichnet, sondern die Resistenzunterschiede wurden - unabhängig vom Klimabeständig herausgearbeitet.

Aus diesen Ergebnissen wurde ein übergeordnetes Modell zur Reliefentwicklung erstellt. Danach existieren im Untersuchungsgebiet fünf Reliefgenerationen, wobei die postsaxonische Reliefentwicklung mit zerstörtem, die Auslaugung begünstigendem Hangendverband nach der Landhebung bzw. dem Einbruch der das Gebiet begrenzenden Gra-



benstrukturen, die bis ins Alttertiär reicht, nicht erfaßt werden konnte.

(1) Die oligozäne Reliefgeneration, die infolge Salzauslaugung im tieferen Untergrund durch Absenkung und Moorbildung in einzelnen Geländeteilen (z.B. Meißnermulden) gekennzeichnet war, war dem heutigen Reliefverlauf in groben Zügen ähnlich.

(2) Die miozäne Reliefgeneration, in der der Basalt subeffusiv in und auf den tertiären Sedimenten Platz nahm und die unterlagernden Moore in Braunkohle umwandelte, war gekennzeichnet durch weiteres Wandern des Salzhanges, was eine weitere Stufenrückverlegung zur Folge hatte. Der Hohe Meißner und der Bilstein zeichnen heute, als höchste Teile des Reliefs, diese alte Geländeoberfläche nach.

(3) Die pliozäne Reliefgeneration war einerseits durch die Fußflächenbildung vor der Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins, andererseits durch die Anlage der großräumigen Auslaugungsbereiche im Unteren Buntsandstein gekennzeichnet. Letztere sind

auf die wesentlich anderen Vorflutbedingungen zurückzuführen, die einen bedeutend höheren Grundwasserstand aufwiesen.

(4) Die pleistozäne Reliefgeneration zeichnete sich durch die einzelnen Stadien der Werratalentwicklung aus. Darüber hinaus entwickelte sich der im mitteleuropäischen Mittelgebirgsbereich typische periglaziale Formenschatz mit Blockschutt-, Hangschutt- und Lößdecken. In den zugehörigen Kaltzeiten war das Subrosionsverhalten infolge Permafrostes unterbrochen. Die subrosive Wirkung in den Interglazialen läßt sich z.B. an den unterschiedlich mächtigen Niederterrassensedimenten nachweisen.

(5) Die Reliefgeneration des Holozäns war und ist gekennzeichnet durch fortschreitende Gipslösung, die die zugehörigen Dolinen und Erdfälle verursacht. Unterschiedlich mächtige Auelehmlagerungen weisen auf Absenkungen in der Werratalaue hin. Der Mensch greift mit seinen Nutzungen stark in den durch Subrosionsprozesse beeinflussten Naturhaushalt ein.

### Subrosion and Landform Evolution near the Lower Werra Anticline (Northern Hesse)

**S u m m a r y :** In order to facilitate discussion, the complex karst form terminology was clarified. The term "sinkhole" (Erdfall) was used to designate landforms occurring in non-soluble material, due to deep subrosion, whereas "doline" (Doline) was used for landforms occurring in soluble rock.

The initial step taken was to map leaching forms in detail. In case of recent subrosion it proved necessary to determine the chloride, sulphate and carbonate contents in solution of surface and exploited waters. Evaluation of the data obtained showed that there was a correlation with areas of presently active sinkholes and doline collapse.

Landform evolution near the Lower Werra anticline was decisively influenced by the Saxonian orogeny at the turn of the Jurras-

sic period and by subsequent climato-geomorphological processes. Following the geomorphographic analysis described above, the effect of salt and sulphate leaching on landform evolution was investigated. Leaching of Zechstein salt (Na1), assumed to be at least 120 m thick in the study area, and the underlying, approximately 130 m thick Zechstein gypsum (A1-A3) caused further disruption of the overlying Triassic layers. In addition, the subrosion of more than 30 m of Röt (Upper Bunter Sandstone) gypsum and 50 m of Middle Muschelkalk gypsum above the Zechstein also shaped the relief.

The data obtained (recent and subrecent landforms, values on solutational activity) were first analysed in small regional units. The results of water analysis confirmed the geomorphographic data, so that, in relation to gypsum layers, different

levels of subsidence can be distinguished. The decisive factor influencing the present situation was, however, the preceding Zechstein salt leaching in the deeper bedrock. This intensified water percolation in the overlying series, enabling subsequent sulphate subsidence to control microforms of the Middle Bunter Sandstone cuesta scarp. The cuesta exhibits typical subsidence features and, in wide parts of the study area, it was situated on the top of the salt being leached. The occurrence of subsidence forms in front of the Kaufunger Wald scarp, the eastern Meißner slopes, the Schlierbachswald uplift, and the Bunter Sandstone between Heldra, Frieda and Bad Sooden-Allendorf provided further confirmation of this interpretation. Using geomorphological criteria, in the southern and southeastern study area the salt slope was shown to lie below the cuesta scarp of the Lower Muschelkalk

On the basis of these results, the primary salt distribution is assumed to have extended beyond the Lower Werra anticline. Apart from the effects of Saxonian tectonic processes, all the processes of landform evolution were thus due to subsidence and subsequent surficial geomorphological modification.

Furthermore, this area of Northern Hesse was characterized not only by the formation of peneplains, but also by the fact that resistance variations continued to be effective irrespective of climate.

Based on these results a model of relief evolution was developed, which on the basis of the conditions created by the Saxonian orogeny starts with the Oligocene period. The model shows the presence of five relief generations in the study area:

(1) The Oligocene relief generation was characterized by subsidence and peat formation in some locations (e.g. the Meißner troughs) and showed already the rough outlines of the present day relief.

(2) The Miocene relief generation, in which basalt subeffusively occupied positions in and on the Tertiary sediments, converting the underlying peat into brown coal, was characterized by further movement of the salt slope, resulting in further scarp retreat. Today the Hohe Meißner and the Bilstein, the highest local landforms, are relicts of this ancient surface.

(3) The Pliocene relief generation was characterized on the one hand by pediment formation in front of the Middle Bunter Sandstone cuesta and, on the other, by the development of extensive leaching areas in the Lower Bunter Sandstone. The latter were due to the different drainage conditions, since the groundwater table was considerably higher than today.

(4) The Pleistocene relief generation is characterized by the different evolutionary stages of the Werra valley. In addition, periglacial features typical of subdued mountain relief developed, including boulder, talus and loess covers. During the glacial periods subsidence activity ceased owing to permafrost. The effect of subsidence during the interglacials is shown by the variations in thickness of the lower terrace sediments, for example.

(5) The Holocene relief generation was and is characterized by progressive solution of gypsum, causing doline and sinkhole formation. Different thicknesses of 'Auelehm' (meadow loam) deposits point to subsidences in the Werra flood plain. Human activity has a considerable disruptive impact on the subsidence-influenced natural system.

## Lixiviation et morphogenèse dans les environs de l'anticlinal de l'Unterwerra (Nordhessen)

**R é s u m é :** Pour simplifier, nous restreindrons la diversité des désignations concernant la morphologie karstique. La doline d'effondrement (Erdfall), qui est due à une subsrosion en profondeur et non pas à la karstification, sera opposée à la doline, qu'on trouve dans un matériel apte à la karstification.

Une cartographie détaillée du relief dû à la lixiviation a servi de base à notre travail. Il s'est avéré nécessaire, compte tenu de la subsrosion récente, d'examiner les composants de chlorure, sulfate et carbonate dissouts dans les eaux superficielles et dans celles utilisées à des fins économiques. L'interprétation des informations obtenues montre qu'il existe une corrélation entre les régions caractérisées par les dolines d'effondrement (Erdfälle) et les affaissements de dolines.

La condition pour la genèse du relief est que la région de l'anticlinal de l'Unterwerra a été empreinte, de manière déterminante, par l'orogénie saxonnienne, lors de la transition Jura/Crétacé et de l'évolution climato-géomorphologique qui a suivi. L'impact de la lixiviation du sel, mais également du sulfate, sur la genèse du paysage, sera documenté au moyen de l'analyse géomorphologique. La lixiviation du sel de Zechstein (NaCl), dont l'épaisseur dans la région étudiée est évaluée à au moins 120 m, et des gypses de Zechstein (A1-A3) sous-jacents, avec une épaisseur d'environ 130 m, contribue à la dégradation des couches triassiques supérieures. En outre, la subsrosion de plus de 30 m de gypses de Röt et de 50 m de gypses du Muschelkalk moyen, au dessus du Zechstein, exerce une action modelante sur le relief.

Les résultats obtenus - formes récentes et subrécentes, valeurs de dissolution - seront tout d'abord analysés par petits groupes, suivant leur appartenance. Les résultats des analyses de l'eau confirment le résultat géomorphologique, ce qui nous permet, en nous basant sur les horizons de gypses, de parler de subsrosion étagée. La

situation actuelle est pourtant marquée de façon déterminante par la lixiviation précédante, en plus grande profondeur, du sel de Zechstein. Celle-ci a renforcé l'infiltration de l'eau dans les séries supérieures, permettant ainsi à la subsrosion du sulfate, qui a suivi, de déterminer les formes de détail devant l'escarpement du Buntsandstein moyen. L'escarpement se trouve, ainsi qu'il est typique aux vastes zones de lixiviation de la région étudiée, au-dessus du sel en lixiviation. L'apparition de formes de subsrosion devant le versant escarpé du Kaufunger Wald, devant les pentes orientales du Meißner, devant l'élévation du Schlierbachwald, ainsi que devant l'élévation de grès bigarré entre Heldra, Frieda et Bad Sooden-Allendorf, consolide cette interprétation. Dans l'encadrement sud et sud-oriental de la région étudiée, on a pu déceler la pente de sel sous la pente raide du Muschelkalk inférieur grâce à des critères géomorphologiques. A partir de ces résultats, nous admettons que l'extension primaire du sel s'étire jusqu'au-delà de l'anticlinal de l'Unterwerra, ce qui nous conduit à dire que, mises à part les incidences de la tectonique saxonnienne, tous les processus d'évolution du relief ne peuvent s'expliquer que par la lixiviation et le modelage géomorphologique qui a suivi.

De plus, cette région du Nordhessen n'est pas seulement caractérisée par la formation de surfaces d'érosion touchant toutes les couches, mais aussi par une érosion différentielle continue - et ceci indépendamment des climats.

Ces résultats nous ont permis de réaliser un modèle de l'évolution du relief. D'après ce modèle, nous avons 5 générations de relief dans la région étudiée; l'évolution du relief de l'époque postsaxonnienne persistante jusqu'au Tertiaire inférieur, avec ses couches sus-jacentes usées et ainsi propices à la lixiviation en suite de l'élévation ou l'affaissement des structures de fossés qui délimitent la région, n'a pu être prise en considération dans ce modèle.

(1) La génération de relief oligocène, qui, suite à la lixiviation du sel en profondeur, était caractérisée par un abaissement et par la formation de marécages dans certaines parties du terrain (par exemple les cuvettes du Meißner) et était en gros semblable au tracé du relief actuel.

(2) La génération de relief miocène, au cours de laquelle le basalte s'est installé dans et sur les sédiments tertiaires en transformant les marécages sous-jacents en charbon brun, était caractérisée par la progression continue du versant de sel, qui a entraîné le recul de l'escarpement. Le Hohe Meißner et le Bilstein, les parties les plus élevées du relief, témoignent aujourd'hui de cette ancienne surface du terrain.

(3) La génération de relief pliocène était caractérisée, d'un côté par la formation de la surface de base devant l'escarpement du Buntsandstein moyen, d'un autre côté par l'établissement des vastes zones de lixiviation du Buntsandstein inférieur. On attribue ces dernières aux conditions de

drainage essentiellement différentes, qui présentaient un niveau de la nappe phréatique sensiblement plus élevé.

(4) La génération de relief pléistocène se distinguait par les différents stades d'évolution de la vallée de la Werra. En outre, se développaient les formes périglaciaires, typiques aux zones de moyenne montagne d'Europe centrale, avec couvertures d'éboulis à blocs, de débris et couvertures loessiques. Lors des périodes glaciaires, la subsrosion a été interrompue à la suite de perma-gel. L'impact subsrosif lors des périodes interglaciaires est mis en évidence par les différentes épaisseurs des sédiments des terrasses basses.

(5) La génération de relief de l'Holocène était et est caractérisée par la solution progressive des gypses, qui est à l'origine des dolines et dolines d'effondrement (Erdfalle). Des dépôts argileux alluviaux d'épaisseurs différentes signalent des abaissements dans le fond de la vallée de la Werra. L'exploitation par l'homme a un impact considérable sur la nature, soumise à l'incidence des processus subsrosifs.



## Berliner Geographische Abhandlungen

Im Selbstverlag des Instituts für Physische Geographie der Freien Universität Berlin,  
Altensteinstraße 19, D-1000 Berlin 33 (Preise zuzüglich Versandkosten)

- Heft 1: HIERSEMENZEL, Sigrid-Elisabeth (1964)  
Britische Agrarlandschaften im Rhythmus des landwirtschaftlichen Arbeitsjahres, untersucht an 7 Einzelbeispielen. — 46 S., 7 Ktn., 10 Diagramme.  
ISBN 3-88009-000-9 (DM 5,—)
- Heft 2: ERGENZINGER, Peter (1965)  
Morphologische Untersuchungen im Einzugsgebiet der Ilz (Bayerischer Wald). — 48 S., 62 Abb.  
ISBN 3-88009-001-7 (*vergriffen*)
- Heft 3: ABDUL-SALAM, Adel (1966)  
Morphologische Studien in der Syrischen Wüste und dem Antilibanon. — 52 S., 27 Abb. im Text, 4 Skizzen, 2 Profile, 2 Karten, 36 Bilder im Anhang.  
ISBN 3-88009-002-5 (*vergriffen*)
- Heft 4: PACHUR, Hans-Joachim (1966)  
Untersuchungen zur morphoskopischen Sandanalyse. — 35 S., 37 Diagramme, 2 Tab., 21 Abb.  
ISBN 3-88009-003-3 (*vergriffen*)
- Heft 5: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. I. Feldarbeiten 1964/65 (1967)  
65 S., 34 Abb., 1 Kte.  
ISBN 3-88009-004-1 (*vergriffen*)
- Heft 6: ROSTANKOWSKI, Peter (1969)  
Siedlungsentwicklung und Siedlungsformen in den Ländern der russischen Kosakenheere. — 84 S., 15 Abb., 16 Bilder, 2 Karten.  
ISBN 3-88009-005-X (DM 15,—)
- Heft 7: SCHULZ, Georg (1969)  
Versuch einer optimalen geographischen Inhaltsgestaltung der topographischen Karte 1:25 000 am Beispiel eines Kartenausschnittes. — 28 S., 6 Abb. im Text, 1 Kte. im Anhang.  
ISBN 3-88009-006-8 (DM 10,—)
- Heft 8: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. II. Feldarbeiten 1965/66 (1969)  
82 S., 15 Abb., 27 Fig., 13 Taf., 11 Karten.  
ISBN 3-88009-007-6 (DM 15,—)
- Heft 9: JANNSEN, Gert (1970)  
Morphologische Untersuchungen im nördlichen Tarso Voon (Zentrales Tibesti). — 66 S., 12 S. Abb., 41 Bilder, 3 Karten.  
ISBN 3-88009-008-4 (DM 15,—)
- Heft 10: JÄKEL, Dieter (1971)  
Erosion und Akkumulation im Enneri Bardague-Araye des Tibesti-Gebirges (zentrale Sahara) während des Pleistozäns und Holozäns. — Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti, 55 S., 13 Abb., 54 Bilder, 3 Tabellen, 1 Nivellement (4 Teile), 60 Profile, 3 Karten (6 Teile).  
ISBN 3-88009-009-2 (DM 20,—)
- Heft 11: MÜLLER, Konrad (1971)  
Arbeitsaufwand und Arbeitsrhythmus in den Agrarlandschaften Süd- und Südostfrankreichs: Les Dombes bis Bouches-du-Rhone. — 64 S., 18 Karten, 26 Diagramme, 10 Fig., zahlreiche Tabellen.  
ISBN 3-88009-010-6 (DM 25,—)
- Heft 12: OBENAUF, K. Peter (1971)  
Die Enneris Gonoa, Toudoufou, Oudingueur und Nemagayeko im nordwestlichen Tibesti. Beobachtungen zu Formen und Formung in den Tälern eines ariden Gebirges. — Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 70 S., 6 Abb., 10 Tab., 21 Photos, 34 Querprofile, 1 Längsprofil, 9 Karten.  
ISBN 3-88009-011-4 (DM 20,—)
- Heft 13: MOLLE, Hans-Georg (1971)  
Gliederung und Aufbau fluviatiler Terrassenakkumulation im Gebiet des Enneri Zoumri (Tibesti-Gebirge). — Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 53 S., 26 Photos, 28 Fig., 11 Profile, 5 Tab., 2 Karten.  
ISBN 3-88009-012-2 (DM 10,—)
- Heft 14: STOCK, Peter (1972)  
Photogeologische und tektonische Untersuchungen am Nordrand des Tibesti-Gebirges, Zentral-Sahara, Tchad. — Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 73 S., 47 Abb., 4 Karten.  
ISBN 3-88009-013-0 (DM 15,—)

## Berliner Geographische Abhandlungen

Im Selbstverlag des Instituts für Physische Geographie der Freien Universität Berlin,  
Altensteinstraße 19, D-1000 Berlin 33 (Preise zuzüglich Versandkosten)

- Heft 15: BIEWALD, Dieter (1973)  
Die Bestimmungen eiszeitlicher Meeresoberflächentemperaturen mit der Ansatztiefe typischer Korallenriffe. – 40 S., 16 Abb., 26 Seiten Figuren und Karten.  
ISBN 3-88009-015-7 (DM 10,—)
- Heft 16: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. III. Feldarbeiten 1966/67 (1972)  
156 S., 133 Abb., 41 Fig., 34 Tab., 1 Karte.  
ISBN 3-88009-014-9 (DM 45,—)
- Heft 17: PACHUR, Hans-Joachim (1973)  
Geomorphologische Untersuchungen im Raum der Serir Tibesti (Zentralsahara). – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 58 S., 39 Photos, 16 Fig. und Profile, 9 Tabellen, 1 Karte.  
ISBN 3-88009-016-5 (DM 25,—)
- Heft 18: BUSCHE, Detlef (1973)  
Die Entstehung von Pedimenten und ihre Überformung, untersucht an Beispielen aus dem Tibesti-Gebirge, Republique du Tchad. – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 130 S., 57 Abb., 22 Fig., 1 Tab., 6 Karten.  
ISBN 3-88009-017-3 (DM 40,—)
- Heft 19: ROLAND, Norbert W. (1973)  
Anwendung der Photointerpretation zur Lösung stratigraphischer und tektonischer Probleme im Bereich von Bardai und Aozou (Tibesti-Gebirge, Zentral-Sahara). – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 48 S., 35 Abb., 10 Fig., 4 Tab., 2 Karten.  
ISBN 3-88009-018-1 (DM 20,—)
- Heft 20: SCHULZ, Georg (1974)  
Die Atlaskartographie in Vergangenheit und Gegenwart und die darauf aufbauende Entwicklung eines neuen Erdatlas. – 59 S., 3 Abb., 8 Fig., 23 Tab., 8 Karten.  
ISBN 3-88009-019-X (DM 35,—)
- Heft 21: HABERLAND, Wolfram (1975)  
Untersuchungen an Krusten, Wüstenlacken und Polituren auf Gesteinsoberflächen der nördlichen und mittleren Sahara (Libyen und Tchad). – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 71 S., 62 Abb., 24 Fig., 10 Tab.  
ISBN 3-88009-020-3 (DM 50,—)
- Heft 22: GRUNERT, Jörg (1975)  
Beiträge zum Problem der Talbildung in ariden Gebieten, am Beispiel des zentralen Tibesti-Gebirges (Rep. du Tchad). – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 96 S., 3 Tab., 6 Fig., 58 Profile, 41 Abb., 2 Karten.  
ISBN 3-88009-021-1 (DM 35,—)
- Heft 23: ERGENZINGER, Peter Jürgen (1978)  
Das Gebiet des Enneri Misky im Tibesti-Gebirge, Republique du Tchad – Erläuterungen zu einer geomorphologischen Karte 1:200 000. – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 60 S., 6 Tabellen, 24 Fig., 24 Photos, 2 Karten.  
ISBN 3-88009-022-X (DM 40,—)
- Heft 24: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. IV. Feldarbeiten 1967/68, 1969/70, 1974 (1976)  
24 Fig., 79 Abb., 12 Tab., 2 Karten.  
ISBN 3-88009-023-8 (DM 30,—)
- Heft 25: MOLLE, Hans-Georg (1979)  
Untersuchungen zur Entwicklung der vorzeitlichen Morphodynamik im Tibesti-Gebirge (Zentral-Sahara) und in Tunesien. – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 104 S., 22 Abb., 40 Fig., 15 Tab., 3 Karten.  
ISBN 3-88009-024-6 (DM 35,—)
- Heft 26: BRIEM, Elmar (1977)  
Beiträge zur Genese und Morphodynamik des ariden Formenschatzes unter besonderer Berücksichtigung des Problems der Flächenbildung am Beispiel der Sandschwemmebenen in der östlichen Zentralsahara. – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 89 S., 38 Abb., 23 Fig., 8 Tab., 155 Diagramme, 2 Karten.  
ISBN 3-88009-025-4 (DM 25,—)

## Berliner Geographische Abhandlungen

Im Selbstverlag des Instituts für Physische Geographie der Freien Universität Berlin,  
Altensteinstraße 19, D-1000 Berlin 33 (Preise zuzüglich Versandkosten)

- Heft 27: GABRIEL, Baldur (1977)  
Zum ökologischen Wandel im Neolithikum der östlichen Zentralsahara. – Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. 111 S., 9 Tab., 32 Fig., 41 Photos, 2 Karten.  
ISBN 3-88009-026-2 (DM 35,-)
- Heft 28: BÖSE, Margot (1979)  
Die geomorphologische Entwicklung im westlichen Berlin nach neueren stratigraphischen Untersuchungen. – 46 S., 3 Tab., 14 Abb., 25 Photos, 1 Karte.  
ISBN 3-88009-027-0 (DM 14,-)
- Heft 29: GEHRENKEMPER, Johannes (1978)  
Ranas und Reliefgenerationen der Montes de Toledo in Zentralspanien. – S., 68 Abb., 3 Tab., 32 Photos, 2 Karten.  
ISBN 3-88009-028-9 (DM 20,-)
- Heft 30: STÄBLEIN, Gerhard (Hrsg.) (1978)  
Geomorphologische Detailaufnahme. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm I. – 90 S., 38 Abb. und Beilagen, 17 Tab.  
ISBN 3-88009-029-7 (DM 18,-)
- Heft 31: BARSCH, Dietrich & LIEDTKE, Herbert (Hrsg.) (1980)  
Methoden und Anwendbarkeit geomorphologischer Detailkarten. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm II. – 104 S., 25 Abb., 5 Tab.  
ISBN 3-88009-030-0 (DM 17,-)
- Heft 32: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti. V. Abschlußbericht (1982)  
182 S., 63 Fig. und Abb., 84 Photos, 4 Tab. 5 Karten.  
ISBN 3-88009-031-9 (DM 60,-)
- Heft 33: TRETER, Uwe (1981)  
Zum Wasserhaushalt schleswig-holsteinischer Seengebiete. – 168 S., 102 Abb., 57 Tab.  
ISBN 3-88009-033-5 (DM 40,-)
- Heft 34: GEHRENKEMPER, Kirsten (1981)  
Rezenter Hangabtrag und geoökologische Faktoren in den Montes de Toledo. Zentralspanien. – 78 S., 39 Abb., 13 Tab., 24 Photos, 4 Karten.  
ISBN 3-88009-032-7 (DM 20,-)
- Heft 35: BARSCH, Dietrich & STÄBLEIN, Gerhard (Hrsg.) (1982)  
Erträge und Fortschritte der geomorphologischen Detailkartierung. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm III. – 134 S., 23 Abb., 5 Tab., 5 Beilagen.  
ISBN 3-88009-034-3 (DM 30,-)
- Heft 36: STÄBLEIN, Gerhard (Hrsg.) (1984)  
Regionale Beiträge zur Geomorphologie. Vorträge des Ferdinand von Richthofen-Symposiums, Berlin 1983. – 140 S., 67 Abb., 6 Tabellen.  
ISBN 3-88009-035-1 (DM 35,-)
- Heft 37: ZILLBACH, Käthe (1984)  
Geoökologische Gefügemuster in Süd-Marokko. Arbeit im Forschungsprojekt Mobilität aktiver Kontinentalränder. – 95 S., 61 Abb., 2 Tab., 3 Karten.  
ISBN 3-88009-036-X (DM 18,-)
- Heft 38: WAGNER, Peter (1984)  
Rezente Abtragung und geomorphologische Bedingungen im Becken von Ouarzazate (Süd-Marokko). Arbeit im Forschungsprojekt Mobilität aktiver Kontinentalränder. – 112 Seiten, 63 Abb., 48 Tab., 3 Karten.  
ISBN 3-88009-037-8 (DM 18,-)
- Heft 39: BARSCH, Dietrich & LIEDTKE, Herbert (Hrsg.) (1985)  
The Geomorphological Mapping in the Federal Republic of Germany. Contributions to the GMK priority program IV. – 89 S., 16 Abb., 5 Tabellen.  
ISBN 3-88009-038-6 (DM 22,50)
- Heft 40: MÄUSBACHER, Roland (1985)  
Die Verwendbarkeit der geomorphologischen Karte 1 : 25 000 (GMK 25) der Bundesrepublik Deutschland für Nachbarwissenschaften und Planung. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm V. – 97 S., 15 Abb., 31 Tab., 21 Karten.  
ISBN 3-88009-039-4 (DM 18,-)



## Berliner Geographische Abhandlungen

Im Selbstverlag des Instituts für Physische Geographie der Freien Universität Berlin,  
Altensteinstraße 19, D-1000 Berlin 33 (Preise zuzüglich Versandkosten)

- Heft 41: STÄBLEIN, Gerhard (Hrsg.) (1986)  
Geo- und biowissenschaftliche Forschungen der Freien Universität Berlin im Werra-Meißner-Kreis (Nordhessen). Beiträge zur Werra-Meißner-Forschung I. – 265 S., 82 Abb., 45 Tab., 3 Karten.  
ISBN 3-88009-040-8 (DM 28,—)
- Heft 42: BARSCH, Dietrich & LESER, Hartmut (Hrsg.) (1987)  
Regionale Beispiele zur geomorphologischen Kartierung in verschiedenen Maßstäben (1 : 5 000 bis 1 : 200 000). Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm VI.  
ISBN 3-88009-041-6 (*im Druck*)
- Heft 43: VAHRSON, Wilhelm-Günther (1987)  
Aspekte bodenphysikalischer Untersuchungen in der libyschen Wüste. Ein Beitrag zur Frage spätpleistozäner und holozäner Grundwasserbildung. – 92 S., 12 Abb., 56 Fig., 7 Tab., 1 Karte.  
ISBN 3-88009-042-4 (DM 18,—)
- Heft 44: PACHUR, Hans-Joachim & RÖPER, Hans-Peter (1987)  
Zur Paläolimnologie Berliner Seen.  
ISBN 3-88009-043-2 (*im Druck*)
- Heft 45: BERTZEN, Günter (1987)  
Diatomeenanalytische Untersuchungen an spätpleistozänen und holozänen Sedimenten des Tegeler Sees.  
ISBN 3-88009-044-0 (*im Druck*)
- Heft 46: FRANK, Felix (1987)  
Die Auswertung großmaßstäbiger Geomorphologischer Karten (GMK 25) für den Schulunterricht. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm VII. – 100 S., 29 Abb., Legende der Geomorphologischen Karte 1 : 25 000 (GMK 25).  
ISBN 3-88009-045-9 (DM 18,—)
- Heft 47: LIEDTKE, Herbert (Hrsg.) (1988)  
Untersuchungen zur Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland – Neue Ergebnisse der Geomorphologischen Kartierung. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm VIII.  
ISBN 3-88009-046-7 (*im Druck*)
- Heft 48: MÖLLER, Klaus (1988)  
Reliefentwicklung und Auslaugung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels (Nordhessen). – 187 S., 55 Abb., 20 Tab., 2 Karten.  
ISBN 3-88009-047-5 (DM 25,—)

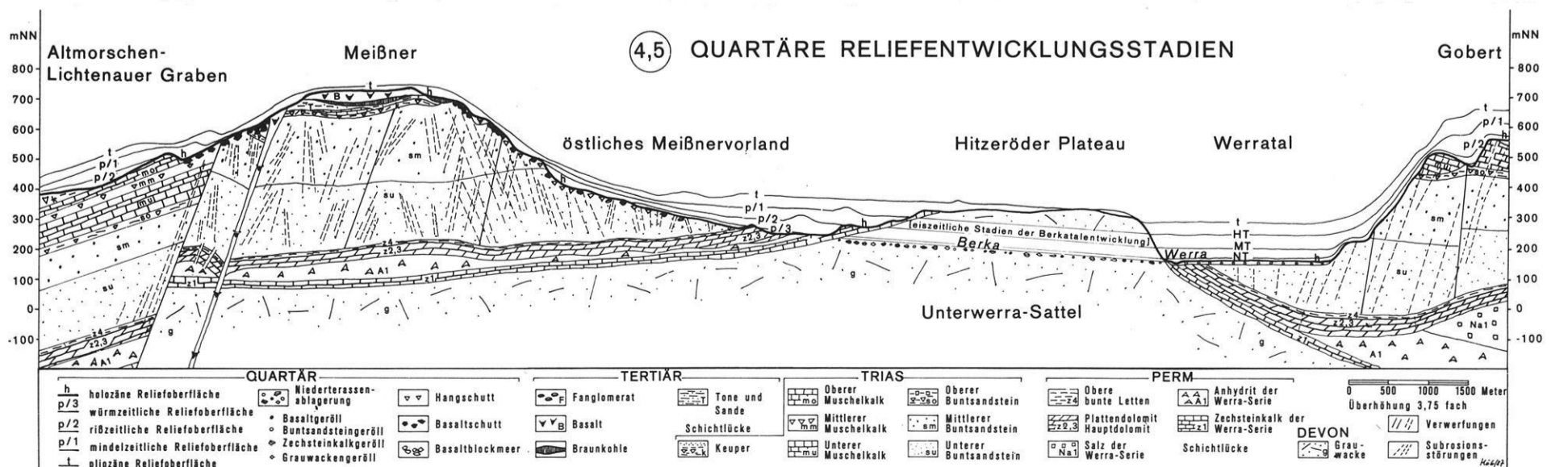
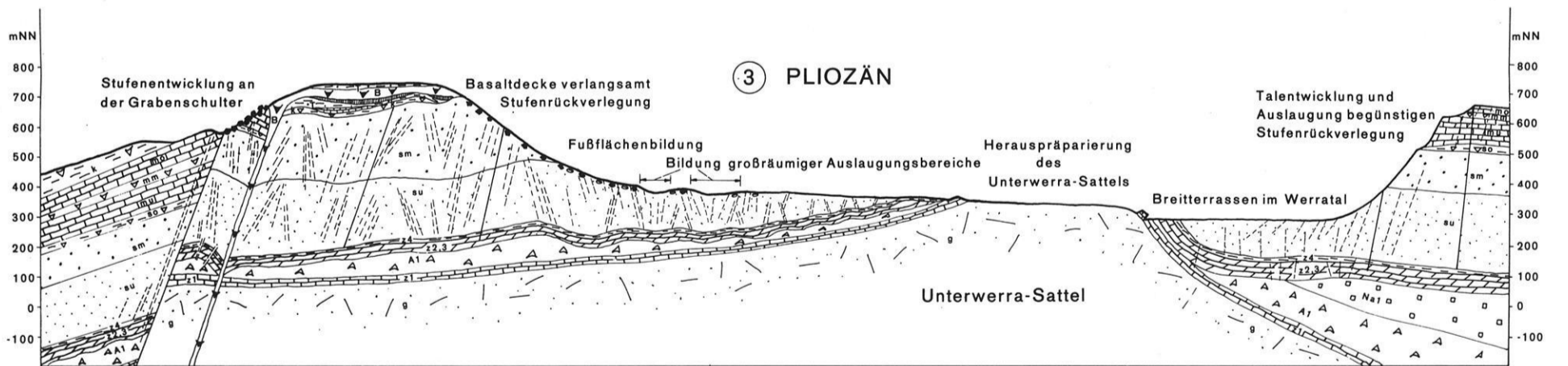
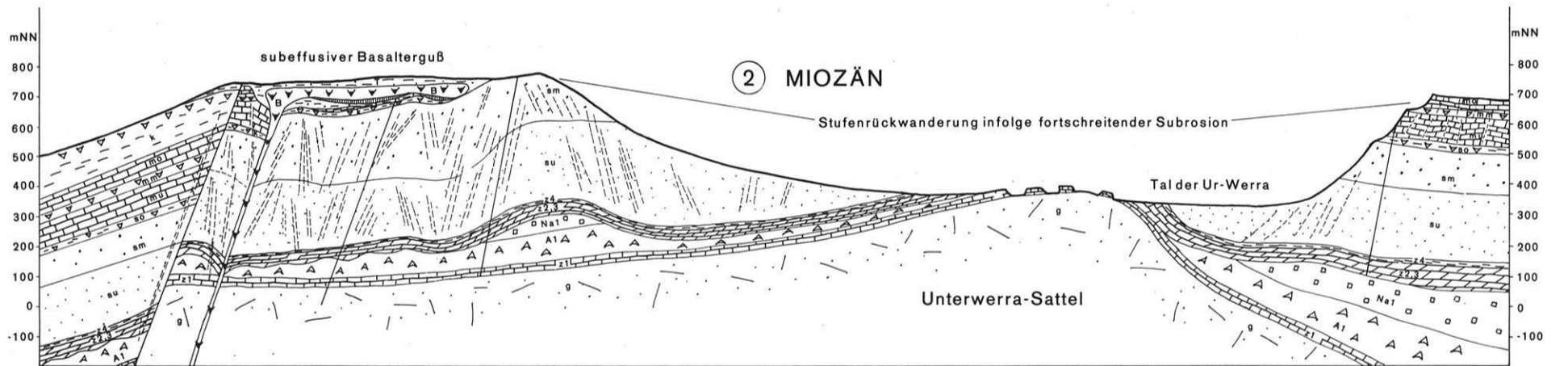
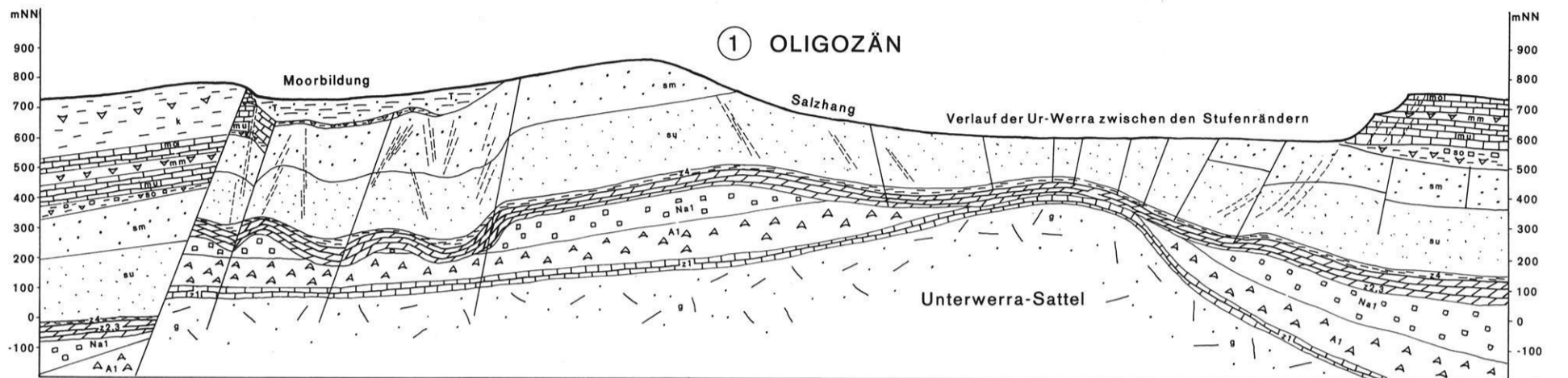
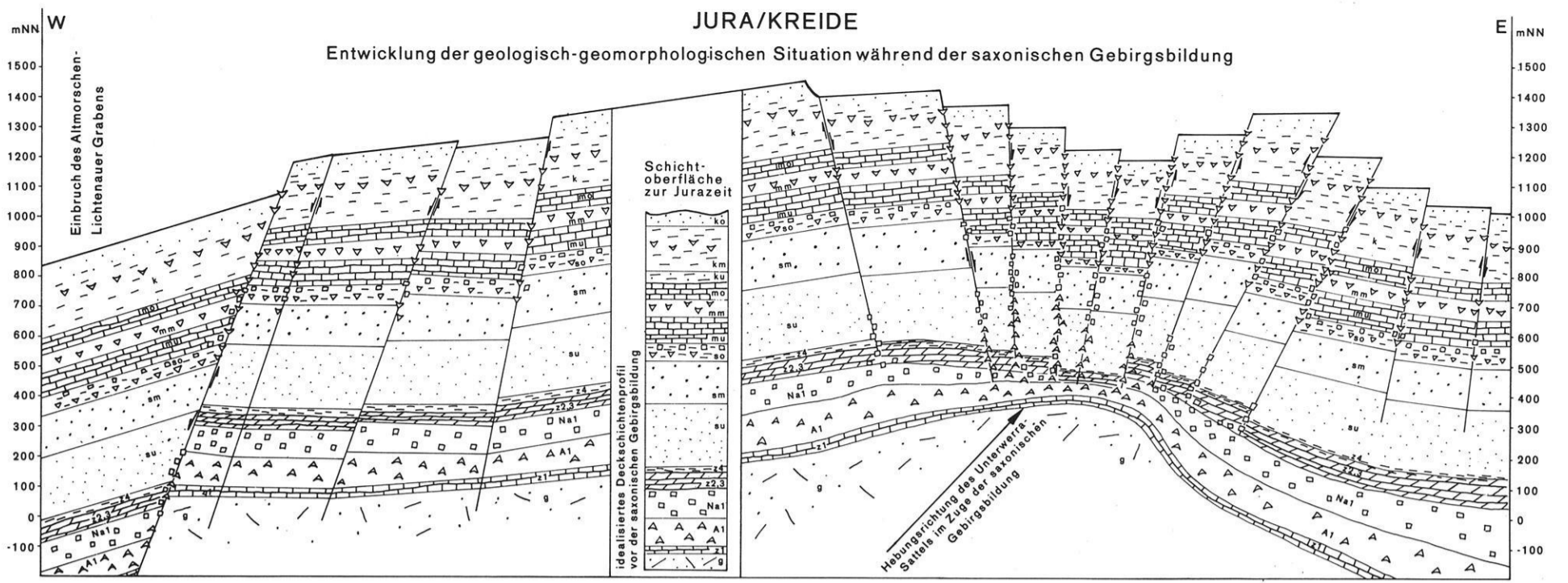
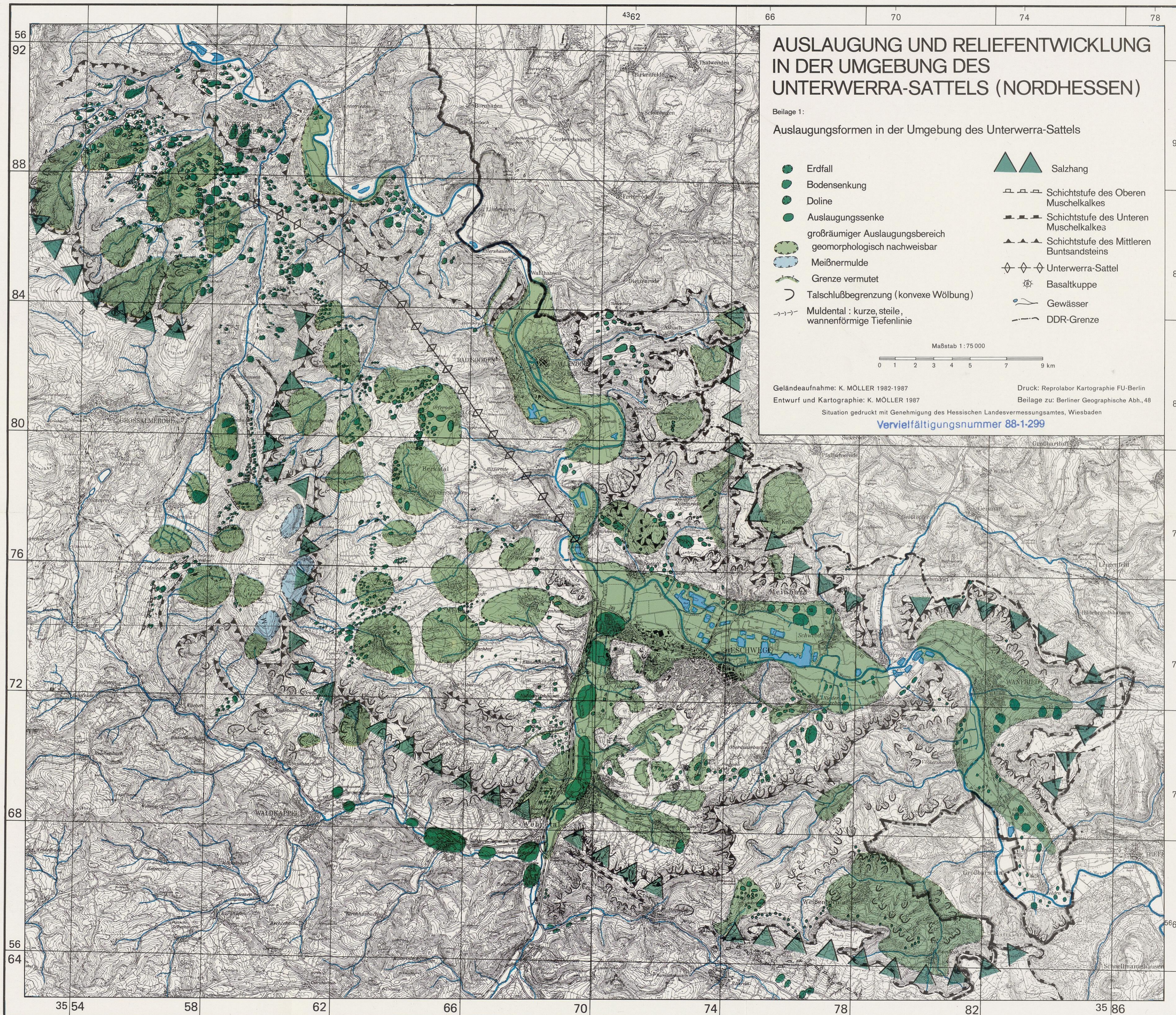


Abb. 48: Modell der Reliefentwicklung in der Umgebung des Unterwerra-Sattels.

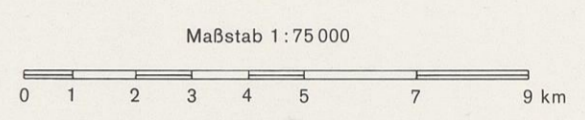
Die Abbildung gibt in einem West-Ost Profil einen Überblick über die unterschiedlichen Reliefentwicklungsphasen seit der saxonischen Gebirgsbildung. Besonderer Wert wurde bei der Darstellung auf die Verbreitung des Salzes und die mögliche Reaktion dieses Mediums auf die tektonischen Beanspruchungen gelegt.



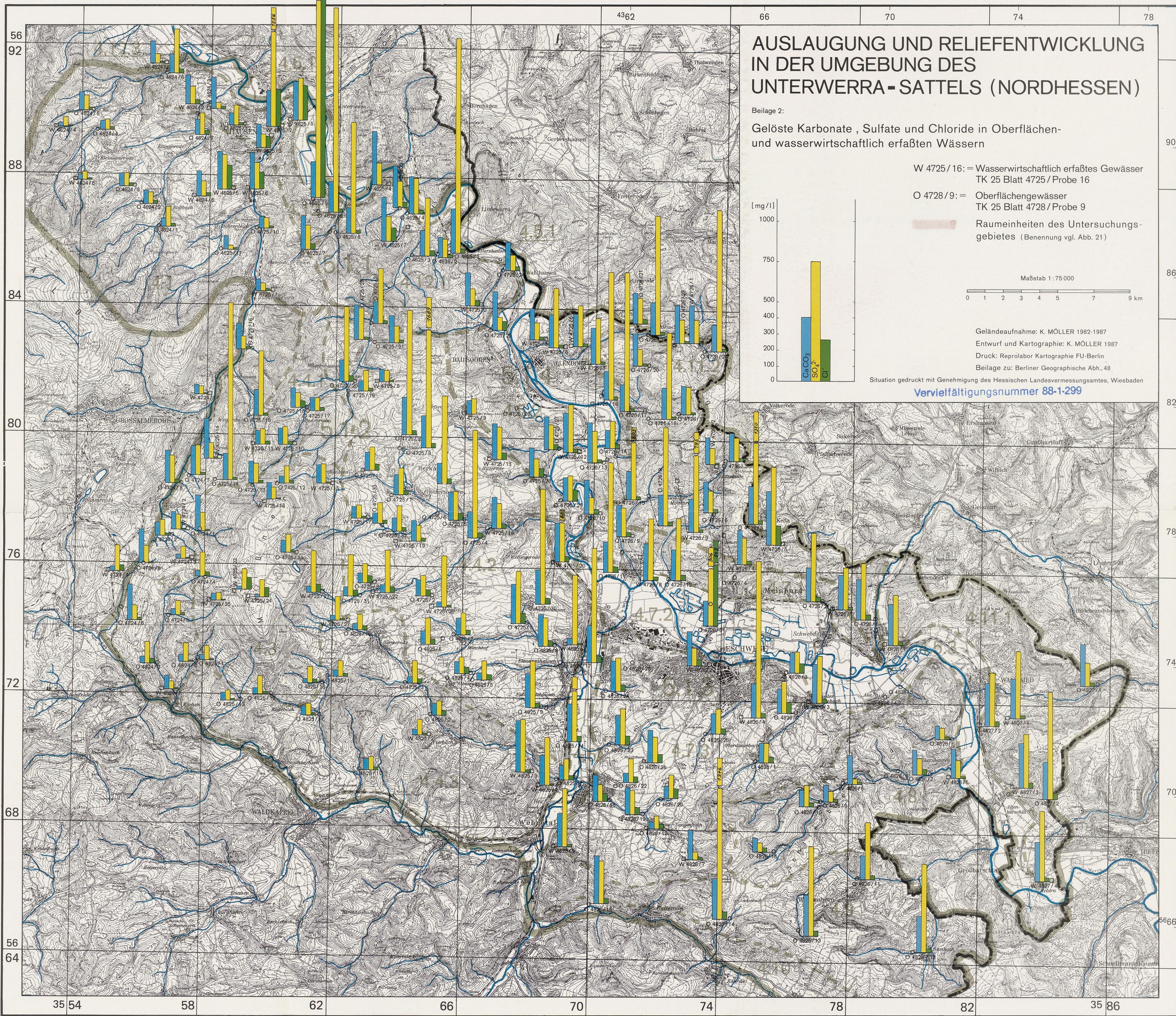
# AUSLAUGUNG UND RELIEFENTWICKLUNG IN DER UMGEBUNG DES UNTERWERRA-SATTELS (NORDHESSEN)

Beilage 1:  
Auslaugungsformen in der Umgebung des Unterwerra-Sattels

- |  |   |
|--|---|
| ● Erdfall  | ▲▲ Salzhang                                   |
| ● Bodensenkung   | □ □ □ Schichtstufe des Oberen Muschelkalkes   |
| ● Doline   | ■ ■ ■ Schichtstufe des Unteren Muschelkalkes  |
| ● Auslaugungssenke   | ▲▲▲ Schichtstufe des Mittleren Buntsandsteins |
| ○ großräumiger Auslaugungsbereich geomorphologisch nachweisbar | ◇◇◇ Unterwerra-Sattel                         |
| ● Meißnermulde   | ⊙ Basaltkuppe                                 |
| — Grenze vermutet  | — Gewässer                                    |
| ⌒ Talschlußbegrenzung (konvexe Wölbung)                        | — DDR-Grenze                                  |
| →→→ Muldental : kurze, steile, wannenförmige Tiefenlinie       |   |



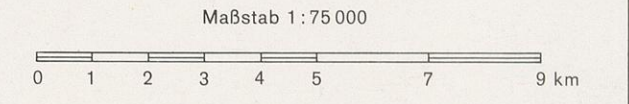
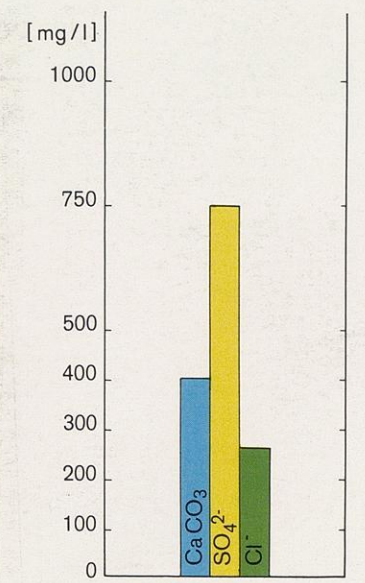
Geländeaufnahme: K. MÖLLER 1982-1987  
 Entwurf und Kartographie: K. MÖLLER 1987  
 Situation gedruckt mit Genehmigung des Hessischen Landesvermessungsamtes, Wiesbaden  
 Druck: Reprolabor Kartographie FU-Berlin  
 Beilage zu: Berliner Geographische Abh., 48  
**Vervielfältigungsnummer 88-1-299**



# AUSLAUGUNG UND RELIEFENTWICKLUNG IN DER UMGEBUNG DES UNTERWERRA-SATTELS (NORDHESSEN)

Beilage 2:  
Gelöste Karbonate, Sulfate und Chloride in Oberflächen-  
und wasserwirtschaftlich erfaßten Wässern

W 4725/16: = Wasserwirtschaftlich erfaßtes Gewässer  
TK 25 Blatt 4725/Probe 16  
O 4728/9: = Oberflächengewässer  
TK 25 Blatt 4728/Probe 9  
Raumeinheiten des Untersuchungs-  
gebietes (Benennung vgl. Abb. 21)



Geländeaufnahme: K. MÖLLER 1982-1987  
Entwurf und Kartographie: K. MÖLLER 1987  
Druck: Reprolabor Kartographie FU-Berlin  
Beilage zu: Berliner Geographische Abh., 48

Situation gedruckt mit Genehmigung des Hessischen Landesvermessungsamtes, Wiesbaden  
**Vervielfältigungsnummer 88-1-299**

35 54 58 62 66 70 74 78 82 35 86