

ÜBER ERDFÄLLE AM NORDWESTLICHEN HARZRAND ZWISCHEN
HAHAUSEN UND OSTERODE AM HARZ (NIEDERSACHSEN)

mit 41 Abb., 34 Tab., Taf. 3 u. 4 in Tasche

von

DIETER HOHM ⁺⁾

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. EINLEITUNG	36
2. STRATIGRAPHISCHER ÜBERBLICK	39
2.1. Präzechstein	39
2.2. Zechstein	39
2.2.1. Zechstein 1 (Werra-Serie)	39
2.2.2. Zechstein 2 (Staßfurt-Serie)	40
2.2.3. Zechstein 3 (Leine-Serie)	41
2.2.4. Zechstein 4 (Aller-Serie)	41
2.3. Buntsandstein	42
2.3.1. Unterer Buntsandstein (su)	42
2.3.2. Mittlerer Buntsandstein (sm)	42
2.3.3. Oberer Buntsandstein (so)	42
2.4. Muschelkalk (m)	43
2.5. Quartär (q)	43
3. TEKTONISCHER ÜBERBLICK	46
4. KARST-KLASSIFIKATIONEN	49
4.1. Gliederung nach dem Karstgestein	49
4.2. Gliederung nach den Lagerungsverhältnissen des Karstgesteins	51
4.3. Gliederung nach dem Ausgangspunkt der Verkarstung	52
4.4. WEBERSche Phasentheorie der Auslaugung	52
5. METHODEN	53
5.1. Erdfallkartierung	53
5.2. Luftbildauswertung	54
5.3. Fallgewichtsseismische Untersuchungen	55

+)

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Geol. Dr. rer.nat. Dieter HOHM
Institut für Geologie und Paläontologie
der Universität Hannover, Callinstraße 30
3000 Hannover 1

6.	BEFUNDE	58
6.1.	Gesamtübersicht	59
6.2.	Verteilung der Erdfälle innerhalb der stratigraphischen Einheiten	65
6.2.1.	Erdfälle im Oberen Buntsandstein (Röt)	66
6.2.2.	Erdfälle im Unteren Buntsandstein	69
6.2.3.	Erdfälle im Zechstein 3 und 4	72
6.2.4.	Erdfälle im Basalanhydrit	75
6.2.5.	Erdfälle im Staßfurtkalk (Stinkkalk - Stinkdolomit)	76
6.2.6.	Erdfälle in der Einsturzbrecchie aus Stinkkalk und Stinkdolomit und in den Residualbildungen des Werra-Anhydrit	80
6.2.7.	Erdfälle im Werra-Anhydrit	81
7.	INTERPRETATION DER BEFUNDE	85
7.1.	Erdfälle im Oberen Buntsandstein	86
7.2.	Erdfälle im Unteren Buntsandstein	87
7.3.	Erdfälle im Zechstein 3 und 4	93
7.4.	Erdfälle im Basalanhydrit	94
7.5.	Erdfälle im Staßfurtkalk (Stinkkalk - Stinkdolomit)	95
7.6.	Erdfälle in der Einsturzbrecchie aus Stinkkalk und Stinkdolomit und in den Residualbildungen des Werra-Anhydrit	95
7.7.	Erdfälle im Werra-Anhydrit	96
8.	ERDFALLGEFÄHRDUNG DES GEBIETES	96
9.	ZUSAMMENFASSUNG	98
10.	ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN	99
11.	ANHANG	107
11.1.	Verzeichnis der Abbildungen	107
11.2.	Verzeichnis der Tabellen	108
11.3.	Verzeichnis der Tafeln (3 und 4 in Tasche)	108
11.4.	Abb. 13-41, Tab. 21-34	109

EINLEITUNG

Schon seit "Grauer Vorzeit" befassen sich die Bewohner des südwestlichen Harzvorlandes mit dem Phänomen "Erdfall". Eine Vielzahl von Sagen rankt sich besonders um die größten, spektakulärsten Erdfälle. Mit Eintritt in die Neuzeit wich die mythische Betrachtungsweise einer mehr rationalen. So brachte z.B. BEHRENS (1703) bereits naturwissenschaftliche Gedanken über dieses Thema zu Papier.

Erste Schadensfälle durch Subrosion (Erdfall in der Nähe des Bahnhofs Seesen bei km 86,5, 1876) zwangen zu intensiver Beschäftigung mit dem Fragenkreis.

Neben einer Vielzahl von Gutachten befaßten sich besonders die Arbeiten von: von KOENEN (1887, 1894), KLOOS (1891), Kaiser & Siegert (1908), SPETHMANN (1910), THÜRNUAU (1913), GRUPE (1916), HAEFKE (1926), BIESE (1931), KROME (1950), A. HERRMANN (1953, 1956, 1964), SEEDORF (1955), PRIESNITZ (1969 a u. b, 1970), DRESCHER & JORDAN (1973), BÜCHNER (1976 a u. b), HINZE (1976) und JORDAN (1976 a u. b) mit Erdfällen in diesem Bereich. Viele weitere Veröffentlichungen über andere Karstregionen erweiterten die Kenntnisse über diese Subrosionsform. Eine Synopsis des heutigen Wissensstandes lieferten die "Proceedings zum Symposium über Erdfälle und Bodensenkungen in Hannover, 1973".

Ausgehend vom regional-geologischen Bau wird in dieser Arbeit versucht:

1. das Untersuchungsgebiet sinnvoll in die verschiedenen Karstsystematiken einzuordnen;
2. über die Kartierung der einzelnen Erdfälle Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Morphologie und Mechanik zu erfassen;
3. verschiedene Modelle zur Genese von Erdfällen anhand konkreter Beispiele zu diskutieren;
4. Vorstellungen über den unterschiedlichen "Gefährungsgrad" dieser Region zu entwickeln.

Das Arbeitsgebiet erstreckt sich von der NW-Spitze des Harzes bei Neukeug in einem etwa 25 km langen, maximal 5 km breiten Streifen bis Osterode am Harz. Die Ostgrenze wird durch den Ausstrich des Zechsteinkalkes (ca₁) markiert. Die Westgrenze bilden der Westerhöfer Wald bzw. die nach Süden fließende Söse (Abb. 1).

Die Geländearbeiten wurden in den Sommern 1973-1977 durchgeführt.

Die Anregung zu dieser Arbeit gab Herr Prof. Dr. REXHÄUSER (NLfB, Hannover), der mir auch die Einsicht in das Archiv seiner Behörde ermöglichte. Herr Prof. Dr. HENNINGSSEN (Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Hannover) betreute die Arbeit. Wesentliche Hilfe und freundliche Unterstützung bei

Ausbau und Anwendung der Hammerschlagseismik fand ich bei Herrn Prof. Dr. VETTERLEIN (Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Hannover). Unterlagen über Erdfälle im Stadtgebiet von Seesen stellte mir Herr Dipl.-Berging. OPPERMANN zur Verfügung. Herr Dr. MAUTHE (Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Hannover) wertete für mich die Luftbilder aus. Den Genannten und Allen, die mich bei den Geländearbeiten tatkräftig unterstützten und durch Diskussionsbeiträge zum Gelingen der Arbeit beitrugen, möchte ich herzlich danken.

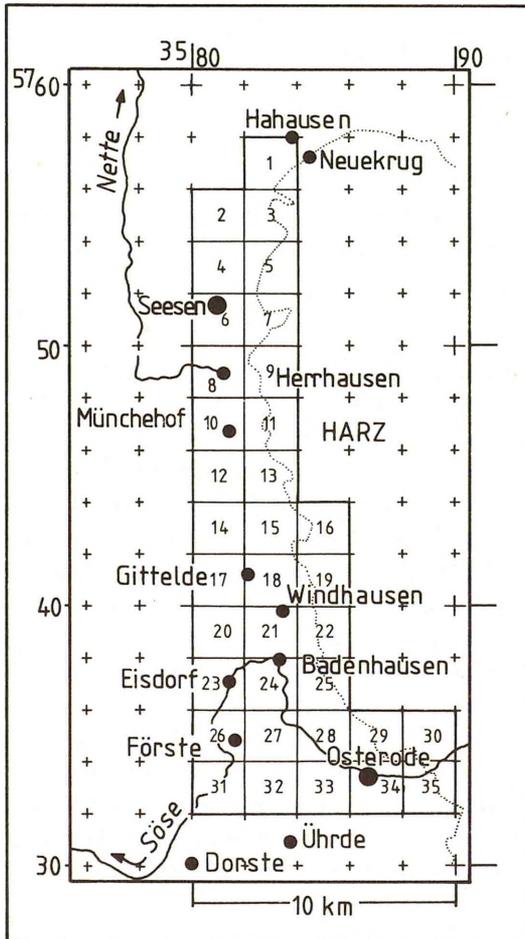


Abb.1: Lage des Arbeitsgebietes
(Blattnummern der DGK 5)

2. STRATIGRAPHISCHER ÜBERBLICK

2.1. PRÄZECHSTEIN

In den westlichen Randgebieten des Harzes liegt auf variskisch gefaltetem Unterkarbon (mit Ausnahme der NW-Ecke des Harzes, wo auch Oberkarbon konkordant mit Unterkarbon verbunden ist - FIGGE, 1964) diskordant Rotliegendes. Die Konglomerate, Sandsteine und Letten des Rotliegenden reichen bis in den Raum Herrhausen nach Süden. Weiter südlich wurden aus paläogeographischen Gründen (Bereich der Hunsrück-Oberharzschwelle = Eichsfeldschwelle) keine rotliegend-zeitlichen Sedimente abgelagert.

2.2. ZECHSTEIN

2.2.1. Zechstein 1 (Werra-Serie)

Die Transgression des Zechstein setzt mit dem Zechstein-Konglomerat fast im gesamten Gebiet ein. Das zwischen 0.5 und 2.5 m mächtige Schichtglied keilt im Süden teilweise aus. In den rotliegendfreien Gebieten liegt die Einheit diskordant auf meist rot gefärbtem Kulm (die Rotfärbung wird zum Teil sekundär, als Folge der permischen Verebnung - zum Teil aber auch als primäre Bildung gedeutet - vgl. FIGGE, 1964).

Mit einer Mächtigkeit von maximal 0.4 m folgt darüber der Kupferschiefer (T_1).

Durch die gesamte Zechsteinzeit bis weit in die Buntsandsteinzeit wird die Paläogeographie des Raumes entscheidend von der permisch angelegten Eichsfeldschwelle geprägt. So äußert sich dieses Hochgebiet im Zechsteinkalk (ca_1) in einer mehr oder weniger kontinuierlichen Mächtigkeitsreduzierung. Von annähernd 20 m im Norden nimmt diese Einheit auf nur noch ca. 4 m bei Osterode ab. Gleichzeitig verringert sich die Dicke der einzelnen Bänke dieses Schichtgliedes.

Werra-Anhydrit (A_1)

Im Werra-Anhydrit bilden sich symmetrisch zur Eichsfeldschwelle zwei "Sulfat-Wälle" aus (HEIDORN, 1949). Zwischen Osterode und Badenhausen erreicht der Werra-Anhydrit Mächtigkeiten von ca. 250 m (nördlicher Sulfat-Wall). Im Norden des Arbeitsgebietes, zwischen Herrhausen und Neuekrug, wird die Mächtigkeit dieser Schicht, gestützt auf die Ergebnisse der Bohrung Lutter 1 (A. HERRMANN, 1965), auf ca. 50 m geschätzt. Nördlich von Badenhausen treten Gips oder Anhydrit nicht mehr zu Tage. Den Platz der Sulfate nehmen Residualbildungen und Einsturzbreccien ein (A_1, res). Werra-Steinsalz wurde im Arbeitsgebiet nicht nachgewiesen.

2.2.2. Zechstein 2 (Staßfurt-Serie)

Die Sedimentation des Zechstein 2 beginnt mit dem Braunroten Salzton (T₂). Der ziegelrote, glimmerreiche Ton wird ca. 1 m mächtig, scheint jedoch N Gittelde lokal zu fehlen (HINZE, 1976).

Staßfurtdolomit (Stinkkalk - Stinkdolomit (ca₂))

Der Staßfurtdolomit weist zwei verschiedene Faziestypen auf. Im Gebiet nördlich der Linie Badenhausen - Förste ist er als meist dünnplattiger, 15-20 m mächtiger Stinkkalk ausgebildet (im mittleren Bereich der Schichtfolge meist etwas dickbankig und dolomitisch). Südlich dieser Linie erscheint er als etwa 30-40 m mächtiger, unregelmäßig gebankter Stinkdolomit, der lokal bis zu 10 m mächtige Fossillinsen enthält (A. HERRMANN, 1956). Häufig sind die tieferen Partien des Staßfurtdolomits zerbrochen und finden sich als Einsturzbreccie neben den Residualgesteinen des Werra-Anhydrits.

Basalanhydrit (A₂)

Für den Basalanhydrit gibt A. HERRMANN (1956) Mächtigkeiten zwischen 3 m (Bohrung Lutter 1, dort 150-200 m Staßfurtsalz) und 25 m (im Gipsbruch SE Förste aufgeschlossene Mächtigkeit) an. Der Bereich hoher Mächtigkeiten dehnt sich nach Norden bis Badenhausen - Förste aus ("Sulfat-Wall"). Auch hier vertritt der Anhydrit das Steinsalz nahezu vollständig. Im Gebiet nördlich dieser Linie verringern sich die Anhydrit-Mächtigkeiten erheblich. Die Bohrung Seesen 1 (HINZE, 1976) durchteufte über dem Stinkkalk 58.4 m Anhydrit. Sicher gehört jedoch nur der geringere Teil davon zum Basalanhydrit. Der mächtigere Teil der Serie entfällt auf den Hauptanhydrit (A₃) (trennender Plattendolomit fehlt hier). Nördlich der Söse streicht der Basalanhydrit nicht mehr aus. Geringmächtige Residualgesteine, etwa am Bahnhof Gittelde (A. HERRMANN, 1956), zeichnen seine ursprüngliche Lage nach. Die Bohrung Seesen 1 durchteufte kein Staßfurtsalz. Bis auf den Bereich des Gittelder Grabens, wo diese Einheit in größere Tiefe versenkt wurde, ist das Salz abgelautet.

2.2.3. Zechstein 3 (Leine-Serie)

Schlechte Aufschlußverhältnisse lassen für den Grauen Salzton (T₃) an der Basis des Zechstein 3 nur eine grobe Schätzung zu. A. HERRMANN (1956) gibt für das Gebiet zwischen 12 und 15 m an. Der Plattendolomit (ca₃) ist nördlich der Linie Badenhausen - Förste nicht mehr flächenhaft verbreitet (RICHTER-BERNBURG, 1955; A. HERRMANN, 1956). Lokale Vorkommen in diesem Gebiet werden durch die Bohrung Stauffenburg IV bezeugt (HINZE, 1976). Im südlichen, geschlossenen Verbreitungsgebiet wird das Schichtglied etwa 5 m mächtig.

Hauptanhydrit (A₃)

Wie schon Werra- und Staßfurtanhydrit, tritt auch der Hauptanhydrit nördlich des Söseknies nicht mehr zu Tage. A. HERRMANN (1956) beschreibt die Mächtigkeit der Einheit:

nördlich des Gittelder Grabens: 30 m
Gittelder Graben: 40 m
südlich des Gittelder Grabens: 50 m.

Das hangende Leinesalz ist im Arbeitsgebiet nicht erbohrt. Im Gegensatz zu den tieferen Anhydritfolgen lassen sich dem Hauptanhydrit keine spezifischen Residualgesteine mehr zuordnen. Vielmehr werden die Auslaugungsrückstände des Zechsteins 3 und 4 auf den neuen geologischen Karten (GK 25 Seesen, 1976 und Osterode, 1976) nördlich von Badenhausen zu einer Einheit zusammengefaßt.

2.2.4. Zechstein 4 (Aller-Serie)

Sehr hypothetisch sind angesichts der schlechten Aufschlußverhältnisse die Angaben für die Primärmächtigkeiten des Zechstein 4. Wie bei den Mächtigkeiten für die älteren, inzwischen subrodierten und erodierten Einheiten stützen sich die Aussagen auf die Vorkommen jenseits der Eichsfeldschwelle. Dort herrschen spiegel-symmetrisch zu dieser Untiefe ähnliche Verhältnisse wie im Arbeitsgebiet. Über dem Roten Salzton (T₄) mit 3-4 m folgt 1 m Pegmatitanhydrit. Das hangende Aller-Steinsalz dünnt von 55 m bei Seesen auf 25 m bei Osterode (geschätzte Primärmächtigkeit) aus. Darüber folgt im Profil 1 m Grenzanhydrit. Sämtliche Eva-

porite dieser Serie sind im Arbeitsgebiet ausgelaugt. A. HERRMANN (1956) gliedert im einzigen Auslaugungsprofil des Zechstein 4 am Westtharstrand (Blossenberg, S Osterode) über 0.2 m Gipsresten noch 10 m Übergangsschichten bis zum Buntsandstein aus. Nach den "Richtlinien des Arbeitsausschusses Buntsandstein, 1974" wird die Grenze Mesozoikum - Paläozoikum in Norddeutschland direkt über den Grenzanhydrit (hier dessen Reste) gelegt, womit diese Übergangsschichten schon zum Bröckelschiefer zu stellen wären.

2.3. BUNTSANDSTEIN

2.3.1. Unterer Buntsandstein (su)

Der Buntsandstein setzt im gesamten Gebiet mit dem Bröckelschiefer ein. Es handelt sich um einen meist rotbraunen Schluffstein, der zum Teil anhydritisch wird und gelegentlich von dolomitischen oder feinsandigen Einschaltungen unterbrochen ist. In der Bohrung Bockenem 1 (BOIGK, 1959) wurde das Schichtglied mit ca. 50 m durchteuft. Für die Bohrung Seesen 1 gibt HINZE (1976) 29.1 m an.

Das Schichtpaket wird von der Unteren Wechselfolge (Untere Gruppe: BOIGK, 1959) überlagert. Diese besteht aus dünnplattigen oder flaserig-linsigen Ton- bis Schluffsteinen und parallel- oder schräggeschichteten Feinsandsteinen mit feinsten Ooiden. Die Folge erreicht im Arbeitsgebiet ca. 140 m.

Die Obere Wechselfolge ist im Arbeitsgebiet nicht abgeschlossen.

Für den gesamten Unteren Buntsandstein gibt JORDAN (1976 a) auf der GK 25 Osterode 345 m an.

2.3.2. Mittlerer Buntsandstein (sm)

Der Mittlere Buntsandstein ist für die Fragestellung der Arbeit ohne Bedeutung. Auf eine Beschreibung wird daher verzichtet.

2.3.3. Oberer Buntsandstein (so)

Das Röt 4 (Grauvioletter Abschnitt) besteht aus feingeschichteten

Tonsteinen mit vereinzelt Feinsandsteineinlagerungen. Das Röt 3 (Rotbrauner Abschnitt) wird von massigen Ton- bis Schluffsteinen aufgebaut. Röt 2 (Bunter Abschnitt) und Röt 1 (Grauer Abschnitt) treten im Arbeitsgebiet nicht mehr zu Tage. Alle Erdfälle im Oberen Buntsandstein und Unteren Muschelkalk des Arbeitsgebietes gehen auf Subrosion von Sulfaten im Röt 1 zurück. HINZE (1976) gibt für das Röt folgende Mächtigkeiten an:

so 4:	50-55 m
so 3:	20 m
so 2:	20-30 m
so 1:	5-120 m

2.4. MUSCHELKALK (m)

Erdfälle im Ausstrich des Muschelkalk werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. Auf eine Erörterung wird daher verzichtet.

Jüngeres Mesozoikum und Tertiär treten im Arbeitsgebiet nicht mehr zu Tage.

2.5. QUARTÄR (q)

War die stratigraphische Gliederung für Paläozoikum und Mesozoikum überwiegend eindeutig, herrscht für das Quartär noch keine Klarheit. Es soll, beginnend im Norden, versucht werden, den heutigen Stand der Forschung zu referieren.

Schon auf den alten geologischen Karten Lutter (1913) und Seesen (1907) wurden mit "dg" bzw. "dγ" bezeichnete, glaziäre Sedimente unterschiedlicher Zusammensetzung dargestellt. In einem Schlüsselprofil am Ostrand der GK 25 Lamspringe (Erl. geol. Kte. Bl. Lutter, S. 87, 1913) war diese Kartiereinheit durch einen Geschiebemergel zweigeteilt. In den Erläuterungen wurde jedoch nicht entschieden, ob die Sande im Liegenden mit ihren wenigen Kies- und Schotterlagen fluviatilen oder glazifluviatilen Ursprungs sind. GRUPE (1907, 1915, 1916) stufte die mit "dg" bezeichneten Sedimente als altersgleich mit seiner Oberen Weserterrasse ein. SPREITZER (1931) maß ihnen aufgrund ihrer Position über tertiärem bis Elster-zeitlichem (?) Buntsandsteinschutt Elster-zeitliches Alter zu.

LÜTTIG (1962) kam nach seinen Untersuchungen bei Bornhausen zu folgenden Schlüssen: Über eine Elster-zeitliche Buntsandstein-Fließerde wurde eine Oberterrasse-sensu stricto-geschüttet (nur einheimisches Material = Liegendpartie der "dg"-Schotter), die mit Annäherung des Eises in "vermisches Material" übergeht. Während das Eis weiter nach Süden vordrang, kam es zu Staubeckenbildungen. Schließlich wurde das Gebiet, nachgewiesen durch

Stauchungen und Geschiebelehmfunde, im "Bornhäuser Stadium" vom Eis überfahren. Das Stadial klang mit der Ablagerung von Nachschüttkiesen aus. Verwitterungserscheinungen in den Bornhäuser Sedimenten weisen das "Lamspringer Interstadial" nach. Ein erneuter Eisvorstoß im "Bockenemer Stadium" führte zunächst zu Staubeckenbildungen. Im Hangenden folgte darauf ein Geschiebelehm. Das Stadium endete mit der Schüttung glazifluviatiler Schotter. Die altpleistozänen Aufschüttungen wurden seit Ende der Elster-Zeit eingeebnet und im Mittel- und Jungpleistozän unterschritten. Es bildete sich somit eine Oberterrassenfläche. Jüngere Eisvorstöße drangen nach LÜTTIG in dieses Gebiet nicht vor. THIEM (1972) kam aufgrund einer Gliederung der Schildauterrassen im Laufe seiner Arbeit zu anderen Ergebnissen: Felsterrassen am Fuß des Hasse- und Lauseberges SE Seesen sowie am Grefeke, an der rechten Schildauseite, wurden von THIEM als Oberterrassen eingestuft (Terrassenkörper fehlen).

Eine etwa 1 km lange Terrasse E Seesen wurde von THIEM wegen ihrer Höhenlage als Mittelterrasse angesprochen ("ds" auf der alten GK Seesen, 1907; SPREITZER 1931 faßte diese als Oberterrasse auf). Sehr ähnliche Sedimente, die auch in ihrer Höhenlage mit denen E Seesen korrespondieren, beschrieb der Autor aus dem Raum NW Seesen. Dort ist der Terrassenkörper von Geschiebelehm überlagert. Gehören beide Vorkommen zur Mittelterrasse, muß auch das Saale-Eis bis ins Seesener Gebiet vorgedrungen sein. Die Mittelterrasse ist nach Norden, dem Lauf der rezenten Schildau folgend, nicht ausgebildet. Das spricht für einen Saale-zeitlichen Lauf der Schildau nach Westen, in Richtung der rezenten Seckau. Mit einer Reihe von Beobachtungen bewies THIEM das Weichsel-zeitliche Alter der nächsttieferen Terrasse. Diese "Obere Niederterrasse" ("as₂" auf GK Lutter a.B., 1913) führt erstmals zwischen Hahnenberg und Bulk nach Norden. Der alte Weg nach Westen wurde langsam aufgegeben. Im ausgehenden Weichsel-Glazial wurde die "Untere Niederterrasse" nicht nur eingetieft, sondern auch als Schotterkörper akkumuliert. Da die "Obere Niederterrasse" leicht konvex in Richtung Winkelsmühle geneigt ist und die "Untere Niederterrasse" unter Holozän abtaucht, kann auf glaziale Subrosion geschlossen werden.

SPREITZER (1931) faßte die beiden Niederterrassen als Mittelterrasse auf. DUPHORN (1976) folgte auf der GK 25 Seesen (2. Auflage) weitgehend den Vorstellungen THIEMs. Eine Trennung in zwei Niederterrassen wurde dort jedoch nicht vollzogen.

Nach DUPHORN (1974, 1976) konnten glaziäre Ablagerungen der Elster-Zeit in einwandfreier stratigraphischer Position am Westharz nicht nachgewiesen werden. Ablagerungen, die LÜTTIG (1962) ins "Bornhäuser" bzw. "Bockenemer Stadium" stellte, stufte DUPHORN in das Drenthe-Stadium der Saale-Eiszeit ein.

Zwischen Seesen und der Abzweigung der B 242 nach Bad Grund bildet die Markau mit ihren Nebenflüssen Assekenbach, Pandelbach und Griese-Bach ein der Nette zugeordnetes Entwässerungssystem. HÖVERMANN (1950) deutete die Terrassenflächen des

Systems als Niederterrasse. Ausgenommen wurde eine höher gelegene, lößbedeckte Ebene nordwestlich des Griese-Baches, die als Mittelterrasse angesprochen wurde. Geologische sowie geomorphologische Gesichtspunkte veranlaßten THIEM (1972) zu einer anderen Einstufung. Er faßte die Terrassen um den Griese-Bach bis zum Asseken-Bach als Mittelterrasse auf. In diesen Schotterkörper haben sich Weichsel-zeitliche Schwemmfächer eingeschnitten. Die Schwemmfächer gehen W Münchehof nicht in Holozän über (HÖVERMANN), sondern tauchen, wie THIEM nachweisen konnte, unter Holozän ab. Die HÖVERMANNsche Mittelterrasse sprach THIEM als "polygenetische quartäre Fußfläche des Harzes" an. Die Fußfläche bildete sich in Elster- und möglicherweise Saale-zeitlichen Ablagerungen während der Hochglaziale aus (nur Saale-zeitlichen Sedimenten nach DUPHORN, 1974 u. 1976). Gleichzeitig wurde das heutige Talsystem angelegt. Solifluidale Ablagerungen während der Kaltzeit (besonders an den Bunt-sandsteinkuppen) sowie Lössanwehungen verstärkten den Einebnungsprozeß. Die maximale Südausdehnung des Eises lag nach von KOENEN (1887), REGENHARDT (1957), THIEM (1972) und DUPHORN (1974 u. 1976) in der Gegend von Münchehof.

Südlich der Wasserscheide auf dem Heinrichswinkel (Höhe der Abzweigung der B 242 nach Bad Grund) sind alle Bäche der Söse tributär. Eine Ausnahme bildet die Markau, die in einem Graben über die Wasserscheide hinweg nach Süden abgeleitet wird.

Im Gebiet E Osterode reicht die Oberterrasse bis 320 m über NN. Die Oberkante dieser Terrasse fällt mit ca. 5° nach Südwesten ein (DRESCHER & JORDAN, 1973; JORDAN, 1976 a u. b). Da die Oberterrasse hier nach Nordwesten geschüttet wurde, spricht die Raumlage der Dachfläche dieser Schichteinheit für eine post-Elster-zeitliche Verkippung der Terrasse. Besonders GRUPE (1916) und WEISSERMEL et al. (1932) deuteten die Verkippung als Folge einer Holstein-zeitlichen Harzhebung. In allen jüngeren Arbeiten (A. HERRMANN, 1953; SEEDORF, 1955; PRIESNITZ, 1970; THIEM, 1972; DRESCHER & JORDAN, 1973; JORDAN, 1976 a u. b) wurde Subrosion als Ursache der Verkippung angeführt. Nach Norden im Bereich der Gittelder Senke nehmen die Oberterrassen-Mächtigkeiten rapide ab. N Gittelde ist die Oberterrasse des Sösesystems nicht mehr nachweisbar.

Die Mittelterrasse des Sösesystems läßt sich als Terrassenkörper bis zur Einengung des Gittelder Grabens bei Gittelde verfolgen. Ein Saale-zeitlicher Talboden reicht nach THIEM bis zum Heinrichswinkel. So kann auf eine post-Saale-zeitliche Öffnung der Grabenverengung geschlossen werden.

Nach DRESCHER & JORDAN (1973) erreicht die Niederterrasse der Söse in der Gegend von Osterode Mächtigkeiten zwischen 10 und 20 m. Nach morphologischen Gesichtspunkten wurde die Niederterrasse von JORDAN (1976 a u. b) in eine Obere und eine Untere Niederterrasse geteilt. Die Sösebenflüsse Uferbach, Sülpeke und Schlungwasser schütteten in der Umgebung von Badhausen jeweils eine Niederterrasse mit Mächtigkeiten bis etwa 6,5 m.

Das Höhenprofil für die Mittel- und beide Niederterrassen zeigt nach JORDAN (1976 a u. b) ein deutliches "Durchhängen" der beiden unteren Terrassen zwischen Badenhausen und Osterode. Diese Niveau-Unterschiede spiegeln die nach Westen fortschreitende subrosive Absenkung im Lauf der Söse seit der Mittelterrassen-Zeit wieder.

3. TEKTONISCHER ÜBERBLICK

Der West- bzw. Südwestharz wird durch zwei Lineamente begrenzt (MOHR, 1969). Über Ellrich - Bad Sachsa - Herzberg verläuft mit flachhercynischem Streichen (NNW - SSE) das Südharzlineament. Mit rheinischem Streichen (NNE - SSW) folgt das zweite Lineament etwa der Linie Förste - Gittelde - Neukeug mit dem Gittelder Graben als markanter Struktur. Das Osteroder Gipsplateau ist in sich praktisch ungestört und gehört trotz seiner Zechstein- und Buntsandsteinüberdeckung zum Harz (A. HERRMANN, 1956).

Von KOENEN (1894) erwähnte erstmals den Gittelder Graben. KAISER & SIEGERT (1908) gaben eine ausführliche Beschreibung. Bis heute weitgehend gültig wurde die Struktur von CARLÉ (1938) bearbeitet.

Eine östliche Randstörung, die zugleich Hauptstörung ist, trennt die Harzscholle von der Grabenscholle: (vgl. Abb. 2, Profil: 3, 4 u.5). Sie zieht, unter quartären Sedimenten verdeckt, mit rheinischem Streichen von S Eisdorf in Richtung Teichhütte. Ca. 700 m SE Teichhütte schwenkt die Verwerfung in steilhercynische Richtung um. Am ehemaligen Schwimmbad Gittelde versetzt die Störung mit einer Sprunghöhe von etwa 1000 m Staßfurtdolomit (ca₂) gegen Röt (so) (heute nicht mehr aufgeschlossen). Entgegen CARLÉ zieht der Abbruch nach neueren Kartierergebnissen über die Domäne Stauffenburg westlich am Ziegenberg vorbei bis in den Raum von Herrhausen (REGENHARDT, 1957; HINZE, 1976).

Die westliche Randstörung fällt flacher als die östliche. Sie versetzt das weitgehend von Mittlerem Buntsandstein aufgebaute Seesener Gewölbe (REGENHARDT) bzw. den Fahrenberghorst (CARLÉ) gegen die Muschelkalkkareale im Westteil

der Grabenscholle. Die Abschiebung zieht im Südteil generell mit rheinischem Streichen von NW Nienstedt nach Norden. In der Nähe des Leifeken-Berges (SE Domäne Stauffenburg) biegt die Verwerfung in NNW-Richtung um und läuft westlich der Domäne Fürstenhagen bis zum Bauernhai. Dort schwenkt sie nach Nordosten ein, um bei Herrhausen in die östliche Randstörung einzumünden.

Der Gittelder Graben ist durch hercynisch streichende Querelemente gegliedert. Deutlich tritt die Quersattelung von Gittelde hervor, die eine Grabenverengung bewirkt (CARLÉ).

Die Harzscholle E des Gittelder Grabens ist durch die diskordante Auflage von Zechstein auf Kulm charakterisiert. Auf den alten geologischen Blättern Seesen (1907) und Osterode (1908) wurde diese Scholle als extrem stark zerbrochen dargestellt. Schon CARLÉ (1938:38) erkannte, daß die irregulären Lagerungsverhältnisse dieses Bereichs weitgehend auf Subrosion zurückzuführen sind. Typisch für die Harzscholle sind die Ausläufer flachhercynischer Oberharzer Gänge in den permotriassischen Deckschichten (MOHR, 1969). Der Silbernaaler Gangzug bei Bad Grund und der Hütschenthal-Spiegelthaler Gangzug bei Münchhof lassen sich gut ins Vorland verfolgen. Beide Gangzüge enden als schaufelblattförmige Dislokationen, die aus ihrer ursprünglich hercynischen Richtung in weitem Bogen in eine rheinische drehen.

Auf eine Erörterung des Seesener Gewölbes (Westliche Randscholle) wird hier verzichtet.

JACOBSEN & SCHNEIDER (1951) zeigen den mutmaßlichen Verlauf des "westlichen Abbruchs des Paläozoikums" (Gittelder Sprung nach CARLÉ) bis an die NW-Ecke des Harzes. Sicher ist diese Darstellung sehr hypothetisch. Weder Verlauf noch Sprunghöhe der Dislokation sind eindeutig faßbar. Vielmehr fiedert die Verwerfung in einzelne rheinisch bzw. eggisch (NNW-SSE) streichende Teilstücke auf. Auch nördlich des Gittelder Grabens treten die bereits erwähnten listrischen Störungen als Ausläufer der Oberharzer Gänge auf.

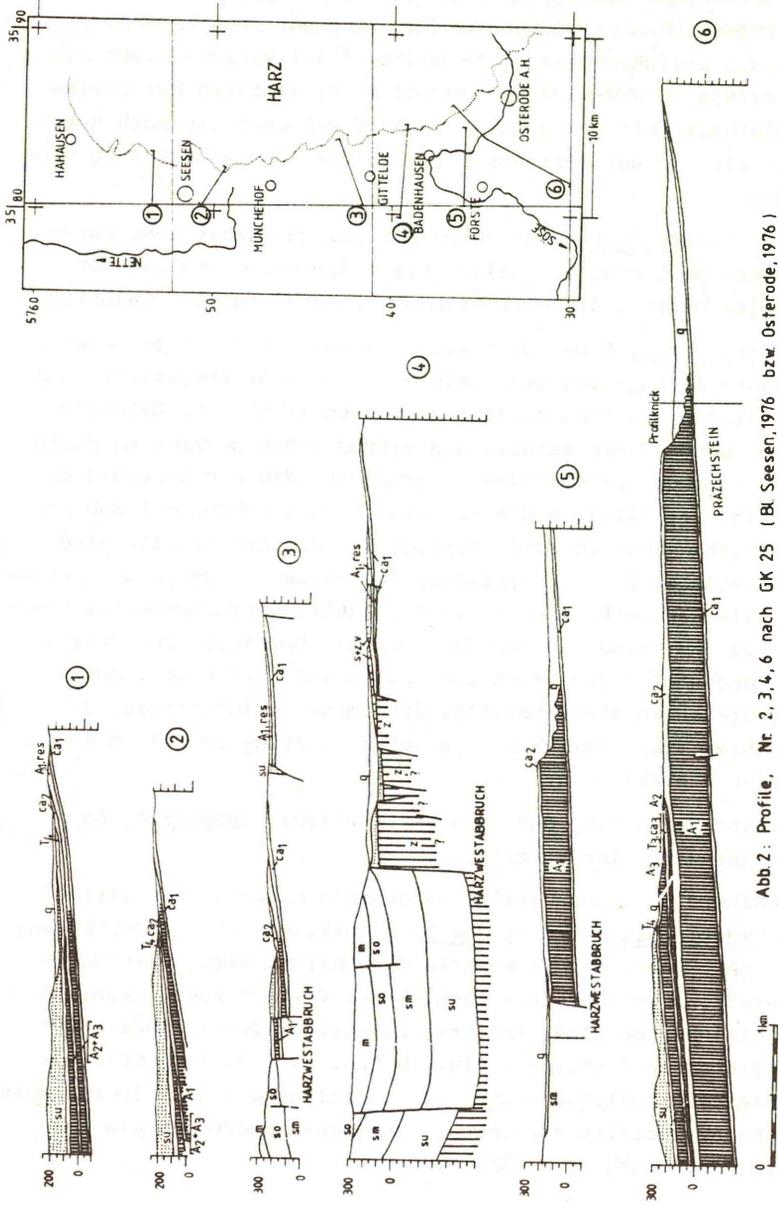


Abb. 2: Profile, Nr. 2, 3, 4, 6 nach GK 25 (Bl. Seesen, 1976 bzw. Osterode, 1976)

Das Osteroder Gipsplateau ist in seinem permotriassischen Anteil bruchtektonisch fast ungestört (vgl. Abb.2, Profil: 5 u. 6).

Nach CARLÉ entstand der Gittelder Graben jungkimmerisch (Wende Malm-Kreide). In der subhercynen Phase (Oberkreide) vertiefte sich die Struktur geringfügig. GRUPE (1916) und WEISSERMEL et al. (1932) postulierten eine Holstein-zeitliche, HÖVERMANN (1950) eine holozäne Hebung des Westharzes. THIEM (1972, 1974) kam in seinen Arbeiten etwa zu folgendem Ergebnis:

Eine nennenswerte Hebung des Westharzes begann an der Wende Miozän-Pliozän. Diese Hebungsphase erlebte in der ersten Pliozänhälfte ein Maximum. Sie führte zur Bildung eines "Oberen Randverebnungssystems". An der Wende Pliozän-Pleistozän setzte eine neue Hebungsphase ein, die bis zum Elster-Glazial (aus-schließlich ?) andauerte. Während dieser Phase wurde das Gebirge bis in seine heutige Position zum Vorland gebracht. Es bildeten sich ein "Mittleres" und "Unteres Randverebnungssystem", wobei unklar ist, ob die Systeme Produkt einer diskontinuierlichen Hebung oder mehrfachen Klimawechsels sind.

Mit Beginn der Oberterrassenzeit wurde der Westharz lediglich als Teil der gesamten Mittelgebirgsschwelle angehoben. Diese Bewegung dauert bis ins Holozän an.

4. KARST-KLASSIFIKATIONEN

4.1. GLIEDERUNG NACH DEM KARSTGESTEIN

Nach der klassischen Definition war Verkarstung ein im Wesentlichen auf Karbonatgesteine beschränkter Prozeß (TRIMMEL, 1965). Ähnlich verlaufende Vorgänge in Sulfat- oder Salzgesteinen wurden mit Begriffen wie Subrosion, Korrosion, Auslaugung und Ablaugung belegt. Aufgrund zeitbedingter Anschauungen wurde hierfür vor allem der unterschiedliche Lösungsmechanismus beider Gruppen verantwortlich gemacht, da Sulfat- und Salzgesteine vom Wasser direkt gelöst werden, während die Lösung der Karbonate über die Bikarbonatbildung verläuft.

Ausgehend von der WEBERSchen Phasentheorie der Auslaugung (1930) forderte besonders STEINBRECHER (1959, 1960) eine Abtrennung der "Salzablaugung" von der "Gipsauslaugung".

STEINBRECHER betonte dabei das unterschiedliche geomechanische Verhalten von Sulfat- und Salzgesteinen. Aus den Materialeigenschaften leitete der Verfasser spezifische Subrosionsformen ab: Die flächenhafte "Salzablaugung" führt zu Salzhängen und -spiegeln (typische Oberflächenform: Subrosions-senken), während die "Gipsauslaugung", gebunden an Spalten und Klüfte, ein unterirdisches Schlottensystem erzeugt (typische Oberflächenform: Erdfälle).

Der Rückschluß von Oberflächenformen auf das Karstgestein ist in unserem Klimabereich sicher in vielen Fällen möglich. Eine allgemeine Klassifikation im Sinne STEINBRECHERS läßt sich davon jedoch nicht ableiten. Erdfälle kommen unter geeigneten Bedingungen auch im Salzkarst vor und ein "Gipsspiegel" kann sich auch im Sulfatkarst entwickeln.

Die Karstformen bilden sich nicht ausschließlich in Abhängigkeit vom Karstgestein. Daneben spielen das Klima, die hydrogeologische Situation sowie die mechanischen Eigenschaften des Deckgebirges eine maßgebliche Rolle (von HOYNINGEN-HUENE, 1960; PRIESNITZ, 1969 a u. b). Eine zeitliche und räumliche Trennung von "Salzablaugung" und "Gipsauslaugung" findet sich wohl in einigen konkreten geologischen Situationen (HOPPE, 1944; von HOYNINGEN-HUENE, 1957; STEINBRECHER, 1959). Sehr oft spielen sich die Prozesse jedoch gleichzeitig und nebeneinander ab (WEBER, 1961). Die aufgezeigten Schwierigkeiten kann man umgehen, wenn man die Begriffe weiter faßt, wie zuletzt KOCKERT (1972):

"Verkarstung ist der kontinuierlich oder phasenhaft verlaufende natürliche Auflösungs- oder Zersetzungsprozeß von leichtlöslichen Gesteinen durch Wasser, unterstützt durch mechanische Vorgänge wie Erosion und Versturz. Dabei kann je nach Art und Mächtigkeit der Bedeckung der verkarstungsfähigen Gesteine die Umwandlung des oberirdischen Abflusses eines Gebietes in eine teilweise oder vollständige unterirdische Entwässerung und die Herausbildung eines Karstreliefs erfolgen."

Ohne Einbeziehung der Formen läßt sich somit eine heute weitgehend anerkannte Gliederung des Karstes nach dem Karstgestein aufstellen:

- a) Karbonatkarst
- b) Sulfatkarst
- c) Salzkarst

Der Begriff Auslaugung, der sich in der Literatur gehalten hat, sollte nur noch synonym zum Begriff Verkarstung verwendet werden.

4.2. GLIEDERUNG NACH DEN LAGERUNGSVERHÄLTNISSEN DES KARSTGESTEINS

CVIJIĆ (1893) stellte für den jugoslawischen Karst eine Gliederung aufgrund der Lagerungsverhältnisse auf. Er prägte die Begriffe des nackten oder oberflächigen Karstes. Werden Karstgesteine von unlöslichen Residualbildungen überlagert, spricht man nach RICHTER (1908) von bedecktem Karst. Unterirdischer Karst liegt nach KATZER (1905) vor, wenn die überlagernden Deckschichten älter als die Verkarstung sind.

PRIESNITZ (1970) blieb bei dieser Dreiteilung. Er folgte jedoch PENCK (1924) und bezog das Alter der Deckschichten nicht in die Definition ein. Bedeckter Karst ist demnach von Lockergesteinen, unterirdischer von Festgesteinen überlagert.

In der neueren Literatur hat sich eine Unterscheidung von nacktem und bedecktem Karst durchgesetzt. Der bedeckte Karst läßt sich weiter gliedern:

a) nach den mechanischen Eigenschaften der Deckschichten:

- 1. Lockergesteine
bindig oder nicht bindig
- 2. Festgesteine
- 3. Fest- und Lockergesteine

b) nach den hydrogeologischen Eigenschaften der Deckschichten (REUTER, 1963; A. HERRMANN, 1964):

- 1. gleichmäßig wasserdurchlässig
- 2. ungleichmäßig wasserdurchlässig
- 3. wasserundurchlässig

c) nach der Mächtigkeit der Deckschichten (A. HERRMANN, 1969).

4.3. GLIEDERUNG NACH DEM AUSGANGSPUNKT DER VERKARSTUNG

Besonders A. HERRMANN (1953, 1964, 1968, 1973) und LOHMANN (1962) befaßten sich mit der Frage nach dem Ansatz der Verkarstung. A. HERRMANN differenzierte zwischen Lösungsprozessen an der Oberfläche und innerhalb des Karstgesteins. Frische Erdfälle konvergieren im ersten Fall nach unten, im zweiten Fall divergieren sie.

4.4. WEBERsche PHASENTHEORIE DER AUSLAUGUNG

Ausgehend von den Verhältnissen im Werra-Gebiet, beziehungsweise in Nord- und Südhannover stellte WEBER (1930) Gebiete mit "regulärer Auslaugung" solchen mit "irregulärer" gegenüber. Die "reguläre Auslaugung" beginnt am Ausstrich der verkarstungsfähigen Schichten und schreitet in Einfallrichtung voran. Für die Zechsteinserien in Lagerungsverhältnissen wie am SW-Harzrand lassen sich dabei drei Phasen unterscheiden:

Phase 1: Hauptsächlich Verkarstung der Salinargesteine;
Bildung eines Salzhanges beziehungsweise Salzspiegels - Morphologie zeichnet Lagerungsverhältnisse nach.

Phase 2: Salinargesteine bereits gelöst; Vergipsung des Anhydrits - kaum Auswirkungen an der Erdoberfläche.

Phase 3: Oberflächliche und unterirdische Lösung von Gips.

Die drei Phasen sind räumlich voneinander getrennt. Sie liegen in drei Zonen parallel zum Schichtstreichen (Disgruenz der Phasen) beginnend mit der Phase 3 im Ausstrich des Gipses.

Die "irreguläre Auslaugung" setzt bei intaktem Zechsteinprofil entlang von Störungszonen durch aszendente und descendente Wässer an.

STEINBRECHER (1959) und PRIESNITZ (1969 a, 1972) bestätigten WEBERs Modell, wenn auch in modifizierter Form, für die

Edderitzer Mulde beziehungsweise den W-Harzrand.

Im Arbeitsgebiet tritt heute ausschließlich Sulfatkarst auf. Wie im weiteren Verlauf der Arbeit zu sehen ist, verhilft die Aufteilung des Gebietes in verschiedene Rayons karstgenetischer Gesichtspunkte zu Ansätzen über die Genese der Erdfälle. Der Gefährdungsgrad eines derart heterogen gebauten Bereichs läßt sich jedoch über keines der beschriebenen Schemata hinreichend genau ausdrücken.

5. METHODEN

5.1. ERDFALLKARTIERUNG

Zur Vorbereitung der Kartierung wurden die erreichbaren Quellen studiert. Dazu gehörten Unterlagen aus den Archiven des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung und des Stadtbauamtes Seesen. Wesentliche Anhaltspunkte ergaben alte Karten:

Kurhannoversche Landesaufnahme des 18. Jahrhunderts 1:25000:

Bl. 140, Harriehausen (1784)

Bl. 143, Osterode (1784)

Karten des Landes Braunschweig im 18. Jahrhundert, 1:25000:

Bl. 4027 Lutter (1746-1784)

Bl. 4127-4227 Osterode (1746-1784)

Geologische Karte von Preußen und benachbarter Bundesstaaten, 1:25000:

Bl. 4027, Lutter a. Barenberge (1913)

Bl. 4127, Seesen (1907)

Bl. 4227, Osterode a. Harz (1908)

Lage und Erstreckung der Erdfälle wurden auf der Deutschen Grundkarte (1:5000) aufgenommen (vgl. Abb. 1). Für jeden Erdfall wurden, soweit möglich, folgende Maße ermittelt:

Größter Durchmesser  an der Erdoberfläche
Kleinster Durchmesser 

Größter Durchmesser
Kleinster Durchmesser

am Boden des Erdfalls

Böschungswinkel

Tiefe des Erdfalls.

Aus diesen Grundwerten ließen sich die Erdfallflächen an der Oberfläche berechnen. Die Flächeninhalte unregelmäßig geformter Erdfälle wurden mit Hilfe eines Planimeters bestimmt.

Der Quotient aus Durchmesser und Tiefe ($\emptyset:T$) ist ein Formfaktor. Er beschreibt zahlenmäßig die morphologische Form eines Erdfalles (FRIESE, 1933; PRIESNITZ, 1970). Dazu wurde die Erdfallfläche jeweils als kreisförmig angenommen und der dazugehörige Durchmesser berechnet. Der Formfaktor ergibt ein brauchbares Maß für die Einteilung in Erdfalltypen:

Durchmesser/Tiefe	< 2	= Schlot
Durchmesser/Tiefe	< 10	= Trichter
Durchmesser/Tiefe	> 10	= Schüssel

Bei wenig tiefen jedoch steilwandigen Formen erhält man mit dem Formfaktor ein falsches Bild. Deshalb tauchen in den Tabellen (Tab. 21-34) Erdfälle auf, bei denen Formfaktor und morphologischer Typ nicht übereinstimmen. Diese Erdfälle wurden nach dem Geländeeindruck typisiert.

Der Umriß der Erdfälle ließ sich auf die fünf Grundformen
rund - elliptisch - oval - nierenförmig -
länglich und unregelmäßig

zurückführen.

An Hand der geologischen Karte (Taf.2) und der Profile (Abb.2) wurde die Mächtigkeit des Deckgebirges über dem verkarsteten Horizont bestimmt.

5.2. LUFTBILDAUSWERTUNG

In zwei Gebieten mit großer Erdfallhäufigkeit wäre eine reine Geländekartierung mit übergroßem Zeitaufwand verbunden gewesen.

Diese Gebiete sind das Gipsplateau innerhalb des Söseknies sowie die Rötareale um die Domäne Stauffenburg (N Gittelde). Die Luftbilder stammen aus dem Bildflug Seesen (834) und aus dem Bildflug Osterode (835). Beide Bildflüge wurden 1972 durchgeführt und haben einen Maßstab von etwa 1:12000. Die Kartierung der Oberflächenformen erfolgte mittels eines Spiegelstereoskops (Standard-Spiegelstereoskop N 2, Fa. Zeiss). Die Tiefe der Erdfälle ließ sich über die Parallaxenverschiebung anhand eines Stereomikrometers bestimmen. Aus der Parallaxendifferenz ergibt sich die Erdfalltiefe nach folgender Formel:

$$\Delta h \text{ [m]} = \frac{H \text{ [m]}}{b \text{ [cm]}} \cdot \Delta p \text{ [cm]}$$

oder

$$\Delta h \text{ [m]} = \frac{mb \cdot f \text{ [m]} \cdot \Delta p \text{ [cm]}}{b \text{ [cm]}}$$

Es bedeuten:

- Δh : Höhenunterschied zwischen Erdfallrand und -zentrum
- H : Flughöhe über Gelände
- b : Bildbasis
- Δp : Parallaxenunterschied
- mb : Bildmaßstab
- f : Brennweite

Mit einem Luftbildumzeichner (LUZ, Fa. Zeiss) wurde die Luftbildkartierung auf die Deutsche Grundkarte (1:5000) übertragen.

Die Luftbildauswertung wurde durch anschließende Geländebegehungen überprüft. Es zeigte sich, daß extrem flache Schüsseln im Luftbild besser als im Gelände zu erfassen sind. Natürlich ließ sich die Luftbildkartierung nur in Gebieten mit geringer Vegetation durchführen.

5.3. FALLGEWICHTSSEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Fallgewichtsseismik wurde mit einem BISON SIGNAL ENHANCE-

MENT SEISMOGRAPH, Model 1550 durchgeführt. Auf einem Oszilloskop werden bei diesem Einkanalgerät die Refraktionswellen sichtbar gemacht. Die Laufzeit der P-Wellen kann mit einer Genauigkeit von 0.1 msec bestimmt werden. Das Gerät verfügt über eine Stapleinrichtung. Schwache Signale werden durch mehrmaliges "Schießen" verstärkt. Gleichzeitig werden Störsignale wie zum Beispiel Bodenunruhe unterdrückt. Erst Geländeversuche zeigten, daß allein durch den Hammer angeregte Wellen zu energiearm waren. Deshalb wurde ein Dreibein mit einer Hand- beziehungsweise Elektrowinde konstruiert. Wahlweise kann damit ein Fallgewicht von 50 oder 80 kg bis auf eine Höhe von ca. 3,2 m gebracht werden. Über einen Auslösemechanismus wird das Gewicht vom Zugseil gelöst und fällt, geführt an zwei Stahlstangen, auf eine Bodenplatte. Ein mechanischer Schalter auf dem Fallgewicht oder ein elektronischer Schalter (über ein Geophon direkt neben dem Schlagpunkt) lösen die Zeitmessung aus.

Es erwies sich als nachteilig, daß die auf dem Oszilloskop sichtbar gemachten seismischen Signale nicht auf Dauer konserviert werden können. Im Geländebetrieb müssen deshalb noch während des "Schießens" die Laufzeitkurven erstellt werden. Nur so können "Ausreißer" erkannt und durch sofortige Wiederholung verbessert werden.

Ergebnisse der Fallgewichtsseismik

Alle Versuche, die Dachfläche des Sulfats im Liegenden des Unteren Buntsandstein refraktionsseismisch zu ermitteln, mißlingen. In den ausgewählten Gebieten liegt diese Grenzfläche in etwa 100 m Tiefe. Mit der beschriebenen Apparatur können jedoch nur Auslagen um 200 m erreicht werden. Das entspricht einer maximalen Eindringtiefe von ca. 65 m. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der P-Wellen beträgt im Unteren Buntsandstein zwischen 1880 und 2200 m/sec.

Auf Blatt Stauffenburg (Abb. 25) wurden zwischen den Erdfällen 20, 21 und 22 mehrere Profile gelegt.

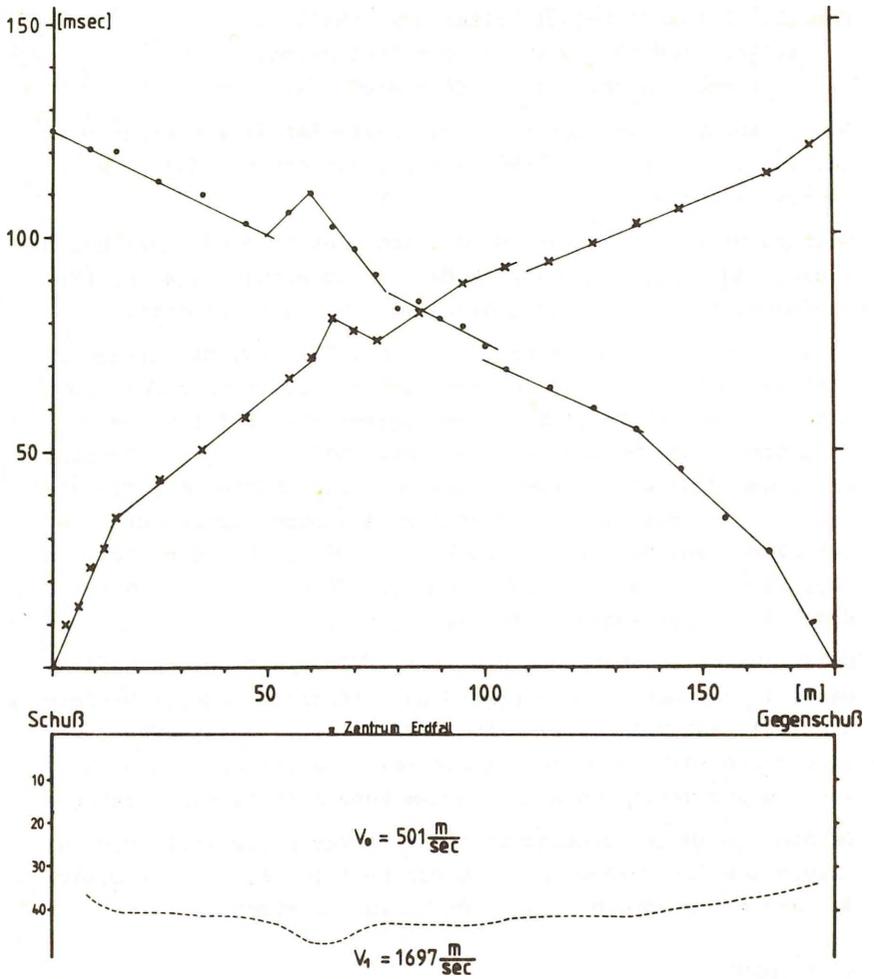


Abb.3 : Profil über den Erdfall 3/3 (Vw.Klingenhagen):
Laufzeiten und Auswertung

Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der P-Wellen:

im Zechstein 3 + 4 : 1300 - 1600 m/sec,

im Werra-Anhydrit : 4700 - 4800 m/sec.

Die seismisch bestimmte Teufe des Werra-Anhydrit beträgt hier ca. 25 m. Dieser Wert stimmt gut mit den Angaben der GK 25 Seesen (1976) überein.

Weitere Profile auf Blatt Windhausen (Abb.28) und Blatt Badenhausen-Süd (Abb.31) ergaben außer Richtgeschwindigkeiten für die beteiligten Horizonte keine brauchbaren Ergebnisse.

In einer Auslage quer über den Erdfall 3/3 (Vw. Klingenhagen) ließ sich die über Tage nur noch schwach erkennbare Form seismisch gut ermitteln (Abb.3). Das seismische Profil wurde als 2-Schichtenfall aufgefaßt. Die Geschwindigkeit v_1 der Schicht unter dem Refraktor wurde als harmonisches Mittel der Einzelwerte für v_1 mit 1967 m/sec angenommen. Ausgewertet wurde nach der Plus-Minus-Methode von HAGEDOORN (1959). Über den gleichen Erdfall wurde ein Fächer gelegt (vgl. KOERNER, 1973). Das Ergebnis dieser Auslageform war negativ.

Unter günstigen Umständen stellt die Kleinseismik ein brauchbares Instrument für die Erkundung erdfallgefährdeter Gebiete dar (vgl. HABETHA, 1972; HILDEBRAND & PRINZ, 1973). Unterirdische Hohlräume sind refraktionsseismisch nicht nachweisbar. Nur ein ausführliches Bohrprogramm kann hier Klarheit schaffen.

Da die Bestimmung gebirgsmechanischer Parameter (z.B. E-Modul) allein aus der Geschwindigkeit der P-Wellen als sehr fragwürdig angesehen werden muß, wurde darauf verzichtet.

6. BEFUNDE

Die Ergebnisse der Kartierung sind auf Tab. 21-34 und Abb. 14-38 dargelegt.

Die Tabellen gliedern sich nach den Grundkarten (Abb.1). Die Erdfälle sind auf jeder Grundkarte fortlaufend durchnummeriert. Die Zahl vor dem Schrägstrich ist die Kenn-Nummer der Grundkarte. Liegt ein Erdfall auf zwei verschiedenen Blättern,

werden beide Kennzahlen angegeben und durch einen Bindestrich getrennt. Solche Formen treten in den Tabellen doppelt auf, sind jedoch nur für das Blatt mit der kleineren Kenn-Nummer beschrieben.

In der zweiten und dritten Rubrik werden Form und Umriß der Erdfälle festgelegt.

In der vierten Spalte folgen die verschiedenen Erdfallmaße. Längen werden in Metern, Flächen in Quadratmetern und Winkel in Altgrad angegeben.

In der Rubrik "Anstehendes" wird der stratigraphische Bereich gekennzeichnet, in dem der Erdfall eingebrochen ist. Die stratigraphische Einheit unter der Quartärbedeckung ist jeweils durch einen Kreis markiert. Zwei Kreuze in dieser Rubrik bzw. ein Kreuz und eine Angabe in der "Quartärspalte" bedeuten, daß der Erdfall auf einer Schichtgrenze liegt.

Die sechste Spalte zeigt, welcher Gips-Anhydrithorizont subrodiert ist. Die Fragezeichen tauchen besonders bei Erdfällen im Unteren Buntsandstein auf. Hier konnte der verkarstete Horizont nicht eindeutig festgelegt werden.

Die Mächtigkeiten des Deckgebirges wurden durch Interpolation aus geologischen Karten und Bohrungen bestimmt.

In der letzten Rubrik werden u.a. Altersangaben gemacht. Jahreszahlen in Klammern geben das Alter einer Literaturquelle an, in der der betreffende Erdfall zum ersten Mal erwähnt ist.

6.1. GESAMTÜBERSICHT

Auf 34 Blättern der Deutschen Grundkarte wurden insgesamt 482 Erdfälle erfaßt. Nach Erdfalltypen gliedert sich diese Population in (vgl. Tab.15):

TYP	ANZAHL	PROZENT
Schüssel	333	69.1
Trichter	106	22.0
Schlot	6	1.2
zugeschüttet	37	7.7
Summe	482	100.0

Tab. 1.

Die Umriss der Erdfälle zeigen diese Verteilung (vgl. Abb. 39):

UMRISS	ANZAHL	PROZENT
rund	164	34.0
elliptisch	156	32.4
oval	57	11.8
nierenförmig	39	8.1
länglich	30	6.2
unregelmäßig	36	7.5
Summe	482	100.0

Tab. 2.

Die Erdfälle verteilen sich auf den Ausstrich folgender stratigraphischer Einheiten:

STRATIGRAPHISCHER BEREICH	ANZAHL	PROZENT
Quartär (q)	238.0	49.4
Oberer Buntsandstein (so)	6.5	1.3
Unterer Buntsandstein (su)	52.5	5.9
Zechstein 3 + 4 (z 3+4)	7.5	1.6
Basalanhydrit (A ₂)	17.0	3.5
Stinkkalk, -dolomit (ca ₂)	152.5	31.6
Einsturzbreccie u. Residualbildungen des Werra-Anhydrits (A ₁ , res)	7.0	1.5
Werra-Anhydrit (A ₁)	1.0	0.2
Summe	482.0	100.0

Tab. 3.

Halbe Zahlen ergeben sich rein statistisch, wenn ein Erdfall auf einer geologischen Grenze liegt.

Die Oberflächenformen gehen auf Verkarstung folgender Sulfathorizonte zurück:

STRATIGRAPHISCHE EINHEIT	ANZAHL	PROZENT
Röt	21.5	4.5
Haupt- und Basalanhydrit	15.0	3.1
Haupt- und Basalanhydrit (?)	116.5	24.2
Basalanhydrit	19.0	3.9
Werra-Anhydrit	310.0	64.3
Summe	482.0	100.0

Tab. 4.

Eine wichtige Größe für die statistische Verarbeitung (z.B. Bestimmung des Gefährdungsgrades durch Erdfälle) stellt die Fläche dar, die ein Erdfall über Tage einnimmt. In Abb. 4 ist die Verteilung aller Erdfallflächen in logarithmisch geteilten Größenklassen als Histogramm dargestellt. Der logarithmische Maßstab auf der Abszisse wurde gewählt, weil nur so die ganze Spannbreite der Erdfallflächen darstellbar wird:

Minimum: Nr. 24/12 (DGK 5 Badenhausen-Süd) - 5 m^2 ,

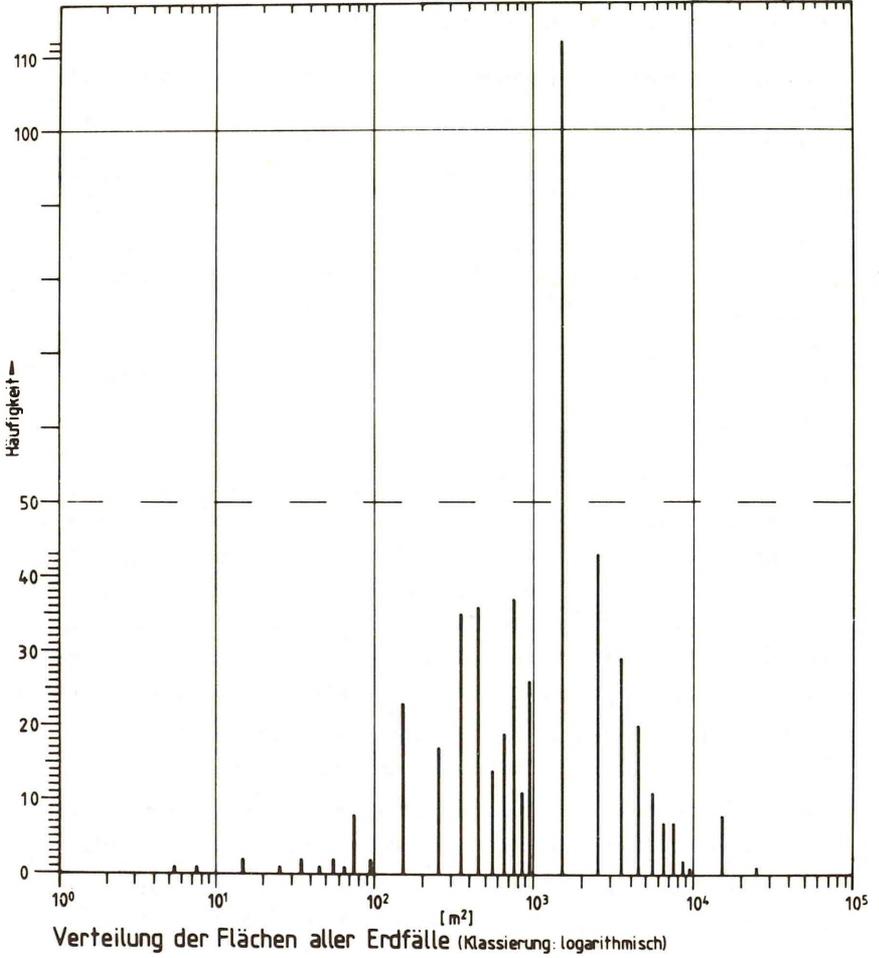
Maximum: Nr. 32/45 (DGK 5 Feldbrunnen) - $27\,150 \text{ m}^2$.

Gleichzeitig trägt die Vergrößerung der Klassen im logarithmischen Maßstab der abnehmenden Meßgenauigkeit Rechnung.

Das Histogramm zeigt ein deutliches Maximum (112 Werte = 23.3 %) für Erdfallflächen zwischen 1000 und 2000 m^2 . Das entspricht bei runden Formen einem mittleren Durchmesser von ca. 44 m. Der Flächenverteilung liegen 480 Werte zugrunde. Die Differenz zur Gesamtzahl der Erdfälle rührt daher, daß für einen Dreifacherdfall ($8/3$, $8/4$ und $8/5$) nur eine gemeinsame Fläche bestimmt wurde.

21 Erdfälle (4.4%) sind kleiner als 100 m^2 und 9 Erdfälle

Abbildung 4.



(1.9%) sind größer als 10 000 m². Mit 440 Erdfällen = 93.7% liegt das Gros zwischen 100 und 10 000 m². Diese beiden Grenzwerte entsprechen Durchmessern zwischen 11 und 113 m.

Auf einer vom Quartär abgedeckten Karte verteilen sich die Erdfallflächen folgendermaßen auf die einzelnen stratigraphischen Abschnitte:

STRATIGRAPHISCHER BEREICH	ERDFALLFLÄCHEN m ²	PROZENT
Muschelkalk (m)	491	< 0.1
Oberer Buntsandstein (so)	78 124	8.9
Unterer Buntsandstein (su)	227 245	25.8
Zechstein 3+4 (z 3+4)	29 039	3.3
Basalanhydrit (A ₂)	21 073	2.4
Stinkkalk, -dolomit (ca ₂)	460 295	52.2
Einsturzbreccie u. Residualbildungen des Werra-Anhydrits (A ₁ , res)	10 383	1.2
Werra-Anhydrit (A ₁)	54 610	6.2
Summe	881 260	100.0

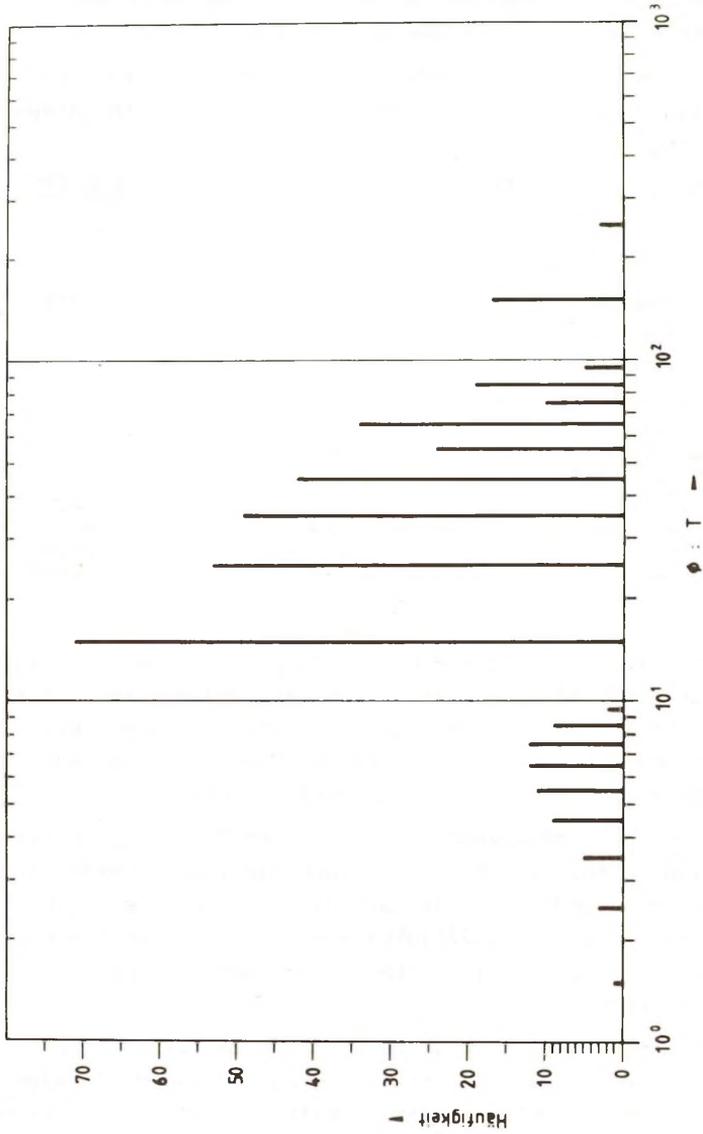
Tab. 5.

Tabelle 5 spiegelt weniger eine unterschiedliche Anfälligkeit für die Erdfallbildung der einzelnen Schichtkomplexe wieder, als vielmehr deren unterschiedliche Ausstrichflächen. Erdfälle auf Schichtgrenzen wurden für diese Aufstellung zur Hälfte jeder beteiligten Einheit zugeschlagen.

Der Quotient aus Erdfalldurchmesser und Erdfalltiefe ($\emptyset:T$) stellt einen morphologischen Formfaktor dar. Bei Erdfällen gleicher Genese und ähnlichen Durchmessers drückt sich in diesem Wert ein unterschiedliches Alter aus. Ältere Formen sind stärker verfüllt, damit flacher und besitzen einen größeren Quotienten $\emptyset : T$.

In Abb. 5 ist die Verteilung des Formfaktors für alle Erdfälle dargestellt. Aus bereits erwähnten Gründen wurde auch hier die Abszisse logarithmisch geteilt. Dem Histogramm liegen

Abbildung 5.



Verteilung des Quotienten $\phi : T$ für alle Erdfälle (Klassierung: logarithmisch)

390 Werte zugrunde. Für die übrigen Erdfälle ließ sich der Formfaktor nicht bestimmen.

Die Spannbreite der Gesamtpopulation liegt zwischen:

Minimum: Nr. 6/18 (DGK 5 Seesen) - 1 (Ø:T)

Maximum: Nr. 27/30 (DGK 5 Katzenstein) - 236 (Ø:T)

Die Verteilung ist zufällig. Mit 71 Erdfällen = 18.2 % ist der Formfaktor zwischen 10 und 20 am häufigsten vertreten. Eine geologische Interpretation der Verteilung wäre zu gewagt. Nähere Zusammenhänge muß die Betrachtung einzelner stratigraphischer Einheiten erbringen.

Die Erdfälle des Arbeitsgebietes verteilen sich auf die verschiedenen Karstregionen (vgl. 4.2.):

KARSTTYP	ANZAHL	PROZENT
nackter Karst	18	3.7
bedeckter Karst	464	96.3
Summe	482	100.0

BEDECKTER KARST

a) Lockergestein	27	5.8
b) Festgestein	226	48.7
c) Fest- u. Lockergestein	211	45.5
Summe	464	100.0

Tab. 6

Auf eine Analyse dieser Tabelle wird zu Gunsten einer eingehenden Betrachtung der stratigraphischen Einheiten verzichtet.

6.2. VERTEILUNG DER ERDFÄLLE INNERHALB DER STRATIGRAPHISCHEN EINHEITEN

Die kleinsten Einheiten, in der Verteilungen sinnvollerweise verglichen werden können, sind stratigraphisch gleiche Schichtbereiche. Hier sind entscheidende Parameter wie Deckgebirgsmächtigkeit, gebirgsmechanische Eigenschaften und verkarsteter

Horizont jeweils ähnlich. Wenn sich genetische Unterschiede in den hier erfaßten Werten ausdrücken, müssen sie beim Vergleich der Erdfälle innerhalb eines solchen Rayons ablesbar sein.

Die Summe der Erdfälle in den verschiedenen Rayons liegt über der Gesamtzahl 482. Immer dann, wenn ein Erdfall auf einer Schichtgrenze liegt, wurde er als typisch für jede der beteiligten Einheiten betrachtet. Somit taucht er mit all seinen Parametern doppelt auf.

6.2.1. Erdfälle im Oberen Buntsandstein (Röt)

Die Erdfälle im Röt beschränken sich auf die DGK 5: Münchhof-Süd (Abb. 23), Stauffenburg (Abb. 25) und Willensen (Abb. 27).

Auf dem SE-Teil von Blatt Münchhof-Süd (Abb. 23) und dem NE-Teil von Blatt Stauffenburg (Abb. 25) liegt ein zusammenhängendes Erdfallfeld. In diesem Gebiet vereinigt sich der Harzwestabbruch mit einer etwa parallel dazu streichenden östlichen Randstörung. Die 11 Erdfälle dieses Feldes liegen auf den beiden Verwerfungen oder dicht daneben: 12/1, 12/2, 12-14/3, 12-14/4, 12/5, 12-14/6, 14/1, 14/2, 14/5, 14/7 und 14/8.

Auf einer Linie etwa 100 bis 200 m westlich des Harzrandbruches liegen 5 Erdfälle (14/9, 14/14, 14/17, 14/18 und 14/23). Der Erdfall 14/24 liegt zwischen dieser Linie und der Hauptstörung.

Auf der Verwerfung sitzen der Erdfälle 20/1, 20/4 und 20/5.

Der Erdfall 14/10 bildet mit 9 anderen (im z 3+4 u. ca₂) eine Linie zwischen Haupt- und Randstörung (Abb. 25).

Alle 21 Rötterdfälle sind somit linear angeordnet.

Typisierung der Erdfälle

Die Erdfallformen verteilen sich folgendermaßen

(vgl. Tab. 16):

TYP	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O. QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M. QUARTÄR	PROZENT
Schüssel	15	71.4	2	40	13	81.3
Trichter	6	28.6	3	60	3	18.7
Schlot	-	-	-	-	-	-
Summe	21	100.0	5	100.0	16	100.0

Tab. 7

Bei Rötterdfällen mit Quartärbedeckung überwiegt die Schüssel-
form. Möglicherweise steckt hinter dieser Verteilung ein gene-
tischer Unterschied (vgl. 7.1.).

Die Umrissform der Erdfälle verteilen sich wie folgt (vgl. Abb.39):

UMRISS	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O. QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M. QUARTÄR	PROZENT
rund	6	28.6	3	60.0	3	18.7
ellipt.	4	19.05	1	20.0	3	18.7
oval	2	9.5	1	20.0	1	6.3
nierenf.	4	19.05	-	-	4	25.0
länglich	-	-	-	-	-	-
unregelm.	5	23.8	-	-	5	31.3
Summe	21	100.0	5	100.0	16	100.0

Tab. 8

Die Quartärbedeckung besteht bei allen Erdfällen dieser Gruppe
aus Lößlehm oder Schwemmlöß.

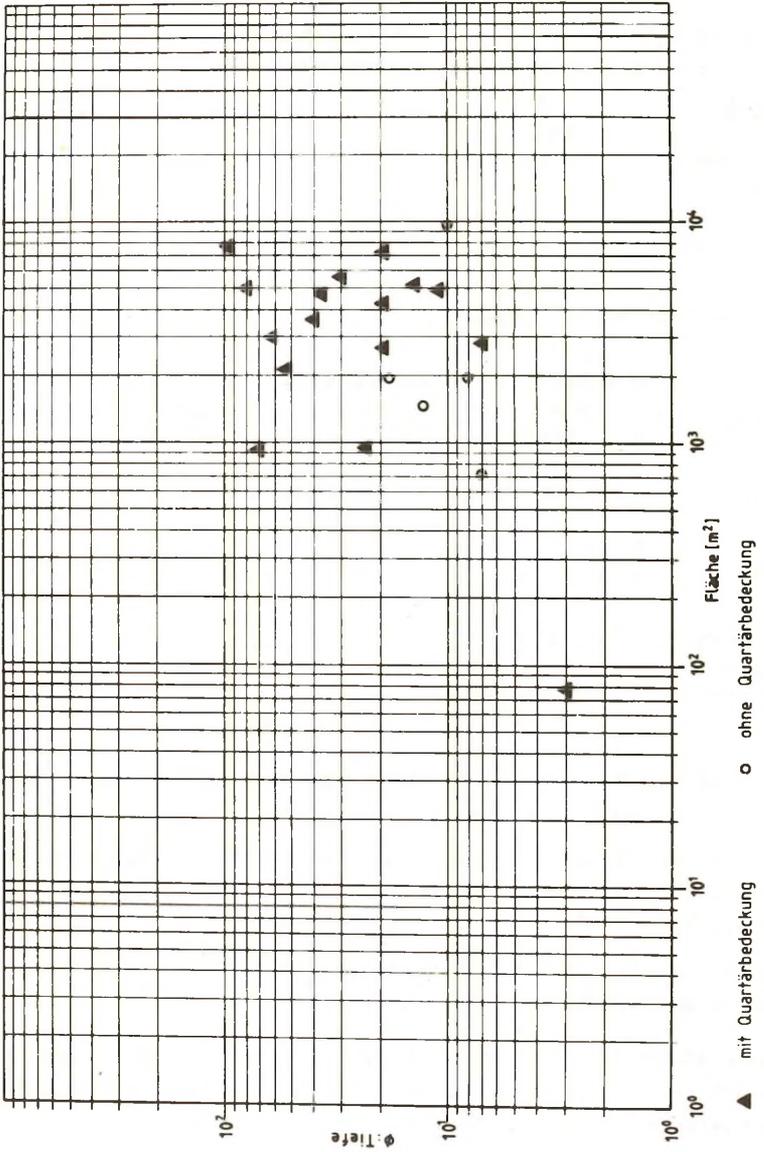
Das Histogramm für die Verteilung der Erdfallflächen (Abb.40)
zeigt annähernd gleiche Häufigkeit für die Größenklassen von
700 bis 10 000 m².

Minimum: Nr. 14/24 (DGK 5 Stauffenburg) - 79 m²

Maximum: Nr. 20/1 (DGK 5 Willensen) - 9 550 m²

Eine Häufung der Flächen liegt mit 4 Werten = 19 % in der
Größenklasse zwischen 4000 und 5000 m² vor. Dem entspricht
ein Durchmesser von ca. 75 m.

Abbildung 6: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (so)



Ein deutliches Häufigkeitsmaximum zeigt der Formfaktor ($\emptyset:T$) für Werte von 10 bis 20. Acht Werte = 38.1 % fallen in diese Klasse (vgl. Abb. 42).

Minimum: Nr. 14/24 (DGK 5 Stauffenburg) - 3
Maximum: Nr. 12-14/4 (DGK Münchehof-Süd
und Stauffenburg) - 95

Auf Abb. 6 ist der Formfaktor in Abhängigkeit von der Erdfallfläche dargestellt. Die Darstellung zeigt einen schwachen Trend von kleinen, trichterförmigen zu großen, schüsselförmigen Erdfällen.

Alle Rötterdfälle gehen auf Subrosion des Röt 1-Sulfats zurück. Die Deckgebirgsmächtigkeit über dem Anhydrit bzw. Gips liegt zwischen 35 und 55 m.

6.2.2. Erdfälle im Unteren Buntsandstein

Mit Ausnahme des Gipsplateaus E Osterode finden sich Erdfälle im Unteren Buntsandstein über das gesamte Arbeitsgebiet verteilt.

Auf einer etwa 60° streichenden Linie parallel zur Schaller (DGK 5 Hahausen-Süd und Vw. Langenberg) liegen 8 Erdfälle: 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1-2/5, 1/6, 2/2 und 2/1.

Mit einer 65° streichenden Linie lassen sich die Erdfälle 3/4, 4/1, 4/2, 4/3, 4/4, 4/5, 4/6, 4/7 verbinden (Abb. 16, 17).

Zur gleichen Richtung tendieren die Erdfälle 6/2, 8/5, 8/4, 8/3, 8/2, 8/1 und 8/6 auf den Blättern Seesen und Herrhausen (Abb. 19 u. 21) sowie die Erdfälle 8/10, 8/9, 8/13, 8/12 und 8/11 (Abb. 21).

Eine weitere bevorzugte Richtung streicht mit 145° . Erdfälle auf den Bl. Winkelsmühle (Abb. 17) und Solhopberg (Abb. 18) (4/1, 4/2, 4/3, 4/4, 4/5, 4/6, 4/7, 4/8, 4/9, 4/13, 4/14, 4/15, 4/16, 4/17, 4-5/29, 5/3, 5/4, 5/5) sowie auf Bl. Winkelsmühle (4/14, 4/18, 4/19, 4/20, 4/21, 4/22, 4/23, 4/24, 4/25, 4/26) folgen dieser Streichrichtung.

Ebenfalls auf den Bl. Winkelsmühle und Solhopberg reihen sich

4-5/29, 4/30, 4/31, 4/32, 4/33, 4/34, 4/35, 4/36 in 40°-
Richtung aneinander.

Eine schwächere Nord-Süd-Lineation findet sich für Erdfälle der Blätter Vw. Klingenhagen und Solhopberg sowie auf Blatt Winkelsmühle.

Im Süden des Arbeitsgebiets (Abb. 32, 34) zeichnen die Erdfälle 21/1, 21/2, 21/3 und 20/3 die rheinische Richtung nach.

Typisierung der Erdfälle

Für das Spektrum der Formen ergab sich (vgl. Tab. 15):

TYP	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O.QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M.QUARTÄR	PROZENT
Schüssel	41	31.3	12	22.6	29	37.2
Trichter	56	42.8	35	66.0	21	26.9
Schlot	2	1.5	1	1.9	1	1.3
zuge- schüttet	32	24.4	5	9.5	27	34.6
Summe	131	100.0	53	100.0	78	100.0

Tab. 9

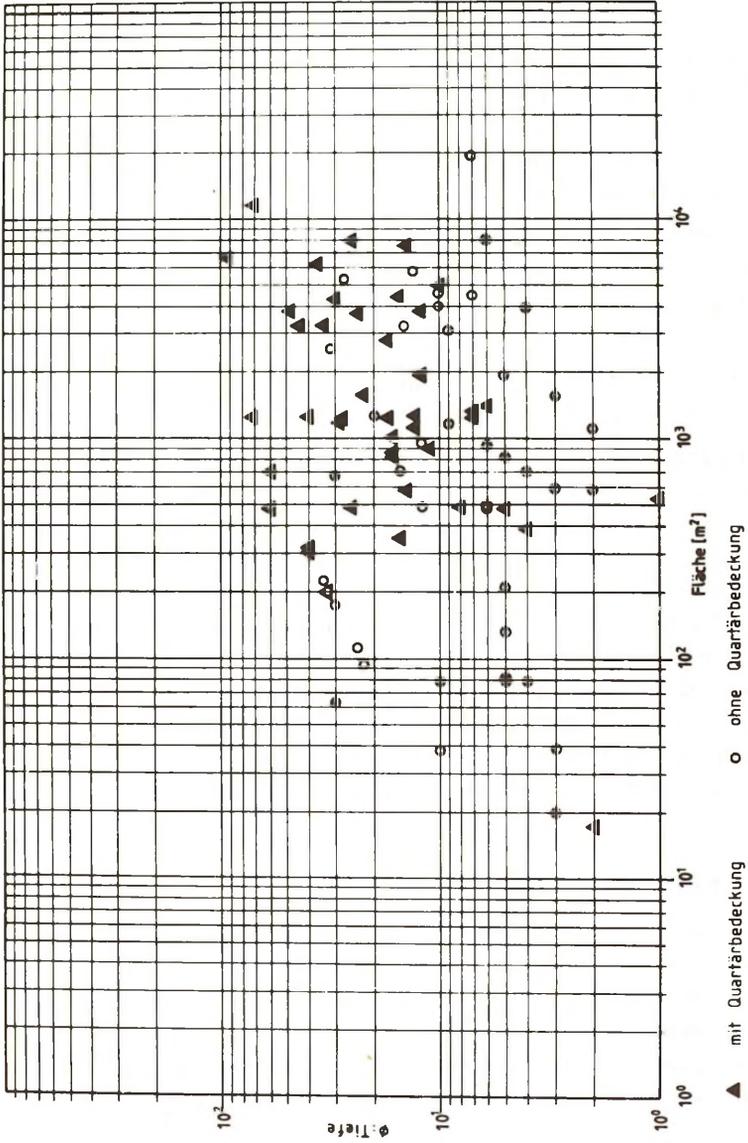
Für die Umrisse ergibt sich dieses Bild (vgl. Abb. 39):

UMRISS	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O.QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M.QUARTÄR	PROZENT
rund	81	61.8	34	64.1	47	60.2
ellipt.	30	22.9	9	17.0	21	26.9
oval	11	8.4	5	9.4	6	7.7
nierenf.	3	2.3	2	3.8	1	1.3
länglich	1	0.8	-	-	1	1.3
unregelm.	5	3.8	3	5.7	2	2.6
Summe	131	100.0	53	100.0	78	100.0

Tab. 10

Die Verteilung wird durch die Quartärüberdeckung nicht verändert.

Abbildung 7: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (su)



Die Spannweite der Erdfallflächen umfaßt:

Minimum: 3/1 (DGK 5 Vw. Klingenhagen) - 7 m²

Maximum: 4/3 (DGK Winkelsmühle) - 19 400 m²

Bevorzugt treten Erdfallflächen zwischen 1000 und 2000 m² auf (26 Werte = 12.4 %). Diesen Flächen entspricht ein mittlerer Durchmesser von ca. 44 m. Ein Nebenmaximum liegt mit 16 Werten (12.4 %) in der Klasse von 300 bis 400 m² (mittlerer Durchmesser: ca. 21 m) (vgl. Abb. 40).

Der Formfaktor ist in der ersten Dekade (Werte zwischen 1 und 10) annähernd normal verteilt (vgl. Abb. 42). Am häufigsten liegt der Quotient (Ø:T) zwischen 10 und 20; 22 Werte (24.7 %) fallen in diese Klasse.

Minimum: 6/18 (DGK 5 Seesen) - 1

Maximum: 21/12 (DGK 5 Windhausen) - 92

Die Darstellung des Formfaktors in Abhängigkeit von der Erdfallfläche zeigt für Erdfälle im bedeckten Unteren Buntsandstein eine geringere Streuung als für solche im unbedeckten (Abb.7). Eine Ausnahme bildet der Erdfall 3/1 mit 7 m² (Erdfallgröße nach mündlicher Auskunft eines Landwirts). Die große Streuung der zweiten Gruppe wird von Erdfällen auf Bl. Ziegenberg (Abb. 24) hervorgerufen. Die Erdfälle dieser Gegend haben mit 40 m nur etwa die Hälfte der sonst üblichen Deckgebirgsmächtigkeit. Die Graphik bestätigt einen Trend zu steigenden Formfaktoren mit wachsenden Flächen.

Die Deckgebirgsmächtigkeiten schwanken zwischen 145 (6/13) und 15 m (Erdfälle auf Bl. Ziegenberg).

6.2.3. Erdfälle im Zechstein 3 und 4 (z 3+4)

Im Ausstrich dieser Schichten liegen nur auf den Blättern Seesen-Ost (Abb. 20) und Stauffenburg (Abb. 25) Erdfälle. Auf Bl. Seesen-Ost liegen 4 Erdfälle nahe einer NW-SE streichenden Verwerfung.

Auf Bl. Stauffenburg sind die Erdfälle 14/11, 14/12, 14/13, 14/15, 14/19, 14/20 und 14/21 zusammen mit einem Rötterfall

und einem Erdfall im Stinkkalk auf einer Nord-Süd streichenden Linie zwischen Hauptstörung und östlicher Randstörung aufgereiht. Zwei Erdfälle sitzen auf der östlichen Randstörung. Die Erdfälle im Zechstein 3 und 4 sind damit ausgeprägt linear angeordnet.

Typisierung der Erdfälle

TYP	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O.QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M.QUARTÄR	PROZENT
Schüssel	5	38.5	-	-	5	62.5
Trichter	8	61.5	5	100.0	3	37.5
Schlot	-	-	-	-	-	-
Summe	13	100.0	5	100.0	8	100.0

Tab. 11

Erdfälle im unbedeckten Zechstein 3 und 4 sind trichterförmig. Eine Lockergesteinsdecke (Lößlehm und Schwemmlöß) führt zu schneller Verflachung (vgl. Abb. 29).

UMRISS	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O.QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M.QUARTÄR	PROZENT
rund	2	15.4	1	20.0	1	12.5
ellipt.	9	69.2	3	60.0	6	75.0
oval	2	15.4	1	20.0	1	12.5
nierenf.	-	-	-	-	-	-
länglich	-	-	-	-	-	-
unregelm.	-	-	-	-	-	-
Summe	13	100.0	5	100.0	8	100.0

Tab. 12

Die Verteilung zeigt keine markanten Unterschiede, die auf Quartärbedeckung zurückzuführen wären. Deutlich dominieren ellipsenförmige Erdfälle (vgl. Abb. 39).

Außer drei Exemplaren haben alle Erdfälle Flächen zwischen 1000 und 4000 m². Das entspricht mittleren Durchmesser von 36 bis 71 m (vgl. Abb. 40). Die Spannweite der Flächen umfaßt:

Minimum: 7/6 (DGK 5 Seesen-Ost) - 491 m²
 Maximum: 14/20 (DGK 5 Stauffenburg) - 5 027 m².

Es dominieren Formfaktoren zwischen 30 und 40 (5 Werte = 41.7 %). Die Quotienten (Ø:T) streuen zwischen 5 (14/12) und 85 (7/4) (vgl. Abb. 41).

Zwischen Formfaktor und Erdfallfläche besteht keine lineare Abhängigkeit. Die Einzelwerte bilden eine Punktwolke, die keinen Trend erkennen läßt (Abb. 8).

Alle Erdfälle im Zechstein 3 und 4 gehen auf Subrosion des Werra-Anhydrit zurück (HINZE, 1976).

Die Deckgebirgsmächtigkeiten liegen zwischen 20 und 25 m.

6.2.4. Erdfälle im Basalanhydrit (A₂)

Erdfälle im Basalanhydrit finden sich auf den Blättern Lichtenstein (Abb. 34) und Feldbrunnen (Abb. 35). Die Erdfälle liegen bevorzugt auf 110° und 145° streichenden Linien.

Typisierung der Erdfälle

TYP	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O. QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M. QUARTÄR	PROZENT
Schüssel	16	84.2	12	80.0	4	100.0
Trichter	3	15.8	3	20.0	-	-
Schlot	-	-	-	-	-	-
Summe	19	100.0	15	100.0	4	100.0

Tab. 13

Im bedeckten Karst treten nur noch Schüsseln auf (vgl. Abb. 38).

UMRISS	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O.QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL, M.QUARTÄR	PROZENT
rund	1	5.3	1	6.7	-	-
ellipt.	8	42.1	7	46.6	1	25.0
oval	4	21.0	3	20.0	1	25.0
nierenf.	4	21.0	3	20.0	1	25.0
länglich	1	5.3	-	-	1	25.0
unregelm.	1	5.3	1	6.7	-	-
Summe	19	100.0	15	100.0	4	100.0

Tab. 14

Deutlich dominiert die elliptische Form (vgl. Abb. 39).

Die Erdfälle sind zwischen 118 (31/1) und 3100 m² (32/58) groß. Fünf Erdfälle (33.3 %) haben Flächen von 1000 bis 2000 m² (vgl. Abb. 41). Das entspricht einem häufigsten mittleren Durchmesser von ca. 44 m.

Der Formfaktor umgreift die Werte 6 (31.1) und 97 (32/57). Ein bevorzugter Quotient ist nicht erkennbar (vgl. Abb. 41).

Zwischen Formfaktor und Fläche ist ein schwacher Zusammenhang erkennbar. Im Trend werden die Erdfälle mit wachsender Größe flacher (Abb. 9).

6.2.5. Erdfälle im Staßfurtkalk (Stinkkalk - Stinkdolomit) (ca₂)

Die Erdfälle auf dem Hochplateau W Osterode zeigen einen Trend zu linearer Anordnung. Bevorzugt sind die rheinische und die hercynische Richtung.

Auf den Blättern Seesen-Ost (Abb. 20) und Ziegenberg (Abb. 24) ist ebenfalls eine gerichtete Anordnung der Formen erkennbar.

Typisierung der Erdfälle

TYP	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O.QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M.QUARTÄR	PROZENT
Schüssel	230	86.5	125	82.2	105	91.3
Trichter	32	12.0	24	15.9	8	7.0
Schlot	1	0.4	1	0.65	-	-
zuge- schüttet	3	1.1	1	0.65	2	1.7
Summe	266	100.0	151	100.0	115	100.0

Tab. 15

Es überwiegen die Schüsselformen. Die Quartärbedeckung wirkt sich nur schwach aus (vgl. Abb. 38).

UMRISS	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O.QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M.QUARTÄR	PROZENT
rund	63	23.7	43	28.5	20	17.4
ellipt.	89	33.5	50	33.1	39	33.9
oval	37	13.9	18	11.9	19	16.5
nierenf.	27	10.1	16	10.6	11	9.6
länglich	26	9.8	17	11.3	9	7.8
unregelm.	24	9.0	7	4.6	17	14.8
Summe	266	100.0	151	100.0	115	100.0

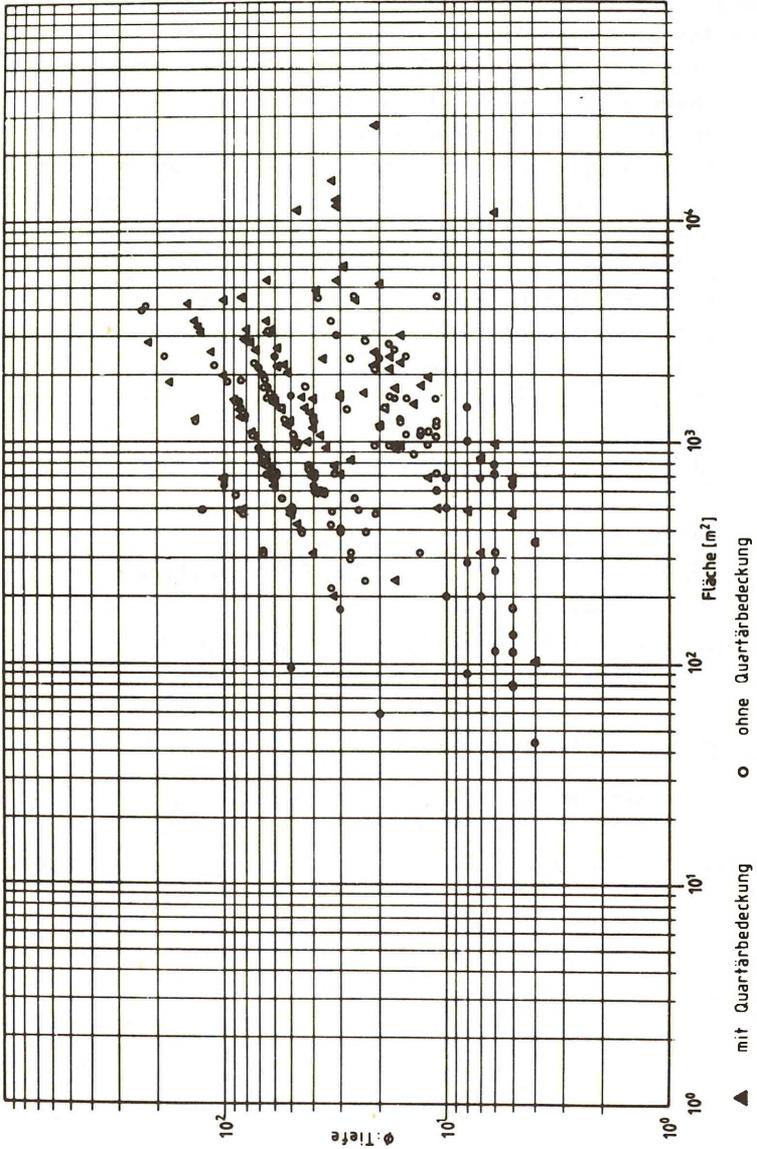
Tab. 16

Auffällig häufig treten in Staßfurtkalk mit Lockergesteinsbedeckung unregelmäßige Formen auf (vgl. Abb. 39).

Die Flächen der Erdfälle in diesem stratigraphischen Niveau sind minimal 44 m^2 (13/15) und maximal $27\,150 \text{ m}^2$ (32/45) groß. Das Maximum der Häufigkeitsverteilung liegt in der Größenklasse von 1000 bis 2000 m^2 . 74 Erdfälle (27.8 %) fallen zwischen diese Grenzwerte. Ihr mittlerer Durchmesser beträgt ca. 44 m (vgl. Abb. 40).

Der Formfaktor schwankt zwischen 4 (vier Erdfälle) und 236 (27/30). Werte zwischen 10 und 20 kommen bei 42 Exemplaren

Abbildung 10: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (ca_2)



(16.9%) vor (vgl. Abb. 41).

Zwischen Formfaktor und Fläche ist auf Abb. 10 ein deutlicher linearer Zusammenhang erkennbar. Im oberen Teil der Graphik liegen die Punkte auf vier parallelen Geraden. Die lineare Abhängigkeit wird jedoch von einem methodischen Meßfehler erzeugt. Der überwiegende Teil der Wertepaare wurde über Luftbilder gewonnen. Die Erdfalltiefen wurden mit dem Stereomikrometer bestimmt. Ähnlich wie eine Schublehre mißt auch das Mikrometer in bestimmten Schritten. Dadurch werden die Erdfalltiefen über einen Raster gemessen. In Abhängigkeit von der Rastergröße treten deshalb bestimmte Werte verstärkt auf und andere werden unterdrückt. So wird eine lineare Abhängigkeit der Wertepaare vorgetäuscht.

Die Abbildung zeigt einen klaren Trend: der Formfaktor nimmt mit wachsender Erdfallgröße zu.

Die Mächtigkeit des Deckgebirges schwankt zwischen 10 und 45 m.

6.2.6. Erdfälle in der Einsturzbreccie aus Stinkkalk und Stinkdolomit und in den Residualbildungen des Werra-Anhydrit (A₁, res)

In diesem Schichtabschnitt können sich nur Erdfälle bilden, wenn der Werra-Anhydrit noch nicht völlig subrodiert ist.

Typisierung der Erdfälle

TYP	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O. QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M. QUARTÄR	PROZENT
Schüssel	9	90.0	8	88.9	1	100.0
Trichter	1	10.0	1	11.1	-	-
Schlot	-	-	-	-	-	-
Summe	10	100.0	9	100.0	1	100.0

Tab. 17

UMRISS	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O. QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M. QUARTÄR	PROZENT
rund	6	60.0	6	66.7	-	-
ellipt.	3	30.0	2	22.2	1	100.0
oval	-	-	-	-	-	-
nierenf.	1	10.0	1	11.1	-	-
länglich	-	-	-	-	-	-
unregelm.	-	-	-	-	-	-
Summe	10	100.0	9	100.0	1	100.0

Tab. 18

Die geringe Zahl der Erdfälle macht eine Analyse der Häufigkeiten von Erdfallflächen und Formfaktoren wenig sinnvoll (vgl. Abb. 38, 39).

Die Flächen liegen zwischen 79 m^2 (13/20) und $6\,283 \text{ m}^2$ (22/1); der Formfaktor reicht von 2 (13/18) bis 33 (27/17) (vgl. Abb. 40, 41).

Der Trend zu flacheren Formen mit wachsenden Flächen ist auch hier erkennbar (Abb. 11).

6.2.7. Erdfälle im Werra-Anhydrit

Die Erdfälle in der Subrosionssenke der Söse folgen der hercynischen Richtung. Eine Ausnahme bilden Erdfälle auf Blatt Katzenstein (Abb. 32) mit einem Trend zur rheinischen Richtung.

Typisierung der Erdfälle

TYP	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O. QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M. QUARTÄR	PROZENT
Schüssel	23	85.2	-	-	23	88.5
Trichter	4	14.8	1	100.0	3	11.5
Schlot	-	-	-	-	-	-
Summe	27	100.0	1	100.0	26	100.0

Tab. 19

UMRISS	ANZAHL GESAMT	PROZENT GESAMT	ANZAHL O.QUARTÄR	PROZENT	ANZAHL M.QUARTÄR	PROZENT
rund	6	22.2	-	-	6	23.1
ellipt.	15	55.6	-	-	15	57.7
oval	1	3.7	1	100.0	-	-
nierenf.	2	7.4	-	-	2	7.7
länglich	2	7.4	-	-	2	7.7
unregelm.	1	3.7	-	-	1	3.8
Summe	27	100.0	1	100.0	26	100.0

Tab. 20

Mit nur einer Ausnahme liegen alle Erdfälle im bedeckten Gipskarst. Schüsselformen überwiegen, am häufigsten findet man elliptische Umrisse (vgl. Abb. 38, 39).

Die Grenzwerte der Erdfallflächen sind:

Minimum: 24/12 (DGK Badenhausen-Süd) - 5 m²
 Maximum: 34/3 (DGK Osterode a.H.) - 13 390 m²

Bevorzugte Erdfallgrößen treten nicht auf (vgl. Abb. 40).

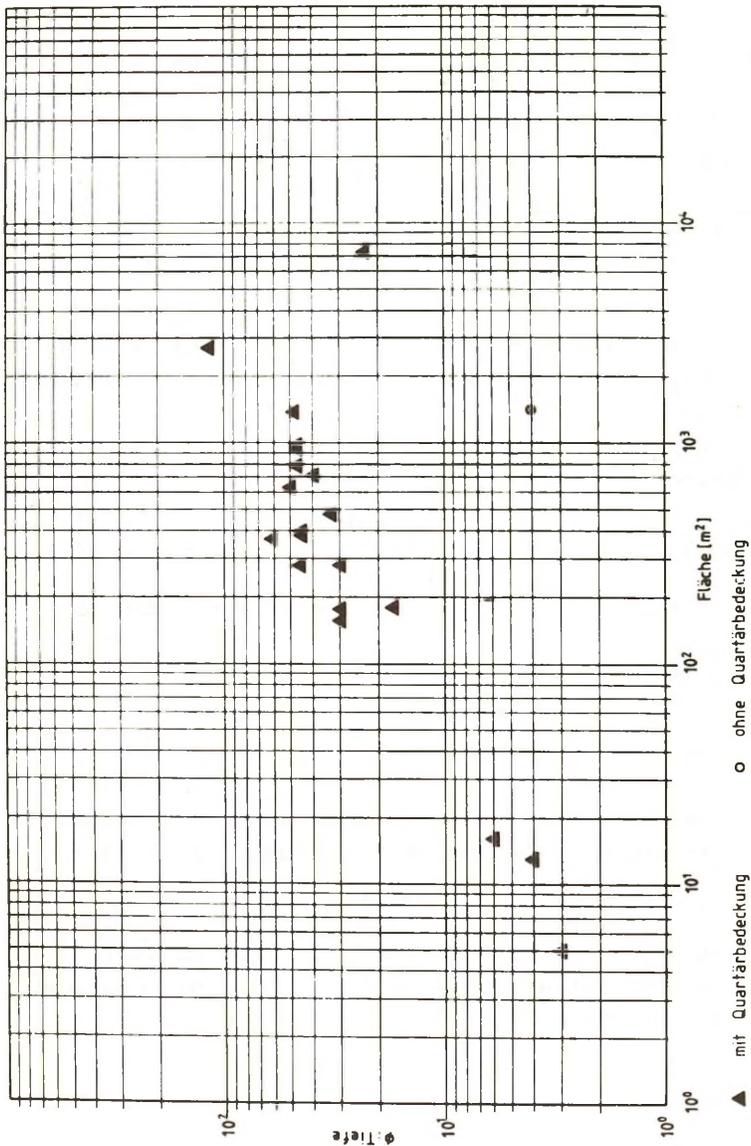
Der Formfaktor umspannt folgende Werte:

Minimum: 24/12 (DGK Badenhausen-Süd) - 3
 Maximum: 28/2 (DGK Lasfelde) - 117

Am häufigsten kommen Quotienten (Ø:T) zwischen 40 und 50 vor. Acht Exemplare (40 %) liegen in dieser Größenordnung (vgl. Abb. 41).

Zwischen Formfaktor und Erdfallgröße besteht ein fast linearer Zusammenhang. Beide Werte sind einander annähernd proportional (Abb. 12).

Abbildung 12: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (A_1)



7. INTERPRETATION DER BEFUNDE

Rein beschreibend klassifizierte BRENDEL (1977) die subrosionsbedingten Formveränderungen der Erdoberfläche nach langjährigen Beobachtungen und Meßreihen in der Mansfelder Mulde folgendermaßen:

A. Bruchlose Senkungen

- a) Senkungsbecken
sehr große, alt angelegte Senkungsformen
- b) Senkungswannen
langgestreckte kleinere Formen, meist innerhalb großer Senkungsbecken
- c) Senkungskessel
rundliche Formen mit Durchmessern von wenigen Zehnern von Metern

B. Übergangsformen

- a) rasant absinkende Senkungskessel
rundliche Formen mit Bruchstrukturen in der randlichen Zerrungszone
- b) schleichende Erdfälle
verzögerter Bruchvorgang, Durchmesser bis 10 m

C. Erdfälle

- a) Normalerdfälle
runder bis ovaler Umriß
- b) Spaltenerdfälle
deutlich länger als breit, perlschnurartig aufgereiht, besonders in Gebieten mit standfestem Lockergestein über Zerrungszonen
- c) Suffosionserdfälle
in tonig-schluffigem Lockergestein

Der gesamte Formenschatz tritt im Sulfat- wie im Salzkarst auf.

Bei alten, überprägten Formen wird eine Einstufung in das BRENDELsche System oft unmöglich. Trotzdem sollen in diesem Kapitel über die Beschreibung hinaus Überlegungen zur Erdfallmechanik angestellt werden.

7.1. ERDFÄLLE IM OBEREN BUNTSANDSTEIN

Die Röt-Erdfälle gehen ausnahmslos auf Subrosion der sulfatischen Einschaltungen im Röt 1 (Grauer Abschnitt) zurück. Liegen die Subrosionsformen im Röt 4, ist mit einer Deckgebirgsmächtigkeit um 40 m zu rechnen. Bei Erdfällen im Röt 3 reduziert sich diese Mächtigkeit auf etwa 35 m. Die Tonsteine des Oberen Buntsandstein dichten das Sulfatlager ab. Über Schichtflächen können aufgrund der Lagerungsform keine Wässer an das verkarstungsfähige Gestein herankommen. Nur Verwerfungszonen und durchhaltende Klüfte sind wasserwegsam. Deshalb sind die Rötterdfälle streng linear angeordnet (s. 6.2.1.).

Es ist unbekannt, ob die Sulfate im Röt 1 des Arbeitsgebietes als Anhydrit oder Gips vorliegen. In der Literatur fehlt es nicht an Beispielen für die These, daß nur Gips verkarstungsfähig sei. Besonders STEINBRECHER (1959), REUTER (1962) und A.HERRMANN (1969) gingen von dieser Annahme aus. Wasserwegsame Flächen im Anhydrit sollten demnach durch Volumenzunahme bei der Vergipsung plombiert werden. Der Anhydrit böte dem Wasser somit keine Angriffsflächen. Es ist jedoch fragwürdig, von Erdfällen ausschließlich auf Gips im Untergrund zu schließen. BIESE (1931), PRIESNITZ (1969a, 1970, 1972) und KOCKERT (1972) beschrieben Karstschlotten und -höhlen auch im Anhydrit. Besonders PRIESNITZ und KOCKERT wiesen auf die Bedeutung der Lösungsgeschwindigkeit bei Karstprozessen hin. Die Vergipsung des Anhydrits läuft über eine flüssige Phase (von ENGELHARDT, 1945). Ist die Fließgeschwindigkeit des Wassers groß genug, wird der in Lösung befindliche Anhydrit weggeführt, bevor er wieder als Gips ausfällt. Demnach ist eine Verkarstung des Anhydrits sehr wohl möglich.

Die Frage nach der mineralogischen Modifikation des Calciumsulfats wird zweitrangig.

Für die Erdfälle im Röt kommen vier verschiedene Modelle in Frage.

A. Echte Erdfälle

Der Hohlraum im Sulfatgestein entwickelt sich in mehreren Stadien. Zunächst werden die Klüfte angelöst und erweitert. Allmählich bildet sich eine Laughöhle mit meist trapezförmigem Querschnitt. Dieser Querschnitt zeichnet die Lösungsvorgänge nach. An der Decke der Laughöhle befindet sich das leichte, aggressive Wasser mit hohem Lösungsvermögen. Diese Zone wird von immer schwerer werdenden Wässern mit wachsendem Anteil gelöster Substanz unterschichtet. In der Zone direkt über dem Boden der Laughöhle ist die Lösung nahezu gesättigt und kann nur noch einen kleinen Querschnitt erzeugen. Hat die Laughöhle einen bestimmten Durchmesser erreicht, kommt es zu Firstfällen. Das eingebrochene Material wird gelöst. Unlösliche Rückstände bilden zusammen mit den Karbonaten, die noch während der Lösung der Sulfate gefällt werden (WIGLEY, 1972), die Residuen. Das verstürzte Material häuft sich in der Höhle langsam an und die Höhle fällt trocken. Bricht die Firste weiter nach oben, geht die Höhle in das letzte Stadium ihrer Entwicklung, das Erdfallstadium, über (BIESE, 1931; REINBOTH, 1968; KEMPE, 1970 und KOCKERT, 1972).

Die Gesteine des Oberen Buntsandstein vermitteln zwischen bindigen Lockergesteinen (plastischer und weicher oder steifer Ton) sowie Festgesteinen und werden als veränderlich feste Gesteine bezeichnet (BÜCHNER, 1976 a u. b). Über das Hochbrechen unterirdischer Hohlräume in einem derartig aufgebauten Gebirge gibt es mehrere Theorien:

KAMMERER (1962) geht bei seinem Modell von einem dünnplattigen Gestein mit nennenswerter Biegezugfestigkeit aus (Muschelkalk). Über dem primären Hohlraum im Karstgestein entwickelt sich eine Kuppel mit rundem Querschnitt. Die Kuppel wird als Rotationsparaboloid aufgefaßt, in dem die Schichten vom Liegenden zum Hangenden immer näher in Richtung Rotationsachse reichen. Wie bei einer auf den Kopf gestellten Treppe kragen so die einzelnen Schichten zur Firste immer weiter aus. Durch Nachbrechen der überstehenden Abschnitte vergrößert sich der

Hohlraum von unten nach oben.

KAMMERER (1962, S. 68) versucht die Dimensionen des sekundären Hohlraumes zu berechnen:

$$r_u = q (\sqrt{Y_u} - \sqrt{Y_o}); \text{ es bedeuten:}$$

r_u = Radius der Kuppel an der Basis

q = Gebirgskonstante (abhängig von Biegezugfestigkeit und Raumgewicht des Gebirges)

Y_u = Mächtigkeit des Deckgebirges über Basis der Kuppel

Y_o = Mächtigkeit des Deckgebirges über Scheitel der Kuppel

Weiter bringt KAMMERER (S.68) eine Abbildung mit verschiedenen Parabeln vom Anfangs- bis zum Endstadium des Sekundärhohlraumes. Aus der Gleichung der Parabelschar geht hervor, daß im Finalstadium der Radius des Gewölbes an der Basis r_u zahlenmäßig gleich der Gebirgskonstanten q ist. Diese Aussage widerspricht der eben angeführten Gleichung.

Wird das Festgestein von Lockermaterial überlagert, bricht das Lockergestein in einem zylinderförmigen Pfropfen in den Sekundärhohlraum ein. Der Radius des Zylinders ist abhängig von den Reibungskräften zwischen Pfropfen und umgebenden Gestein sowie vom Raumgewicht des Lockergesteines:

$$r = \frac{2 \cdot \rho}{\gamma} \quad (\text{KAMMERER, S. 70}), \text{ es bedeuten:}$$

ρ = Reibungs- und Kohäsionskräfte

γ = Raumgewicht

LISZKOWSKI (1973 b) beschreibt die Erdfallmechanik im lockergesteinsbedeckten Karst. Der Verfasser geht davon aus, daß die Bruchvorgänge der Gleichung

$$\tau_r = \sigma' \tan \varphi_r \quad \text{gehören (S.T2-F4). Dabei sind}$$

τ_r = Scherfestigkeit im Gleitzustand

σ' = wirksame bzw. effektive Normalspannung bezogen auf die Scherfuge

φ_r = wirksamer Winkel der inneren Reibung im Gleitzustand

Über dem primären Hohlraum bildet sich eine aktive Entspannungszone in Form eines Gewölbes mit parabolischem Querschnitt. Der Gewölberadius b wird berechnet über:

$$B = d + h \cdot \tan(45^\circ - \varphi_r/2);$$

die Höhe des Gewölbes a ergibt sich aus:

$$a = \frac{b}{\tan \varphi_r}; \text{ mit}$$

d = Durchmesser des Primärhohlraumes

h = Höhe des Primärhohlraumes.

In bindigen Böden und Festgesteinen, die der o.a. Gleichung für die Gleitfestigkeit folgen, können die Dimensionen des Gewölbes mit denselben Gleichungen ermittelt werden.

LISZKOWSKI (1973 b) geht davon aus, daß im Karst mit bindiger Lockergesteinsbedeckung das sekundäre Gewölbe nicht bis zur Tagesfläche hochwandert, sondern ein siloartiger Durchbruch der Höhe z_o zum eigentlichen Erdfall führt.

Als empirische Formel zur Berechnung von z_o wird angegeben:

$$z_o = \frac{2.5 \cdot c}{\gamma} \tan(45^\circ + \varphi/2); \text{ mit}$$

c = Kohäsion ————— der Trennflächen

φ = Reibungswinkel —————

Aus den Berechnungen der Dimensionen des Sekundärgewölbes und des siloartigen Durchbruchs leitet LISZKOWSKI eine Formel zur Bestimmung der maximalen Deckgebirgsmächtigkeit

H_{\max} über dem Primärhohlraum ab.

$$H_{\max} = a + z_o$$

Liegen die Sulfate unter Deckgebirgsmächtigkeiten größer als H_{\max} , nimmt die Wahrscheinlichkeit der Erdfallbildung stark ab.

Mit dem Ansatz LISZKOWSKIs wird eine Abschätzung der unterirdischen Hohlräume der Rötterdfälle versucht. Gerechnet wird mit Werten für halbfesten Ton (WAGNER, 1971):

$$c = 7.5 \text{ t/m}^2$$

$$\varphi = 25^\circ$$

$$\gamma = 2.49 \text{ t/m}^3$$

$$\text{daraus } z_o = \frac{2.5 \times 7.5}{2.49} \frac{\text{t/m}^2}{\text{t/m}} \cdot \tan 70^\circ = 12 \text{ m}.$$

Die Deckgebirgsmächtigkeit der Röt-Erdfälle schwankt zwischen 55 und 35 m. Unter der Annahme, daß der Primärhohlraum tatsächlich bis an die Grenze zum nichtverkarstungsfähigen Gestein heranreicht, errechnet sich die Höhe des Gewölbes a mit ca. 43 bzw. ca. 23 m. Die Basisdurchmesser des Gewölbes liegen zwischen ungefähr 40 und 21 m.

Sicher sind bei dieser Berechnung sowohl Ansatz als auch Eingangswerte zu ungenau, um die wahren Verhältnisse auch nur einigermaßen exakt zu beschreiben.

Interessanterweise dürften im Rötäusstrich keine echten Erdfälle mit Durchmessern größer als 32 m auftreten, denn der Durchmesser des siloartigen Durchbruches kann nicht größer sein als der Durchmesser des Sekundärgewölbes. Demnach wären nur Nr. 14/19 und Nr. 14/29 (DGK 5 Stauffenburg) echte Erdfälle.

B. Spaltenerdfälle

Spaltenerdfälle treten bevorzugt über Zerrungszonen in bindigen Lockergesteinen wie Löß und Geschiebelehm auf (BRENDDEL, 1977). Die Zerrungszonen können tektonischer oder subrosiver Entstehung sein. Die bindigen Lockergesteine vermögen die Zerrspalten aufgrund ihrer Kohäsion für eine gewisse Zeit lokal zu überbrücken. An Schwachstellen brechen perlschnurartig aufgereihte Erdfälle ein, die z.B. im Mansfelder Becken nicht breiter als 2 m werden.

Die Röt-Erdfälle sind deutlich linear angeordnet. Sie zeichnen Störungszonen nach, die bei der Kartierung nicht faßbar waren. Sehr wahrscheinlich sind die Verwerfungen tektonisch entstanden. Sie stellen Nebenstörungen des Harzwestabbruches (westliche Hauptstörung des Gittelder Grabens) dar. Damit ist eine der Voraussetzungen für dieses Modell erfüllt. Die Dimensionen der Röt-Erdfälle über Tage sprechen jedoch eindeutig gegen die hier skizzierte Genese.

C. Suffosionserdfälle

Im lockergesteinsbedeckten Sulfatkarst treten Suffosions-

erdfälle unterschiedlicher Genese auf (REUTER, 1962); LISZKOWSKI, 1973a). Für die Röt-Erdfälle kommt nur ein Modell infrage. Danach wird der Feinkornanteil des Lockersediments selektiv aus dem Gestein herausgespült und in einzelne subrosiv erweiterte Klüfte und Karstgerinne transportiert. Nun liegen jedoch in diesem Fall zwischen dem suffosionsfähigen Lockermaterial (Lößlehm) und den Sulfaten noch einige Zehner Meter Schluff- und Tonstein. Der Feinkornanteil des Lößlehms kann nur in Zerrspalten oder Sekundärhohlräumen des Deckgebirges eingespült werden. Das Massendefizit äußert sich über Tage in bruchlosen Senken oder Erdfällen.

D. Senkungskessel

Setzt die Lösung an der Oberfläche der Sulfate an, so gleichen die überlagernden Schichten, zumindest in ihren oberflächennahen Bereichen, den Massenverlust durch Verbiegung aus.

Bei fossilen Erdfällen ist es häufig unmöglich, zwischen bruchhafter und bruchloser Form zu unterscheiden. Die Röt-Erdfälle können als Normalerdfälle, Suffosionserdfälle und Senkungskessel erklärt werden. Eine exakte Zuordnung genetischer Modelle zu einzelnen Erdfällen ist derzeit nicht möglich.

7.2. ERDFÄLLE IM UNTEREN BUNTSANDSTEIN

Auch der Untere Buntsandstein besteht aus veränderlich festen Gesteinen. In der Nomenklatur des Tunnelbaus muß das Gebirge als druckhaft bezeichnet werden. Im Gegensatz zum Röt kann bei den wenigen vorhandenen Bohrungen der verkarstete Horizont meistens nicht genau angegeben werden. Die Angaben zur Deckgebirgsmächtigkeit beziehen sich auf den mutmaßlich obersten Sulfathorizont (vgl. Abb.2). Die Subrosionsformen mit einem Ursprung in etwa 110 m Teufe müssen als Normalerdfälle gedeutet werden. Der Ansatz LITZKOWSKIs (1973 b) ist für den Unteren Buntsandstein nicht brauchbar. Die Erdfälle liegen zum Teil so eng beieinander, daß sich die Sekundärgewölbe benachbarter Formen theoretisch miteinander verschneiden

würden. Demnach wäre dem Gebirge zwischen den Subrosionsformen der tragende Untergrund entzogen. Alle Hypothesen, die von einer parabelförmigen Auslaibung des Sekundärgewölbes ausgehen, scheiden damit aus (z.B. LOHMANN, 1962; KAMMERER, 1962).

Besonders WEBER (1955), R. HERRMANN (1968, 1972, 1973), BERGER (1970), PRINZ (1970, 1973), BERNHARD (1973), GRIMM & LEPPER (1973), LISZKOWSKI (1973b) und PRIESNITZ (1974) haben sich mit Erdfällen tiefen Ursprungs befaßt. In allen Arbeiten wird von einem siloartigen Durchbruch des Primärhohlraumes zur Tagesfläche ausgegangen. Dieser Hohlraum muß groß genug sein, um das verstürzte und damit aufgelockerte Material aufzunehmen. Wegen ihrer Standfestigkeit sind besonders Sulfatgesteine für die Bildung derartig großer natürlicher Kavernen geeignet (PRINZ, 1973). Der Rückschluß von Großerdfällen auf Salzkartst ist demnach nicht möglich. Die Erdfälle entstehen meist in Entspannungszonen oder Zonen mit aktiver Zugspannung (LISZKOWSKI, 1973 a u. b). In diesen Zonen ist die Scherfestigkeit des Gebirges auf Trennflächen senkrecht zur Schichtung (parallel zur Klüftung) herabgemindert. Die Klufftkörper können sich kaum verspannen oder verkeilen und so kein echtes Gewölbe aufbauen. Darüber hinaus wird die Festigkeit des Gebirges (Schluff-Tonstein) durch Wasser, die an klaffenden Klüften und Verwerfungen eindringen, stark herabgesetzt. Eine Häufung der Abbruchperioden im Frühjahr (LISZKOWSKI, 1973b) kann zumindest für das Seesener Gebiet nicht bestätigt werden. Von den fünfzehn bekannten Ein- und Nachbrüchen des Erdfalls am Bahnhof Seesen (BÜCHNER, 1976 a) ereigneten sich nur fünf im wasserhaushaltlichen Winterhalbjahr (November bis April).

Tatsächlich ordnen sich die Erdfälle speziell im Norden des Gebietes linear an. Typisch ist die Erdfallhäufung in den Entspannungszonen parallel zu beiden Talrändern der tief eingeschnittenen Schildau nördlich Seesen.

In Gebieten, wo der Untere Buntsandstein von mächtigen quartären Ablagerungen überdeckt ist, wird der Kamin wie beschrieben bis zur Grenzfläche zum Lockergestein hochbrechen. Die Weiterent-

wicklung des Erdfalls ist von den Korngrößen und damit der Kohäsion dieser Sedimente abhängig. BERGER (1971) und LISZKOWSKI (1973 a u. b) beschreiben diese Vorgänge. In bindigen und nicht-bindigen Lockersedimenten (soweit noch Kohäsion vorhanden ist) baut sich über dem Hohlraum im Festgestein ein Gewölbe auf. Das Gewölbe vergrößert sich zur Erdoberfläche hin und bricht schließlich ein. Befinden sich in den quartären Serien tonige Einschaltungen, kann der Bruchvorgang verzögert werden. Die kohäsiven Tone überspannen den Hohlraum, ohne zunächst abzuscheren. Unter dem Gewicht der überlagernden Schichten werden die Tone bruchlos deformiert. An der Erdoberfläche bildet sich eine Senke aus. Wenn die angreifenden Spannungen im Laufe der Zeit die Festigkeit übersteigen, scheren die Tonschichten ab. Über Tage wird dann in der Senke ein Erdfall niedergehen.

Für Erdfälle im Unteren Buntsandstein mit flacherem Ursprung, z.B. auf Blatt Ziegenberg (Abb. 24), kann ein weit ausladendes Sekundärgewölbe ausgeschlossen werden, denn die Hohlräume liegen in engster Nachbarschaft.

Die Formen im unbedeckten Unteren Buntsandstein lassen sich demnach alle auf ein Grundmodell zurückführen. Verschiedene Typen (Schüssel-Trichter-Schlot) drücken keinen genetischen, sondern nur einen Altersunterschied aus. Die Quartärbedeckung modifiziert das Grundmuster in Abhängigkeit von den jeweiligen Scherfestigkeiten. Eine exakte Einstufung ist jedoch nur bei frischen Formen möglich.

7.3. ERDFÄLLE IM ZECHSTEIN 3 UND 4

Die Schichten des Zechstein 3 und 4 bestehen aus veränderlich festen Tonsteinen, die von engständig geklüftetem, dünnplattigem Stinkkalk (12 bis 15m) unterlagert werden. Der dazwischenliegende, primär geringmächtige Basalanhydrit (A_2) ist subrodiert. So gehen die Oberflächenformen auf Verkarstung von Werra-Anhydrit (A_1) zurück. Die Mächtigkeit des Deckgebirges liegt zwischen 20 und 25 m. Alle Erdfälle in diesem Niveau zeichnen Störungszonen nach; sie befinden sich also in Zug- oder Entspannungszonen. Die Klüft-

körper des Staßfurtkalkes erreichen Kantenlängen vom Zentimeter- bis Dezimeterbereich. Die Dimensionen der Klufstkörper sind in Aufschlüssen der Einsturzbreccie des Stinkkalkes (A_1 , res) gut zu beobachten.

Ähnlich wie beim Unteren Buntsandstein werden sich die Bruchstücke des Staßfurtkalkes kaum verspannen und kein Gewölbe aufbauen. Auch hier ist ein siloartiger Durchbruch des Primärhohlraumes anzunehmen. Erdfallschüsseln, die in diesem Bereich auftreten, sind ursprünglich steil geböschte, inzwischen gealterte Formen.

7.4. ERDFÄLLE IM BASALANHYDRIT (A_2)

Die Subrosionsformen im Basalanhydrit lassen sich auf zwei Grundmuster zurückführen. An Klufferschneidungen setzt die Verkarstung im Gipsgestein an; es entwickelt sich, wie in 7.1. beschrieben, eine Laughöhle. Durch Nachbrüche in der Firste entsteht ein Pseudogewölbe. Dieser glockenförmige Sekundärhohlraum wandert bis zur Tagesfläche nach oben bzw. sein Schlußstein stürzt ein. Daraus resultieren Erdfälle, deren Seitenwände im Jugendstadium nach unten divergieren oder senkrecht stehen (SPETHMANN, 1910; HAEFKE, 1926; CRAMER, 1941; KROME, 1950; A. HERRMANN, 1953, 1964, 1969, 1973; PRIESNITZ, 1970). Die gleichen Autoren beschrieben Hohlformen, die entstehen, wenn das Sulfatgestein von der Oberfläche her verkarstet (vgl. 7.5.). Durch punktuelle Lösung werden trichterartige Vertiefungen herausgearbeitet, die sich zu Schlotten weiterentwickeln können.

Die Mehrzahl der Erdfälle gehört zu diesem Typus. Im Gipsbruch E Förste sind mehrere Schlotten durch den Abbau angeschnitten. Anhand von Säugetier-Resten konnte das Alter der Spalten als Saale-, wahrscheinlich Weichsel-zeitlich angenommen werden (SICKENBERG, 1969).

Außerhalb des Arbeitsgebietes (südlich der Straße Förste-Osterode) wurden die Erdfälle im Basalanhydrit, soweit auf Luftbildern erkennbar, in die Karten übertragen. Die Erdfälle dieses Bereiches gehen überwiegend auf den Einsturz unter-

irdischer Hohlräume zurück.

7.5. ERDFÄLLE IM STASSFURTKALK (STINKKALK, -DOLOMIT)

Die am besten untersuchten Subrosionsformen im Arbeitsgebiet sind die Erdfälle auf dem Stinkdolomit-Plateau E Osterode. Das Plateau ist durch weitgespannte, hercynisch streichende Wellen und Senken gegliedert (SPETHMANN, 1910; HAEFKE, 1926; A. HERRMANN, 1953). In dem Oberflächenrelief paust sich die subkutane Morphologie des Werra-Anhydrit durch. Nur an wenigen Stellen (z.B. Nr. 27/17, Bl. Katzenstein) reicht das Sulfat in den "Wellen" bis an die Erdoberfläche heran. Im allgemeinen wird das Karstgestein von Residuen, verbrochenem Staßfurtdolomit, im Verband befindlichem Staßfurtdolomit sowie in weiten Flächen von Lößlehm und Schwemmlöß überlagert. Die Tageswässer dringen über das Kluftnetz des Dolomits an das Sulfatgestein heran. Die subterrane Auslaugung setzt punktuell an der Gipsoberfläche an. Zunächst werden kleine trichterförmige Vertiefungen herausgelöst. Durch fortschreitende Lösung wachsen die Formen steilwandig in die Tiefe. Es entstehen Schlotten oder Orgeln mit Durchmessern im Meterbereich und Tiefen zwischen 20 und 30 Metern (KROME, 1950). Die Tiefensubrosion wird durch die Lockergesteinsfüllung der Orgeln ermöglicht. Das Lockermaterial ist wassergesättigt und durchfeuchtet gleichmäßig wie ein Schwamm den Schlottenboden. Der Staßfurtdolomit bricht mit seinen tieferen Partien in den Hohlraum ein. Die höheren Lagen des Schichtgliedes sinken bruchlos nach.

Nur vereinzelt treten in diesem Niveau Trichterformen auf, die als Normalerdfälle angesprochen werden. Sie entstanden durch den Einsturz eines unterirdischen Hohlraums (vgl. 7.4.).

7.6. ERDFÄLLE IN DER EINSTURZBRECCIE AUS STINKKALK UND STINK-DOLOMIT UND IN DEN RESIDUALBILDUNGEN DES WERRA-ANHYDRIT

In diesem Horizont können nur dann Erdfälle einbrechen, wenn noch Reste des Sulfatgesteins vorhanden sind. Ähnlich wie

beim Staßfurtkalk und -dolomit können die Formen als Senken gedeutet werden, die ein subkutanen Relief abbilden.

7.7. ERDFÄLLE IM WERRA-ANHYDRIT

Die großflächigen, torf- und muddegefüllten Subrosionsformen auf den Blättern Lasfelde (Abb. 33), Osterode a.H.-West (Abb. 36) und Osterode a.H. (Abb. 37) haben sich über Eintiefungen der Werra-Anhydrit-Dachfläche gebildet. Die Gipslösung setzt an den betont hercynischen Klüften im Sulfatgestein an. Über die Intensität der Verkarstung kann nur ein Fein-nivellement-Netz im Bereich der Söse-Subrosionssenke Aufschluß geben.

Die relativ kleinflächigen, oft steil geböschten Formen auf den Blättern Badenhausen-Süd (Abb. 34) und Katzenstein (Abb. 32) sind Normalerdfälle im lockergesteinsbedeckten Karst. Die Formen entwickeln sich analog zu denen im quartärbedeckten Unteren Buntsandstein (7.2.). Im Unterschied zum Unteren Buntsandstein bildet sich hier jedoch das Gewölbe im Lockergestein direkt über dem Primärhohlraum aus. Auch Verzögerungseffekte durch kohäsivere Einschaltung sind denkbar.

8. ERDFALLGEFÄHRDUNG DES GEBIETES

Über das Arbeitsgebiet wurde ein Raster mit 200 m Kantenlänge gelegt (Abstand der Gitterlinien auf der Deutschen Grundkarte). So entstehen Einheitsquadrate mit 40 000 m² Fläche. Für jede Einheit wurde der Flächenanteil bestimmt, der von Erdfällen eingenommen wird und in Prozent umgerechnet (Taf. 3). Die Flächenprozentage sind ein feineres Maß für die Erdfallgefährdung als die Stückzahlen.

Bei der gewählten Rastergröße sind die Erdfälle nicht statistisch gleichmäßig verteilt; vielmehr heben sich mehrere Erdfallzonen ab. Westlich des Harzrandes bis zum ersten Auftreten von Erdfällen erstreckt sich ein Streifen, in dem die Sulfate subrodiert sind. Die Auslaugung begann am Harzrand und schritt

nach Westen bzw. Südwesten voran.

Ein genaueres Bild für den Gefährdungsgrad der Region würde man erhalten, wenn das Alter der Erdfälle besser bekannt wäre. Die Subrosionsformen sind zum überwiegenden Teil fossil. Im Erdfallfeld nördlich Seesen (Bl. Winkelsmühle und Solhopberg) kann mit einem Niederterrassen-zeitlichen, in der Subrosions-senke der Söse mit einem post-Oberterrassen-zeitlichen Beginn der Auslaugung (2.5.) gerechnet werden. Die Erdfallbildung dauert bis in die Gegenwart an.

Die Flächenprozentkarte (Taf. 3) kann aus folgenden Gründen als Karte der Erdfallgefährdung betrachtet werden:

Erdfälle treten fast immer vergesellschaftet auf. Wo sich in der Vergangenheit Erdfälle ereigneten, können sie auch in weiterer Zukunft entstehen.

In den Erdfallzonen weist das Deckgebirge Eigenschaften auf, die für das Hochbrechen unterirdischer Hohlräume Bedingung sind (z.B. Spannungszonen). In den jetzt erdfallfreien Gebieten ist auch für die Zukunft keine nennenswerte Erdfallgefährdung zu erwarten.

Exakte Prognosen können jedoch beim heutigen Kenntnisstand nicht gegeben werden.

In der ingenieurgeologischen Praxis sind auch alte, inzwischen eingeebnete Erdfälle wegen ihrer setzungsempfindlichen Füllungen von großer Bedeutung. Bei der Bauplanung wird man in Gebieten mit hohem Erdfallflächen-Anteil besonders auf diese über Tage nicht mehr erkennbaren Formen achten müssen.

Bislang fehlen für die Bundesrepublik einheitliche Richtlinien für die Ausführung von Bauten in erdfallgefährdeten Gebieten.

In der Praxis werden soweit wie möglich die "Richtlinien für die Ausführung von Bauten im Einflußbereich des untertägigen Bergbaus" (1953) angewandt. In der DDR existiert mit der TGL 168-1002: "Ingenieurgeologische Erkundung - Grundsätze und Vorschriften für auslaugungsgefährdete Gebiete" (1966) eine spezifische Norm.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Am nordwestlichen Harzrand zwischen Hahausen und Osterode wurden 482 Erdfälle systematisch aufgenommen. Als Erdfälle wurden dabei alle oberirdischen Groß-Subrosionsformen ungeachtet ihrer Entstehung aufgefaßt. Die Geländekartierung stützte sich auf Archivunterlagen, alte topographische und geologische Karten sowie auf Luftbilder. Erdfälle im Ausstrich gleicher stratigraphischer Einheiten wurden zusammengefaßt und ihre Basisdaten: Erdfalltyp, -umriß, -fläche und Formfaktor (Durchmesser:Tiefe) miteinander verglichen.

Die Dimensionen der Erdfälle werden an der Oberfläche von zwei Faktoren beeinflusst, dem Alter und der Genese. Bei den meist fossilen Erdfällen werden charakteristische genetische Merkmale durch den Alterungsprozeß so stark überprägt, daß sie in der Statistik nicht mehr signifikant hervortreten.

Für die einzelnen Schichtabschnitte wurden theoretische Modelle zur Erdfallmechanik am konkreten Beispiel überprüft.

Im Oberen Buntsandstein können die Formen als Senkungskessel, Normalerdfälle und Subrosionserdfälle gedeutet werden. Mit den vorliegenden Daten ist es jedoch nicht möglich, einzelnen Erdfällen bestimmte Entstehungsmechanismen zuzuordnen.

Die Erdfälle im Unteren Buntsandstein brechen siloartig zur Tagesfläche nach oben. Lockergesteinsbedeckung kann den Durchbruch verzögern, besonders wenn kohäsive Lagen eingeschaltet sind.

Normalerdfälle treten im Zechstein 3 und 4 auf. Im nicht verkarsteten Gestein kann sich ein Pseudogewölbe ausbilden, aber auch ein kaminartiger Hohlraum ist denkbar. Im Basalanhydrit, Staßfurtkalk und -dolomit, in der Einsturzbreccie aus Staßfurtkalk und -dolomit sowie im Werra-Anhydrit entwickeln sich die Formen in Abhängigkeit vom Ansatzpunkt der Verkarstung. Wird innerhalb des Sulfatgesteins gelöst, so entstehen Normalerdfälle. Punktuelle Ablaugung an der Oberfläche des Karstgesteins führt zu Senkungskesseln. Mächtige Quartärbedeckung modifiziert

ähnlich wie beim Unteren Buntsandstein die Bruch- und Senkungsvorgänge. Die Erdfälle treten vergesellschaftet auf und sind linear angeordnet, wobei sie Klufmuster, Störungs- und Entspannungszonen nachzeichnen.

Prognosen über zukünftige Erdfallbildungen können nicht gestellt werden. Die Geophysik verfügt bis jetzt über keine allgemein gültige Methode, um unterirdische Hohlräume nachzuweisen. Auch in der Bergschadenskunde sind keine Ansätze bekannt, die das Problem rechnerisch erfassen. Erste Versuche zur Bestimmung der ursprünglichen Hohlräume unter bekannten Erdfällen sind nur bedingt brauchbar.

Eine Rayonisierung ist für die Bauplanung keine wirkliche Entscheidungshilfe. Zu große Flächen müßten danach als erdfallgefährdet angesehen werden.

Nur eine detaillierte Aufnahme der subrosionsbedingten Veränderungen der Erdoberfläche unter Berücksichtigung des geologischen Rahmens liefert ein sicheres Fundament für die Beurteilung des Gefährdungsgrades einer Region.

10. ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN

ARBEITSAUSSCHUSS BUNTSANDSTEIN DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER
(1974): Richtlinien zur Gliederung des deutschen Buntsandstein. - Geol. Jb., A 25: 123-125; Hannover.

BEHRENS, D.G.H. (1703): Hercynia Curiosa oder Curiöser Hartz=Wald. - 203 S.; Nordhausen (Ebert).

BERGER, H. (1970): Gewölbewirkung und Scherzonenbereiche in Abhängigkeit der Bruchphasen bei Tagesbrüchen und Erdfällen hinsichtlich der Deutung von Vorsenkungen und Nachsetzungen
- Ber. 10. Ländertreff. IBG,; 676-683; Leipzig.

--- (1971): Zeitlich begrenzte Beharrungszustände in hängenden Gebirgsstrukturen bei der Entstehung von Tagesbrüchen und Erdfällen. - Ber. 11. Ländertreff. IBG,; 12-33; Leipzig.

BERNHARD, H. (1973): Fossile Einbruchschlote im Muschelkalk Nordhessens. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T2-H1 - T2-H5; Essen.

- BIESE, W. (1931): Über Höhlenbildung - I. Teil: Entstehung der Gipshöhlen am südlichen Harzrand und am Kyffhäuser. - Abh. preuß. geol. L.-Anst., N.F., 137: 71 S.; Berlin.
- BOIGK, H. (1959): Zur Gliederung und Fazies des Unteren Buntsandsteins zwischen Harz und Emsland. - Geol. Jb., 76: 597-636; Hannover.
- BRENDEL, K. (1977): Die Bedeutung subrosionsbedingter Formänderungen der Geländeoberfläche für die Bausubstanz, Landeskultur und Territorialplanung in der Mansfelder Mulde. - Hall. Jb. Geowiss., 1: 51-68; Gotha/Leipzig (VEB Haack).
- BÜCHNER, K.H. (1976 a): Baugrund. - Erl. geol. Kt. Niedersachsen 1:25000, Bl. 4127 Seesen: 120-126; Hannover.
- .-- (1976 b): Baugrund. - Erl. geol. Kt. Niedersachsen 1:25000, Bl. 4227 Osterode: 119-122; Hannover.
- CARLE, W. (1938): Die saxonische Tektonik westlich und nordwestlich des Harzes (Gittelder Graben und Lutterer Sattel). - Geotekt. Forsch., 3: 33-72; Berlin (Gebr. Borntraeger).
- CRAMER, H. (1941): Die Systematik der Karstdolinen, unter besonderer Berücksichtigung der Erdfälle, Erzschlotten und verwandter Erscheinungen. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Beil. Bd., B. 85: 293-382; Stuttgart.
- CVIJIĆ, J. (1893): Das Karstphänomen. - Pencks geogr. Abh., 5, 3, (Seitenzahl unbekannt); Wien.
- DRESCHER, J. & JORDAN, H. (1973): Bedeckter Sulfatkarst bei Osterode/Harz und seine Auswirkung auf Ingenieurbauwerke. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T4-H1 - T4-H8; Essen.
- DUPHORN, K. (1974): Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. - 500 S.; Stuttgart (Koehler).
- .-- (1976): Quartär. - Erl. geol. Kr. Niedersachsen 1:25000, Bl. 4127 Seesen: 52-61, Hannover
- ENGELHARDT, W. von (1945): Zur Bildung von Gips aus Anhydrit. - Chemie der Erde, 15: 424-428; Jena.
- FIGGE, K. (1964): Das Karbon am Nordwestende des Harzes. - Geol. Jb., 81: 771-808; Hannover.
- FRIESE, H. (1933): Die Karsthohlformen der Schwäbischen Alb. - Stuttgarter geogr. Stud., A 37/38: 1-119; Stuttgart.

- GRIMM, A. & LEPPER, J. (1973): Schlotförmige Erdfälle im Sollinggewölbe und deren Beziehung zu Salzwasservorkommen. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T2-E1 - T2-E7; Essen.
- GRUPE, O. (1910): Über glaziale und präglaziale Bildungen im nordwestlichen Vorlande des Harzes. - Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. (für 1907), 28: 507-528; Berlin.
- (1916): Über diluviale Gebirgsstörungen im hannoverschen Berglande und zur Frage der diluvialen Hebung des Harzes. - Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. (für 1915), 36: 375-397; Berlin.
- (HAACK, W. & SCHUCHT, F.) (1915): Erl. geol. Kt. Preußen benachbart. B.-Staat. 1:25000, Lief. 182, Bl. Lamspringe, (Seitenzahl unbekannt); Berlin.
- HABETHA, E. (1972): Ingenieurgeologische Erfahrungen bei Schäden in Erdfallgebieten Südniedersachsens. - Ber. Naturhist. Ges., 116: 95-108; Hannover.
- HAEFKE, F. (1926): Karsterscheinungen im Gips am Südharz. - Mitt. geogr. Ges. Hamburg, 37: 77-105; Hamburg.
- HAGEDOORN, J.G. (1959): The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections. - Geophys. Prospect., 7: 158-182; Leiden.
- HEIDORN, F. (1949): Über den westdeutschen Zechstein und seine Einfügung in das paläogeographische Bild der Zechsteinformation. - Erdöl und Tektonik in Nordwestdeutschland: 97-112; Hannover, Celle.
- HERRMANN, A. (1953): Der Zechstein am Südwestrand des Harzes (seine Stratigraphie, Fazies, Paläogeographie, Tektonik und Morphologie). - Diss., (Seitenzahl unbekannt); Berlin.
- (1956): Der Zechstein am südwestlichen Harzrand (seine Stratigraphie, Fazies, Paläogeographie und Tektonik). - Geol. Jb., 72: 1-72; Hannover.
- (1964): Gips- und Anhydritvorkommen in Nordwestdeutschland. - Silikat-Jour., 3, 6: 442-466; Selb.
- (1968): Gipslagerstätten und Gipskarst am südwestlichen Harzrand. - Der Aufschluss, Sonderh. 17: 108-111; Heidelberg.
- (1969): Einführung in die Geologie, Morphologie und Hydrogeologie des Gipskarstes am südwestlichen Harzrand. - Jh. Karst- und Höhlenkd., H. 9 (Der Südharz - seine Geologie, seine Höhlen und Karsterscheinungen): 1-10; München.

- HERRMANN, A. (1973): Geologische und geochemische Bedingungen für das Auftreten von Erdfällen und Bodensenkungen als Auswirkung der natürlichen Lösung von Gesteinen. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. G1-1 - G1-6; Essen.
- HERRMANN, R. (1968): Auslaugung durch aufsteigende Mineralwässer als Ursache von Erdfällen bei Bad Pyrmont. - Geol. Jb., 85: 265-284; Hannover.
- . (1972): Über Erdfälle äußerst tiefen Ursprungs (Die "Wolkenbrüche" bei Trendelburg und die "Meere" bei Bad Pyrmont). - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 100: 177-193; Wiesbaden.
- . (1973): Zur Beurteilung der Gefahr für Bauvorhaben nahe bei Erdfällen besonders tiefen Ursprungs. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T4-E1 - T4-E5; Essen.
- HILDEBRAND, G. & PRINZ, H. (1973): Fallgewichtsseismische und ingenieurgeologische Untersuchungen für Straßbauten über Zechstein-Sulfat. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T3-E1 - T3-E10; Essen.
- HINZE, C. (1976): Geol. Kt. Niedersachsen 1:25000, Erl. Bl. 4127 Seesen, 152 S.; Hannover.
- HÖVERMANN, J. (1950): Die diluvialen Terrassen des Oberharzes und seines Vorlandes. Ein Beitrag zur Frage der Harzhebung. - Petermanns geogr. Mitt., 94: 121-130; Gotha.
- HOPPE, W. (1944): Die Auslaugungserscheinungen im Werra-Kaligebiet, ihre Bedeutung für die Lagerstätte und die Landschaftsformen. - Jb. Reichsamt Bodenforsch., 62: 248-271; Berlin.
- HOYNINGEN-HEUNE, E. von (1957): Ingenieurgeologische Bedeutung von Auslaugungsschäden. - Z. angew. Geol., 3: 474-476; Berlin (Akademie-Verlag).
- . (1960): Auslaugung oder Ablaugung. - Geologie; 9: 318-320; Berlin.
- INT. ASS. GEOL. (1973): Proc. Symp. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, (ohne Seitenzahl); Essen.
- JACOBSEN, W. & SCHNEIDER, H. (1950): Die Erzgänge des nordwestlichen Oberharzes. - Eine Erläuterung zur Gangkarte 1:25000. - Geol. Jb., 65: 707-768; Hannover, Celle.
- JORDAN, H. (1976 a): Geol. Kt. Niedersachsen 1:25000, Erl. Bl. 4227 Osterode, 148 S.; Hannover.

- JORDAN, H. (1976 b): Die Terrassenkiese im Sösetal am Harz. - Geol. Jb., A 36: 75-101; Hannover.
- KAISER, E. & SIEGERT, L. (1908): Beiträge zur Stratigraphie des Perms und zur Tektonik am westlichen Harzrande. - Jb. preuß. geol. L.-Anst. (für 1905), 26: 353-369; Berlin.
- KAMMERER, F. (1962): Ingenieurgeologische Methoden in Erdfall- und Senkungsgebieten. - Freiburger Forsch.-H., C 127: 49-109; Berlin (Akademie-Verlag).
- KATZER, F. (1905): Bemerkungen zum Karstphänomen. - Z. dt. geol. Ges., Mber., 57: 233-242; Berlin.
- KEMPE, H. (1970): Beiträge zum Problem der Speläogenese im Gips unter besonderer Berücksichtigung der Unterwasserphase. - Die Höhle, Z. Karst- und Höhlenkde., 21, 3: 126-134, Wien.
- KLOOS, J.H. (1891): Die geognostischen Verhältnisse am nord-westlichen Harzrande zwischen Seesen und Hahausen. - Jb. preuß. geol. L.-Anst. (für 1891), 12: 126-153; Berlin.
- KOCKERT, W. (1927): Höhlenbildung im Zechstein der DDR und einige grundsätzliche Bemerkungen zur Karsthydrogeologie der Zechsteinschichten. - Ber. deutsch. Ges. Geol. Wiss., R.A., Geol. Paläont., 17, 2: 261-272; Berlin.
- KOENEN, A. von (1887): Über postglaziale Dislokationen. - Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. (für 1886), 7: 1-18; Berlin.
- . (1894): Über die Dislocationen westlich und südwestlich vom Harz und über deren Zusammenhang mit denen des Harzes. - Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. (für 1913), 14: 68-82; Berlin.
- KOERNER, U. (1973): Kleinseismische Untersuchungen in erdfallgefährdeten Gebieten. Problematik bei der Auswertung der Meßergebnisse. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T3-C1 - T3-C3; Essen.
- KROME, F.G. (1950): Untersuchungen in den Aufschlüssen des mittleren Zechsteins bei Osterode am Harz in den Gipsbrüchen der Firma "Harzer Gipswerke" Robert Schimpf & Söhne (Osterode a. Harz). - Lagerst.-kdl. Meldearb. (Mineral.Inst.), 67 S.; Clausthal.
- LISZKOWSKI, J. (1973 a): Erdfälle und Bodensenkungen der Karstgebiete Polens; ihre Verbreitung und Genese. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T1-E1 - T1-E7; Essen.

- LISZKOWSKI, J. (1973 b): Bemerkungen über die Geomechanik von Erdfällen. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T2-F1 - T2-F5; Essen.
- LOHMANN, H.H. (1962): Zur Formenentwicklung von Salzauslaugungstrichtern. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 90: 319-326; Wiesbaden.
- LÜTTIG, G. (1962): Das Braunkohlebecken von Bornhausen am Harz. - Geol. Jb., 79: 565-662; Hannover.
- MOHR, K. (1969): Zur paläozoischen Entwicklung und Lineamenttektonik des Harzes, speziell des Westharzes. - Clausthaler tektonisch. H., 9: 19-110; Clausthal-Zellerfeld. (E. Pilger).
- PENCK, A. (1924): Das unterirdische Karstphänomen. - In: Recueil de travaux offert à M. Jovan Cvijić par ses amis et collaborateurs à l'occasion de ses 35 ans de travail scientifique, S. 1-23; Belgrad.
- PRIESNITZ, K. (1969 a): Kurze Übersicht über den Karstformenschatz des südwestlichen Harzrandes. - Jh. Karst- und Höhlenkd. H 9 (Der Südharz - seine Geologie, seine Höhlen und Karsterscheinungen): 11-23; München.
- (1969 b): Über die Vergleichbarkeit von Lösungsformen auf Chlorid-, Sulfat- und Karbonatgesteinen - Überlegungen zu Fragen der Nomenklatur und Methodik der Karstmorphologie. - Geol. Rundsch., 58: 427-438; Stuttgart (Enke).
- (1970): Karstmorphologische Untersuchungen im Niedersächsischen Bergland. - Diss., 185 S.; Göttingen.
- (1972): Formen, Prozesse und Faktoren der Verkarstung und Mineralumbildung im Ausstrich salinärer Serien. - Göttinger geogr. Abh., 60 (Hans Poser - Festschrift): 317-339; Göttingen.
- (1974): Beobachtungen an einem bemerkenswerten rezenten Erdfall bei Göttingen. - N. Arch. Niedersachsen, 23, 4: 387-397; Göttingen, Hannover.
- PRINZ, H. (1970): Fossile Einbruchschlote im Mittleren Buntsandstein der Vorderrhön, entstanden durch Auslaugung von Salzgesteinen im tieferen Zechsteinuntergrund. - Rock Mech., Suppl. 1: 35-42; Wien.
- (1973): Zur Entstehung von Einbruchschloten und Korrosionskesseln über tiefem Salinarkarst. - Proc. Symp. Int. Ass. Eng. Geol. "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover, S. T2-D1 - T2-D6; Essen.

- REGENHARDT, H. (1957): Geologische Untersuchungen im westlichen Harzvorland (Seesener Gewölbe und südöstliche Leinetalachse). - Dipl.-Arb. (unveröff.), 125 S.; Hamburg.
- REINBOTH, F. (1968): Beiträge zur Theorie der Gipshöhlenbildung. - Die Höhle, Z. Karst- u. Höhlenkde., 19: 75-83; Wien.
- REUTER, F. (1962): Gebäudeschäden durch "Untergrundsenkungen" in Bad Frankenhausen (Kyffhäuser). - Z. angew. Geol., 8, 3: 132-137; Berlin (Akademie-Verlag).
- (1963): Zur Klassifizierung von Karsterscheinungen für ingenieurgeologische Zwecke. - Z. angew. Geol., 9: 25-27; Berlin (Akademie-Verlag).
- RICHTER, E. (1908): Beiträge zur Landeskunde Bosniens und der Herzegowina. - Wiss. Mitt. Bosnien. Herzegowina, 10 (Seitenzahl unbekannt); (Erscheinungsort unbekannt).
- RICHTER-BERNBURG, G. (1955): Der Zechstein zwischen Harz und Rheinischem Schiefergebirge. Bericht über eine Exkursion zu den Zechsteinaufschlüssen dieses Gebietes anlässlich der Frühjahrstagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Goslar 1953. - Z. dt. geol. Ges. 105: 876-899; Hannover.
- SCHRÖDER, H. (Hrsg.) (1973): Richtlinien für die Ausführung von Bauten im Einflußbereich des untertägigen Bergbaus (1953). - In: Grundbau-Taschenbuch, II, Normen und Richtlinien, S. 489-506; Berlin, München, Düsseldorf (Ernst & Sohn) - (3. Aufl.).
- SEEDORF, H.H. (1955): Reliefbildung durch Gips und Salz im Niedersächsischen Bergland. - Veröff. Nieders. Amt Landesplan. Statist., A 1, 56, 108 S.; Bremen.
- SICKENBERG, O. (1969): Die Wirbeltierfaunen der Höhlen und Spalten des Harzes und seines südlichen Vorlandes. - Jh. Karst- und Höhlenkde., H. 9 (Der Süharz - seine Geologie, seine Höhlen und Karsterscheinungen): 91-106; München.
- SPETHMANN, H. (1910): Morphologische Studien am Gipszug von Osterode am Harz. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Abh., 1910, 2: 159-170; Stuttgart.
- SPREITZER, H. (1931): Die Talgeschichte und Oberflächengestaltung im Flußgebiet der Innerste. - Jb. geogr. Ges. Hannover, 1931: 1-115; Hannover.

- STEINBRECHER, B. (1953): Die Subrosion des Zechsteingebirges im östlichen und nordöstlichen Harzvorland unter besonderer Berücksichtigung der Edderitzer Mulde. - Geologie, 8: 489-522; Berlin.
- . (1960): Über Salzablaugung und Gipsauslaugung (Bemerkungen zum Beitrag von E. von HOYNINGEN-HUENE). - Geologie, 9: 321-324; Berlin.
- TGL 168-1002 (1966): Ingenieurgeologische Erkundung-Grundsätze und Vorschriften für auslaugungsgefährdete Gebiete; Berlin.
- THIEM, W. (1972): Geomorphologie des westlichen Harzrandes und seiner Fußregion. - Jb. geogr. Ges. Hannover, Sonderh. 6, 271 S.; Hannover.
- . (1974): Neue Aspekte für die Rekonstruktion der Reliefentwicklung des Harzes. - Hercynia, N.F., 11: 233-260; Leipzig.
- THÜRNUAU, K. (1913): Der Zusammenhang der Rhumequelle mit der Oder und Sieber. - Jb. Gewässerkde., bes. Mitt., 2, 6, (Seitenzahl unbekannt); Berlin.
- TRIMMEL, H. (Hrsg.) (1965): Fachwörterbuch für Karst- und Höhlenkunde (Speläologisches Fachwörterbuch). - Jh. Karst- und Höhlenkde., H. 5, 112 S.; Wien.
- WAGNER, H. (1971): Tunnelbau. - In: Beton-Kalender 1971: 171-302; Berlin, München, Düsseldorf (Ernst & Sohn).
- WEBER, H. (1930): Zur Systematik der Auslaugung. - Z. dt. geol. Ges., 82: 179-186; Berlin.
- . (1955): Zur Formenentwicklung der thüringischen Erdfälle. - Hallesches Jb. mitteldeutsch. Erdgesch., 2: 100-107; Halle/Saale.
- . (1961): Auslaugung und Ablaugung. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1961: 43-46; Stuttgart.
- WEISSERMEL, W., GRUPE, O., DAHLGRÜN, F. & SCHRIEL, W. (1932): Zum Problem des Harzranddiluviums. - Z. dt. geol. Ges., 84: 173-189; Berlin.
- WIGLEY, T.M.L. (1973): Chemical evolution of the system calcite-gypsum-water. - Canadian J. Earth Sci., 10: 306-315; Ottawa.

Zitierte Geologische Karten 1:25000

- Bl. Lutter am Barenberge Nr. 4027: BODE, A. & SCHRÖDER, H.
(1913): Geologische Karte von Preußen und benach-
barten Bundesstaaten, Lief. 174.
- Bl. Seesen Nr. 4127, 1. Aufl.: BODE, A. (1907): Geologische
Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten,
Lief. 100.
- Bl. Seesen Nr. 4127: siehe HINZE (1976)
Manuskriptkarte (1972).
- Bl. Osterode 4227, 1. Aufl.: BODE, A. & ERDMANNSDÖRFER, O.
(1908): Geologische Karte von Preußen und benachbarten
Bundesstaaten, Lief. 100.
- Bl. Osterode Nr. 4227: siehe JORDAN (1976a)
Manuskriptkarte (1975).

11. ANHANG

11.1. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

- Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes
2: Geologische Profile
3: Geophysikalisches Profil über Erdfall 3/3
4: Verteilung der Flächen aller Erdfälle
5: Verteilung der Quotienten $\emptyset:T$ für alle Erdfälle
6: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (so)
7: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (su)
8: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (z3+4)
9: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (A_2)
10: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche ($\bar{c}a_2$)
11: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (A_1 , res)
12: Beziehung zwischen Formfaktor und Erdfallfläche (A_1)
13: Legende zu den Karten und Tabellen
14: Erdfallkartierung DGK 5 Hahausen-Süd (1)
15: Erdfallkartierung Vw. Langenberg (2)
16: Erdfallkartierung Vw. Klingenhagen (3)
17: Erdfallkartierung Winkelsmühle (4)
18: Erdfallkartierung Solhopberg (5)
19: Erdfallkartierung Seesen (6)
20: Erdfallkartierung Seesen-Ost (7)
21: Erdfallkartierung Herrhausen (8)
22: Erdfallkartierung Münchehof-Ost (11)
23: Erdfallkartierung Münchehof-Süd (12)
24: Erdfallkartierung Ziegenberg (13)
25: Erdfallkartierung Stauffenburg (14) + Gittelde (17)
26: Erdfallkartierung Gittelde-Ost (18)
27: Erdfallkartierung Willensen (20)
28: Erdfallkartierung Windhausen (21)
29: Erdfallkartierung Windhausen-Ost (22)

- Abb. 30: Erdfallkartierung Eisdorf (23)
31: Erdfallkartierung Badenhausen-Süd (24)
32: Erdfallkartierung Katzenstein (27)
33: Erdfallkartierung Lasfelde (28)
34: Erdfallkartierung DGK 5 Förste (26) +
Lichtenstein (31)
35: Erdfallkartierung DGK Feldbrunnen (32)
36: Erdfallkartierung DGK 5 Osterode am Harz-West (33)
37: Erdfallkartierung DGK 5 Osterode am Harz (34)
38: Prozentuale Verteilung der Erdfallformen
39: Prozentuale Verteilung der Erdfallumrisse
40: Verteilung der Erdfallflächen im Ausstrich der
verschiedenen stratigraphischen Einheiten
41: Verteilung der Quotienten $\emptyset:T$ für die Erdfälle im
Ausstrich der verschiedenen stratigraphischen
Einheiten

11.2. VERZEICHNIS DER TABELLEN

- Tab. 1: Erdfalltypen
2: Erdfallumrisse
3: Stratigraphische Position der Erdfälle
4: Verkarstete Einheiten
5: Erdfallflächen pro stratigraphische Einheit
6: Erdfälle pro Karstregion
7: Erdfalltypen - so
8: Erdfallumrisse - so
9: Erdfalltypen - su
10: Erdfallumrisse - su
11: Erdfalltypen - z 3+4
12: Erdfallumrisse - z 3+4
13: Erdfalltypen - A_2
14: Erdfallumrisse - A_2
15: Erdfalltypen - ca_2
16: Erdfallumrisse - ca_2
17: Erdfalltypen - A_1, res
18: Erdfallumrisse - A_1, res
19: Erdfalltypen - A_1
20: Erdfallumrisse - A_1
21 bis 34: Erfasste Erdfälle und erhobene Parameter

11.3. VERZEICHNIS DER TAFELN (3 + 4 in Tasche)

- Tafel 3: Erdfallhäufigkeit in Flächenprozent
4: Geologische Karte des Arbeitsgebietes

	Erdfallschlot
	Erdfalltrichter
	Erdfallschüssel
	Erdfälle, wassergefüllt
	Erdfälle, zugeschüttet
	Schichtgrenzen
	Verwerfungen
	Harzwestabbruch
q	Quartär
ny	Abraum, Schutt, Holozän
qh _n f	Auelehm, Holozän (GK 25 Lutter, Seesen)
qh _n F	Teich- und Rinnensedimente, Holozän (GK 25 Osterode)
qh(j)	Jüngerer Auelehm, Holozän (GK 25 Osterode)
qw _n LoI	Lößlehm und Schwemmlöß, Weichsel-Kalt-Zeit
qN	Niederterrasse, Weichsel-Kalt-Zeit (GK 25 Lutter, Seesen)
qNJ	Untere Niederterrasse, Weichsel-Kalt-Zeit (GK 25 Osterode)
qNA	Obere Niederterrasse, Weichsel-Kalt-Zeit (GK 25 Osterode)
qs _n gf	Schmelzwasserablagerungen, Saale-Kalt-Zeit
m	Muschelkalk
so	Oberer Buntsandstein
sm	Mittlerer Buntsandstein
su	Unterer Buntsandstein
s+z ,v	Unterer Buntsandstein, verstürzt mit Residualton
z3+4	Zechstein 3 und 4, ungegliedert
A ₃	Hauptanhydrit
ca ₃	Plattendolomit
T ₃	Grauer Salzton
A ₂ +A ₃	Basalanhydrit und Hauptanhydrit, ungegliedert
A ₂	Basalanhydrit
ca ₂	Stinkkalk, -dolomit
A ₁ ,res	Einsturzbrecce aus Stinkkalk, -dolomit und Residualbildungen des Werra-Anhydrit
A ₁	Werra-Anhydrit
ca ₁ +ält.	Zechsteinkalk und älteres

Abstand der Gitterlinien auf den Karten: 200 m.

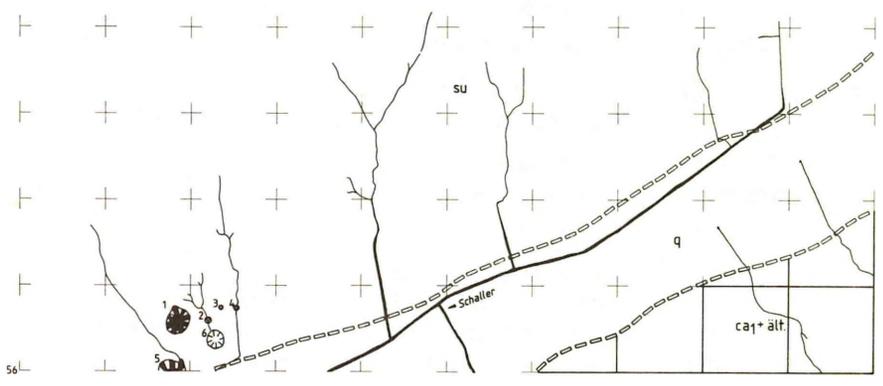
Abb. 13: Legende zu den Karten und Tabellen

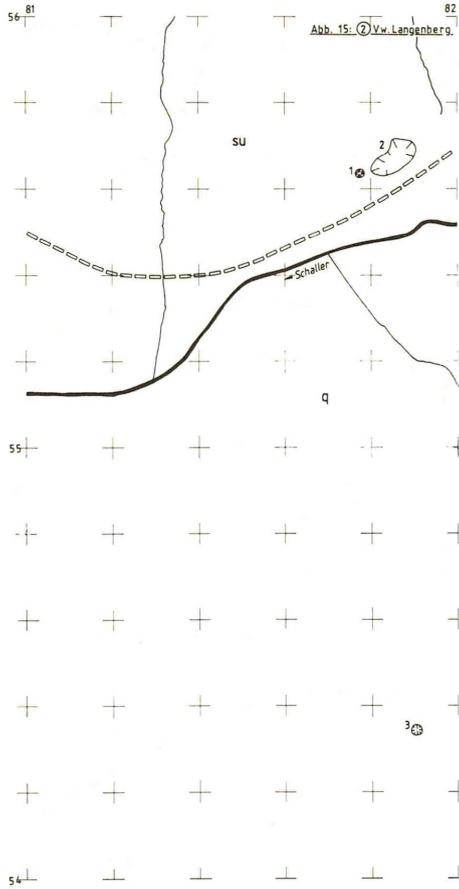
57 | 82

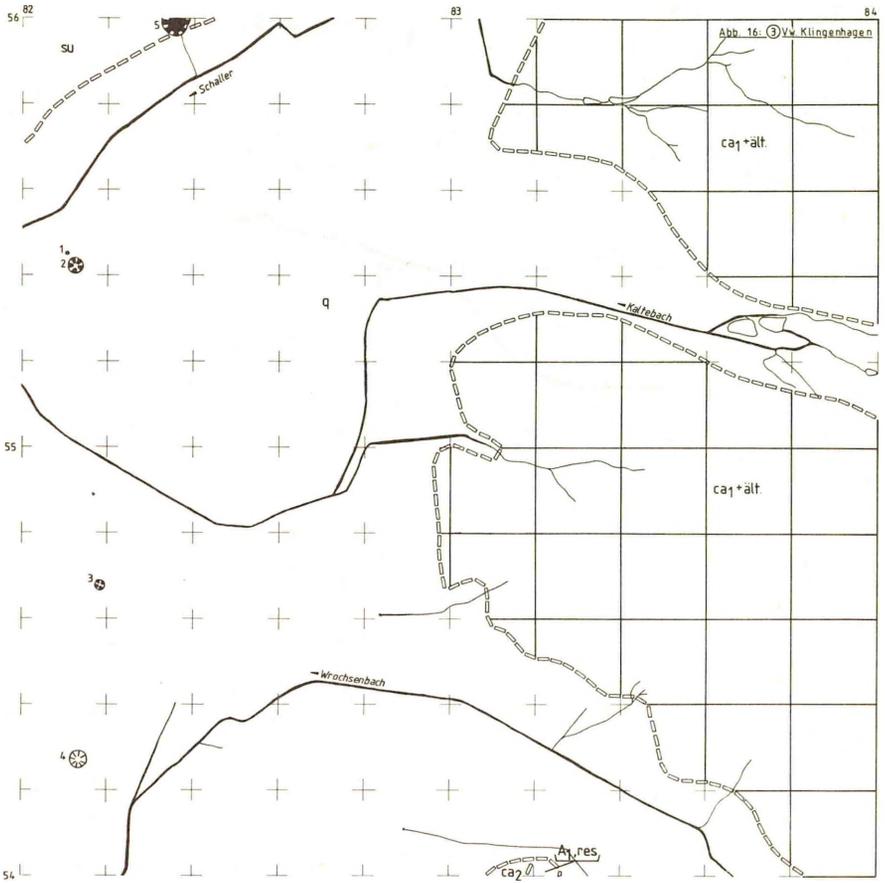
83

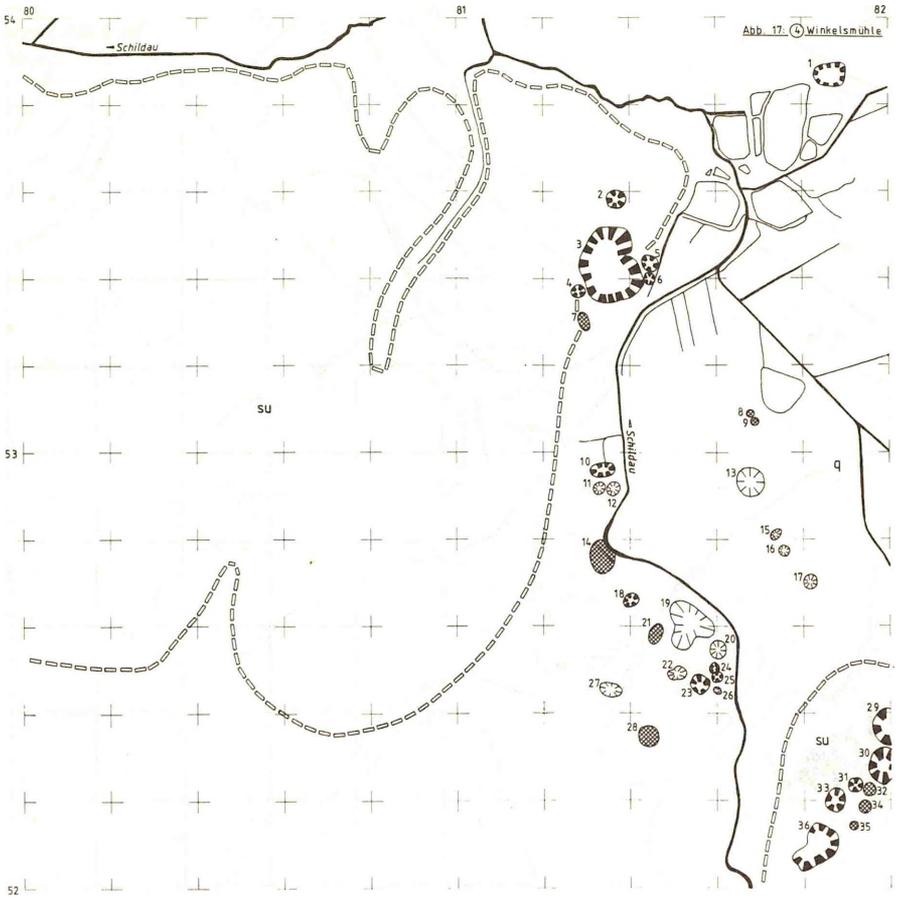
84

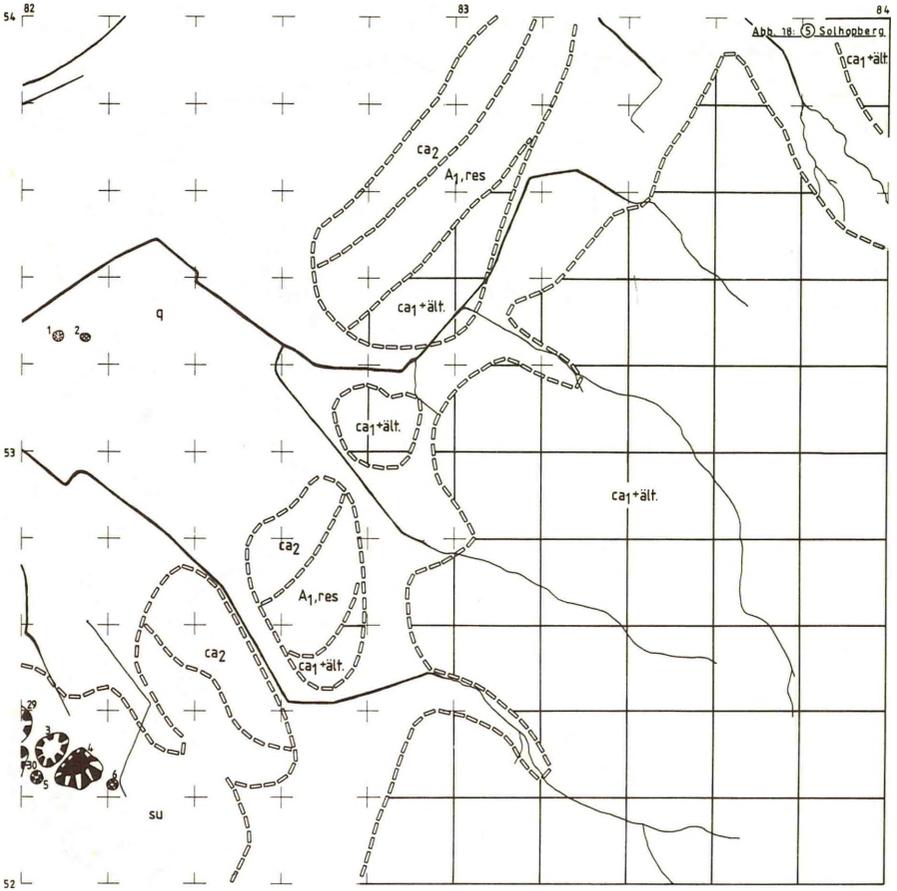
Abb. 14. ① Mahausen-Süd

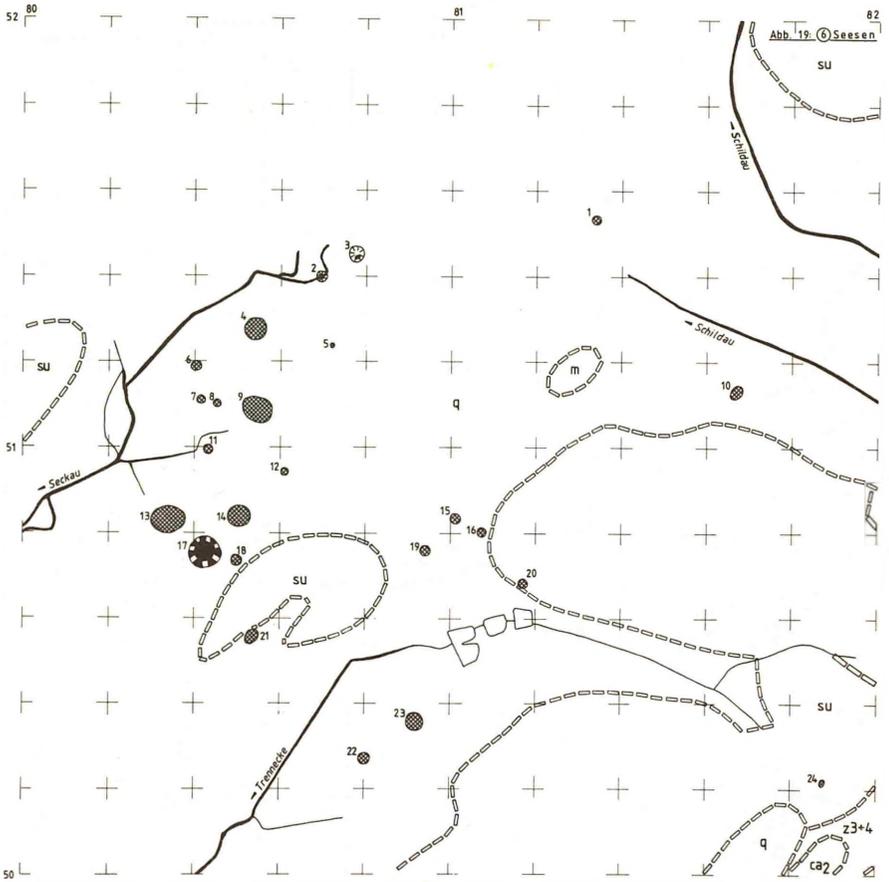


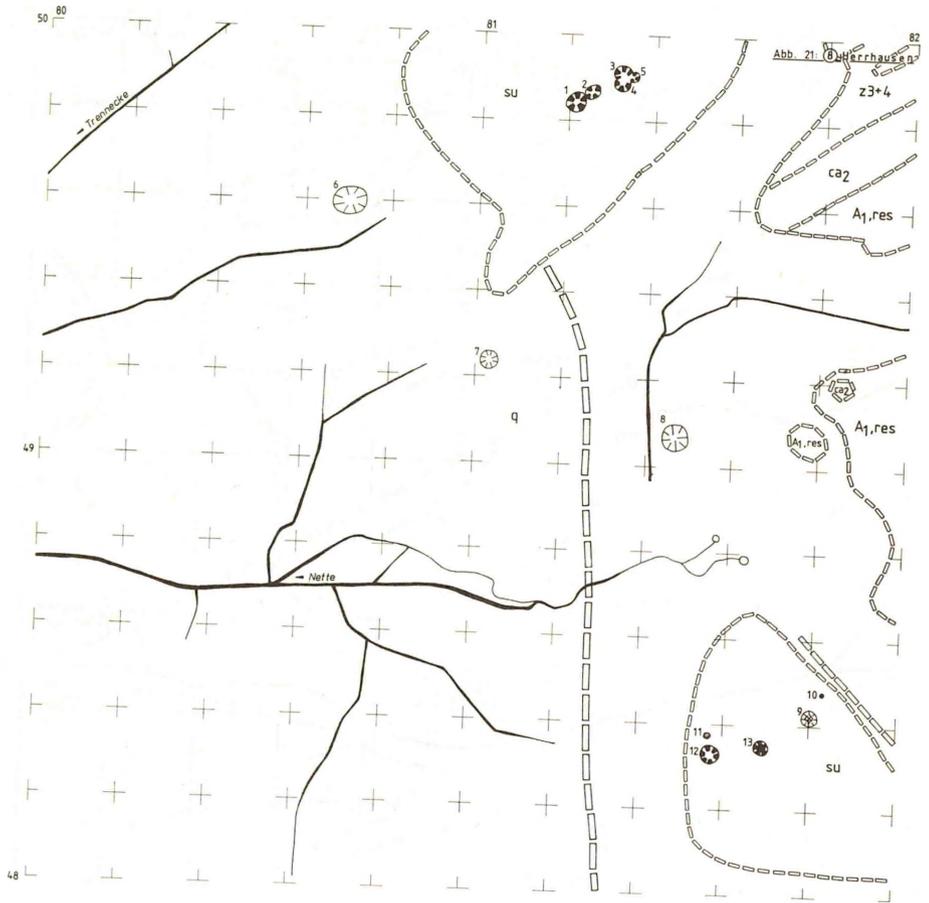


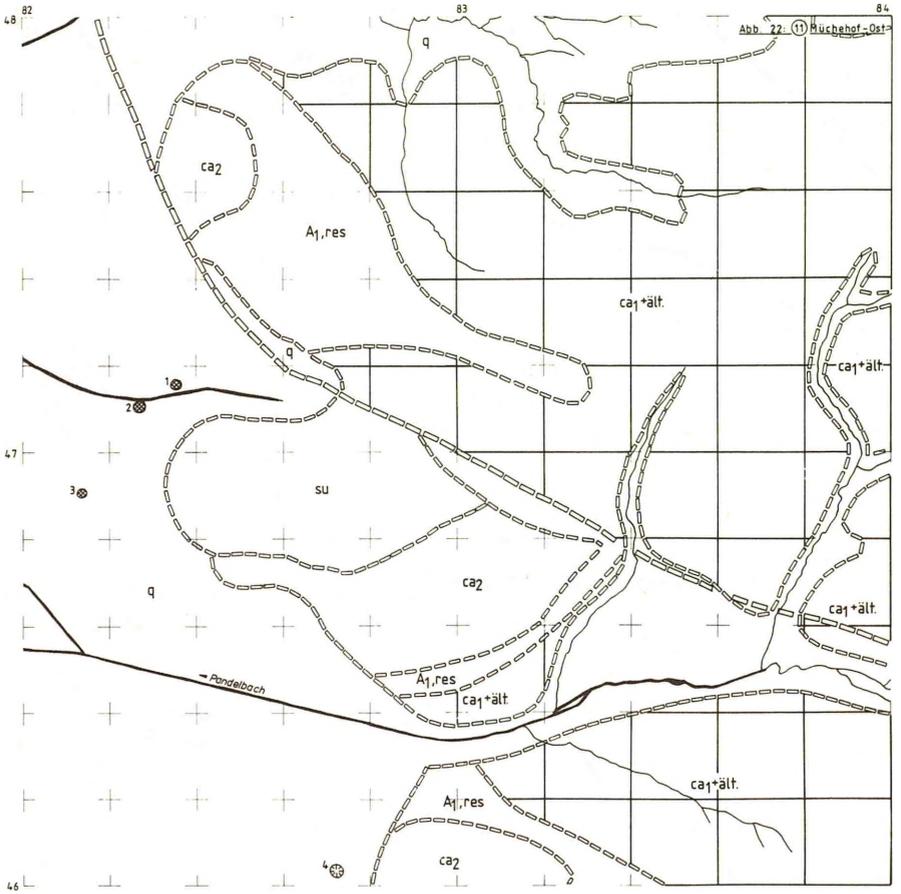


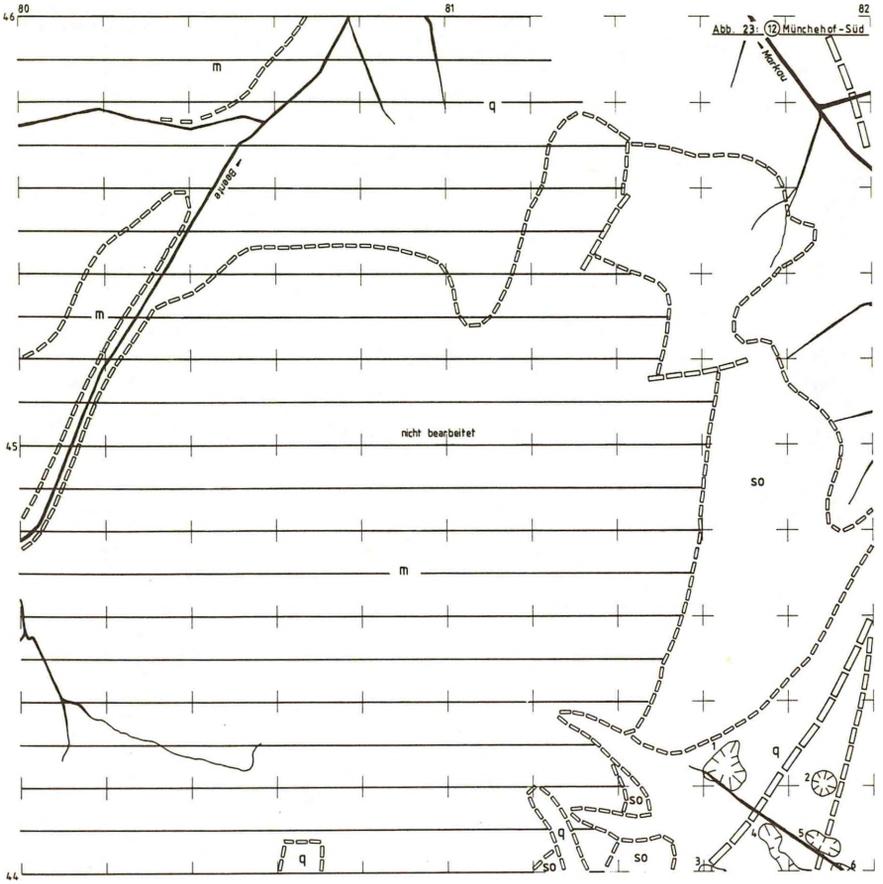


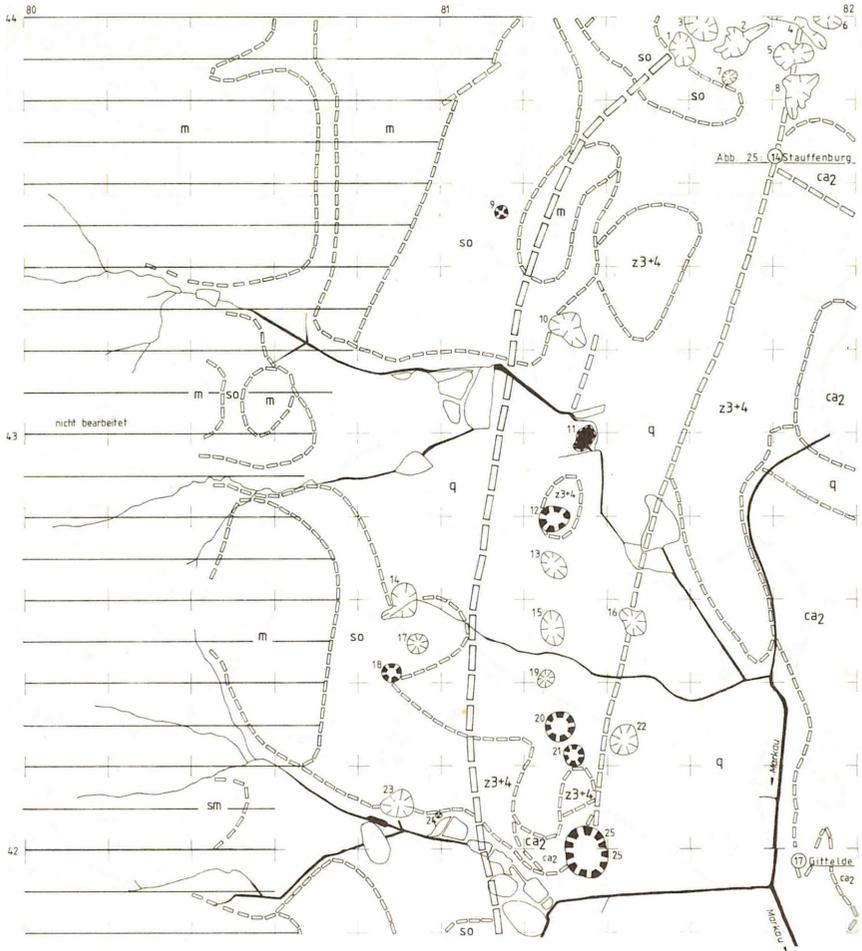


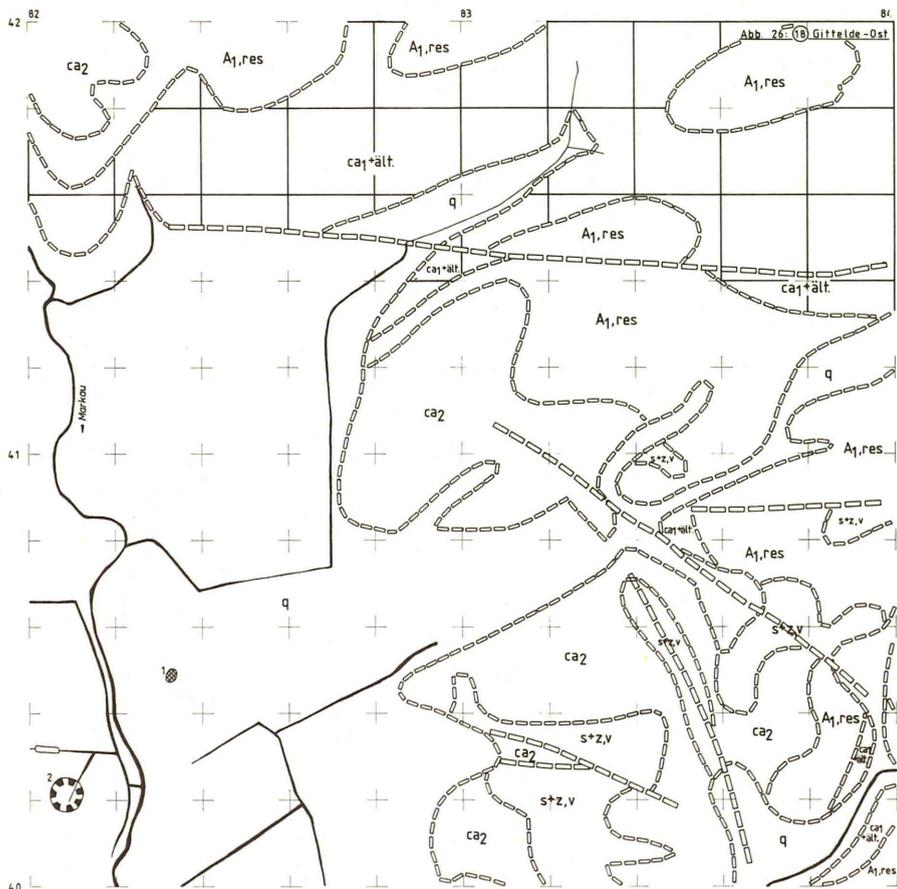


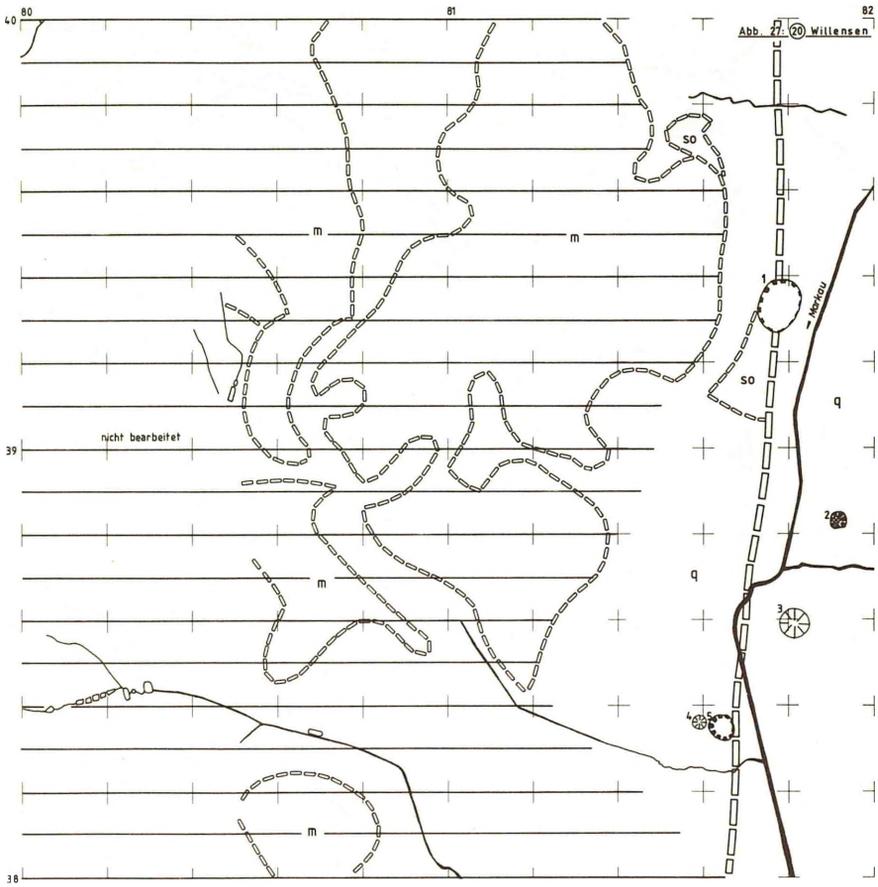




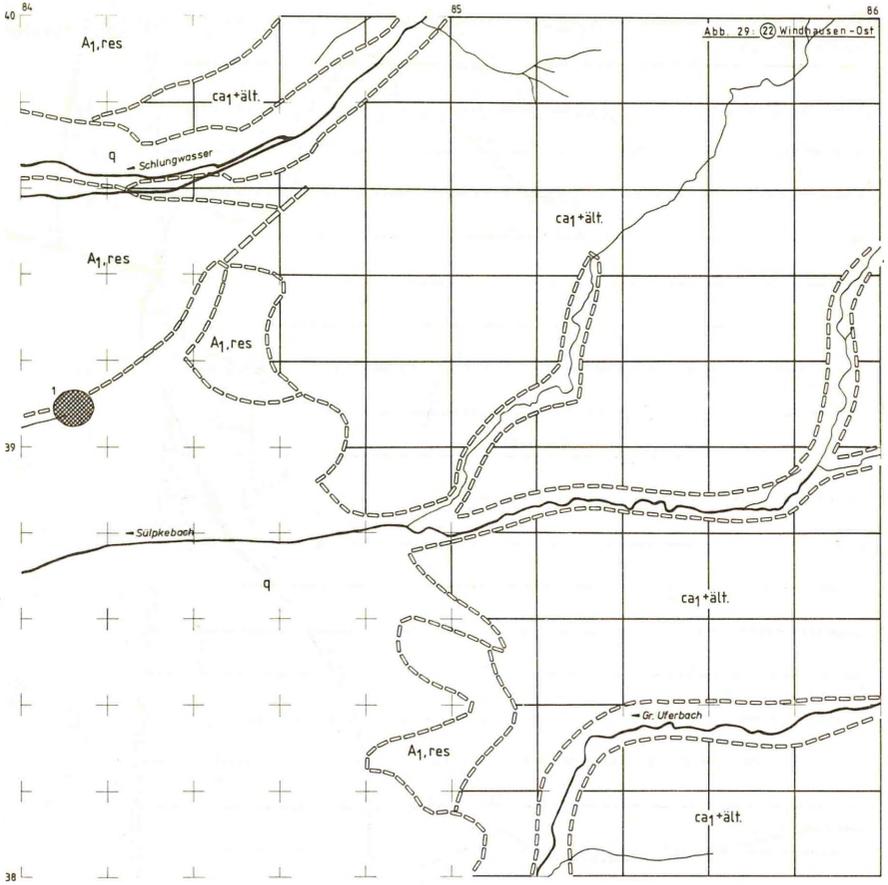


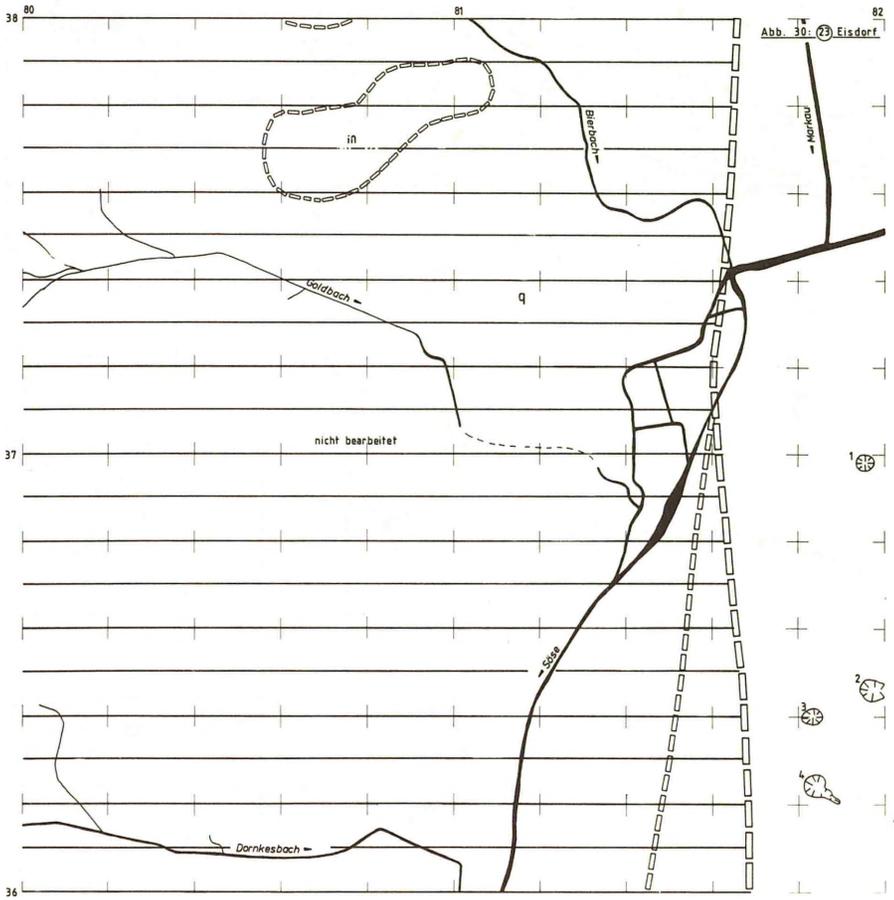


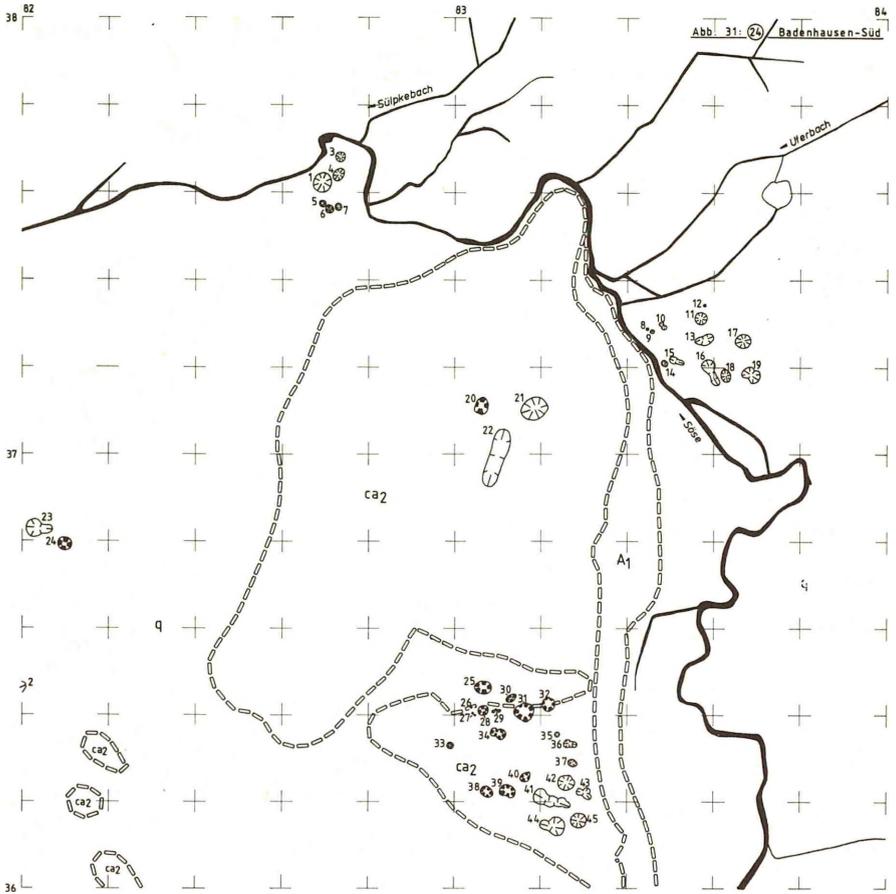


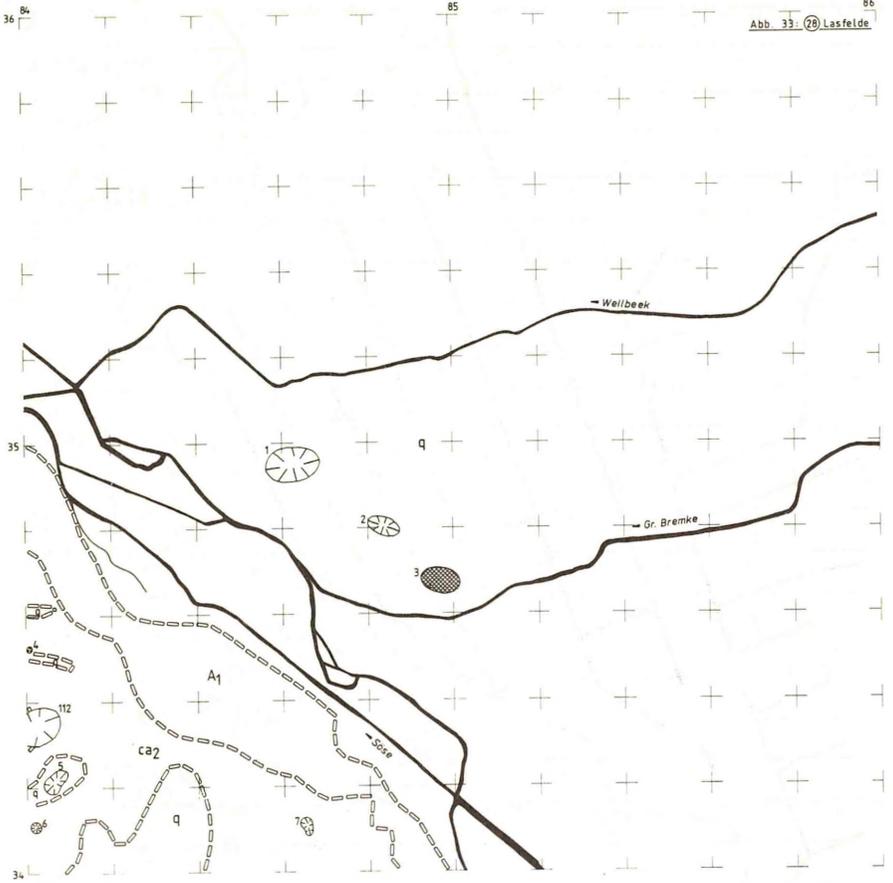












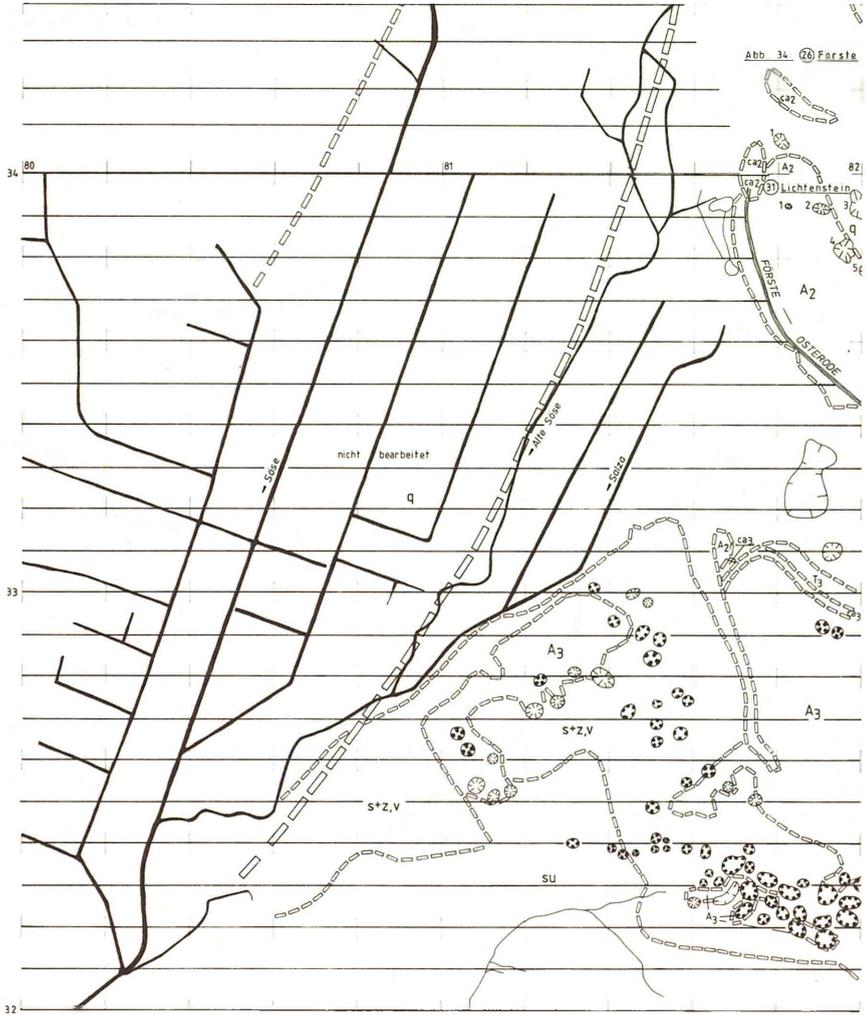
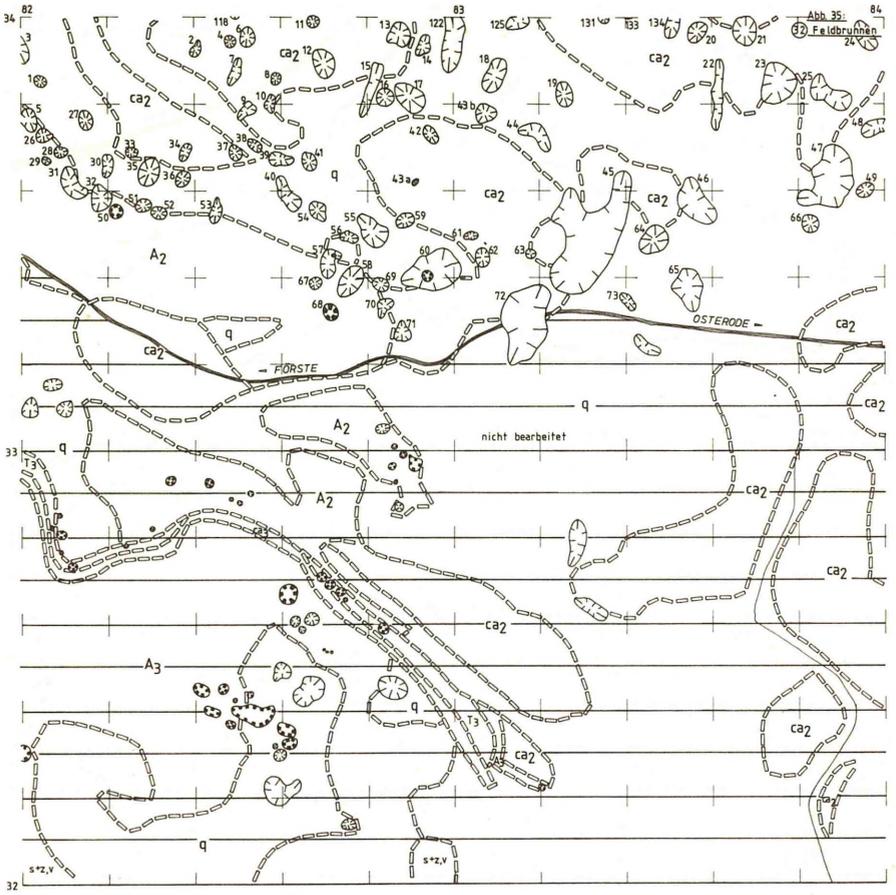


Abb. 34. ②② Forste



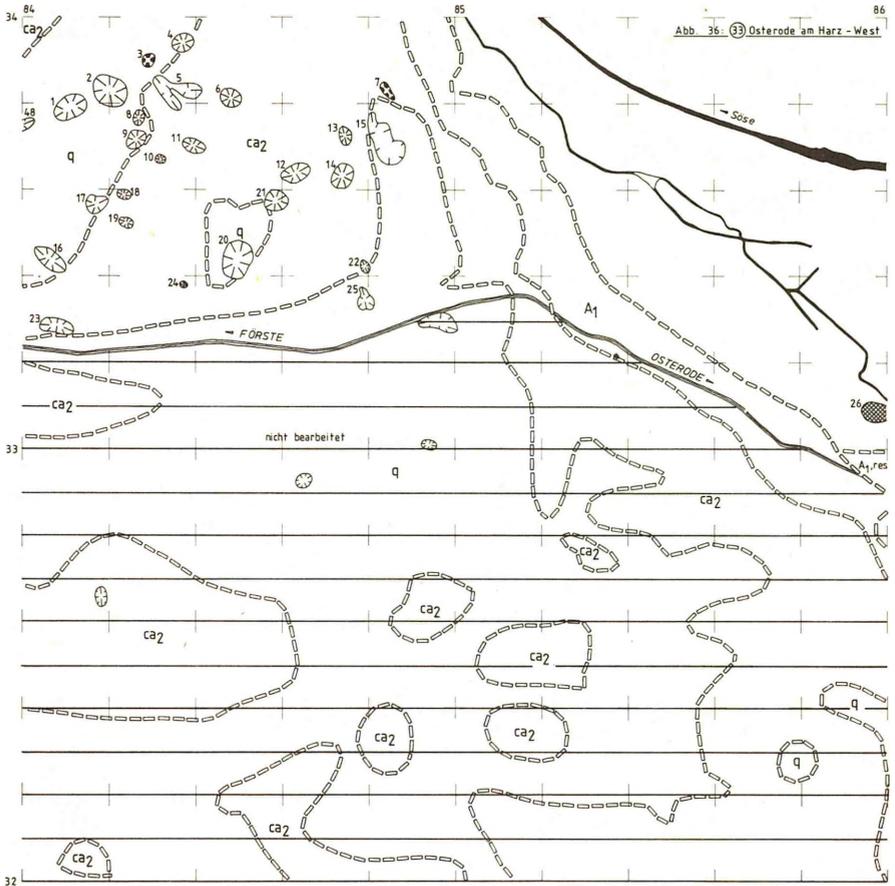


Abb. 36: ③ Osterode am Harz - West

34 86

87

88

Abb. 37. Osterode am Harz

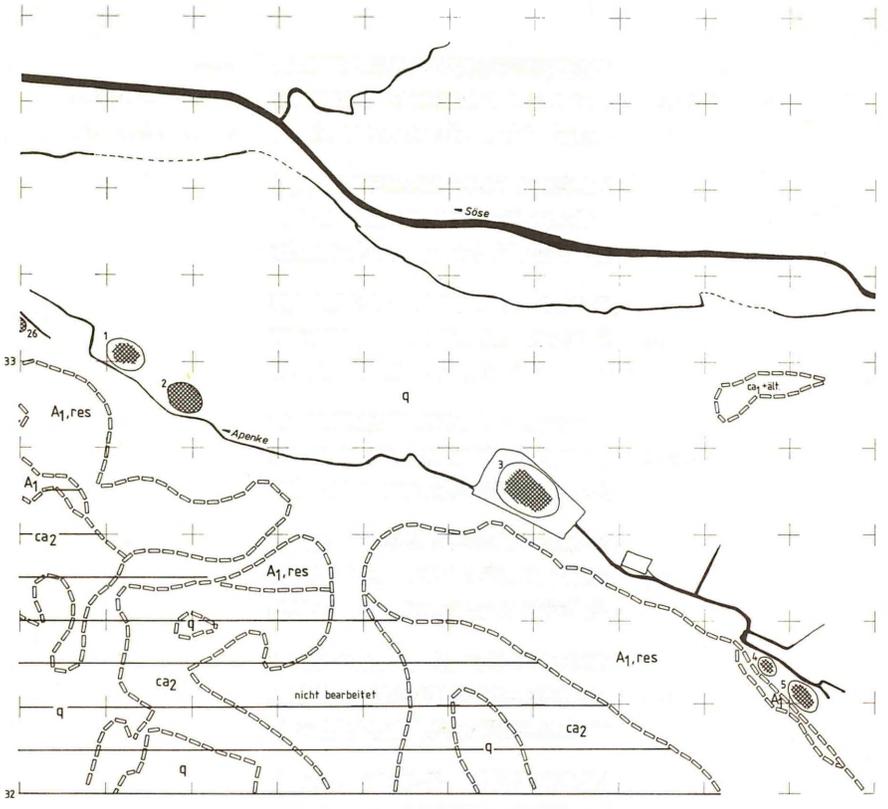


Abb. 38: Prozentuale Verteilung der Erdfallformen

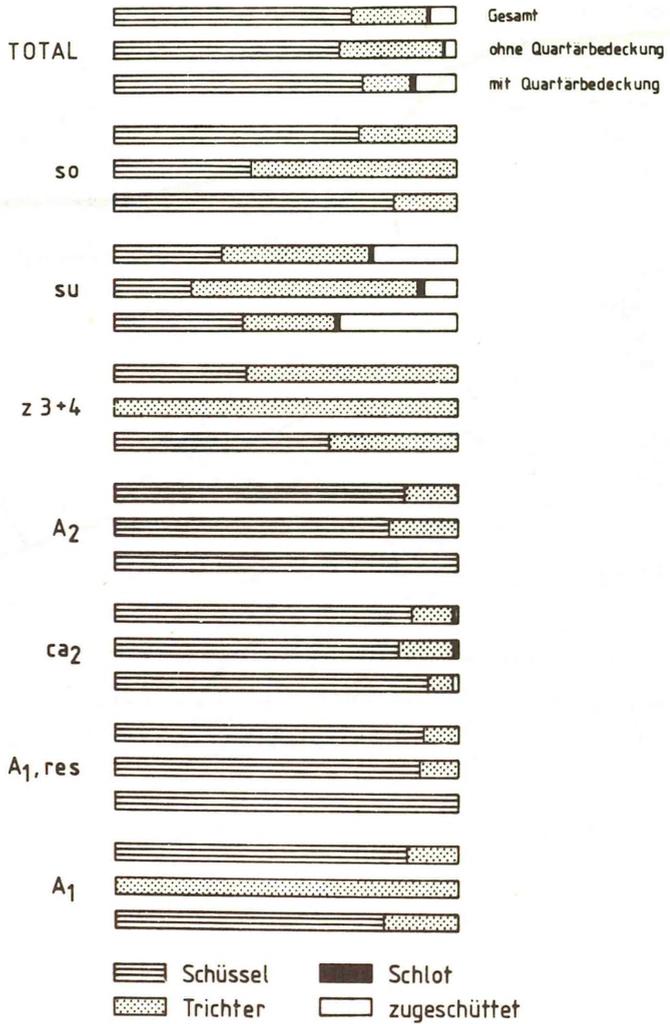
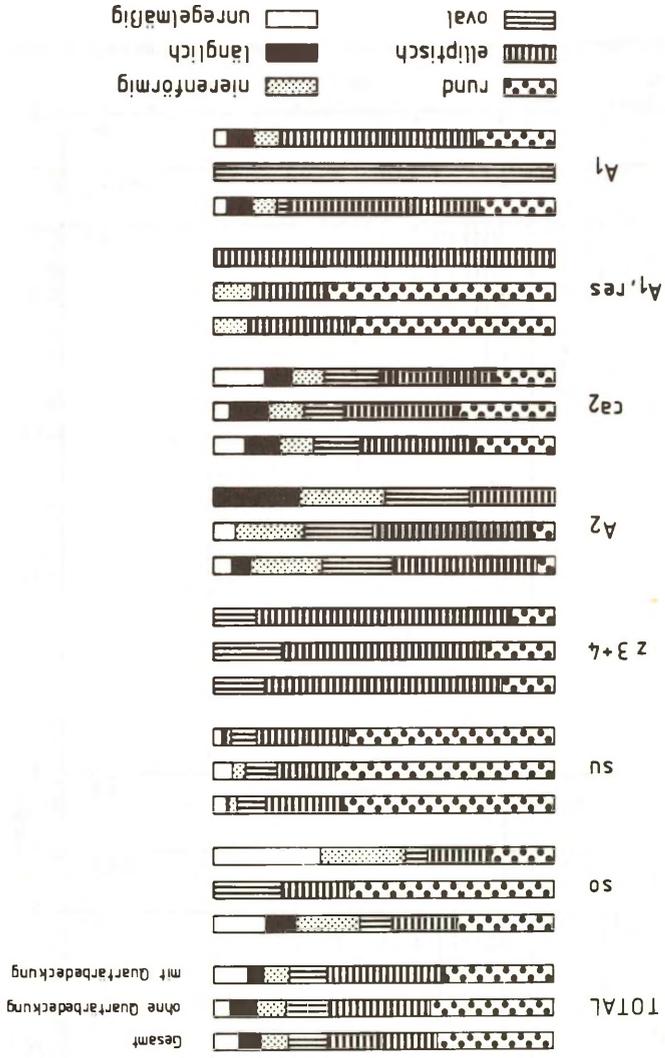


Abb. 39: Prozentuale Verteilung der
Erdfällumrisse



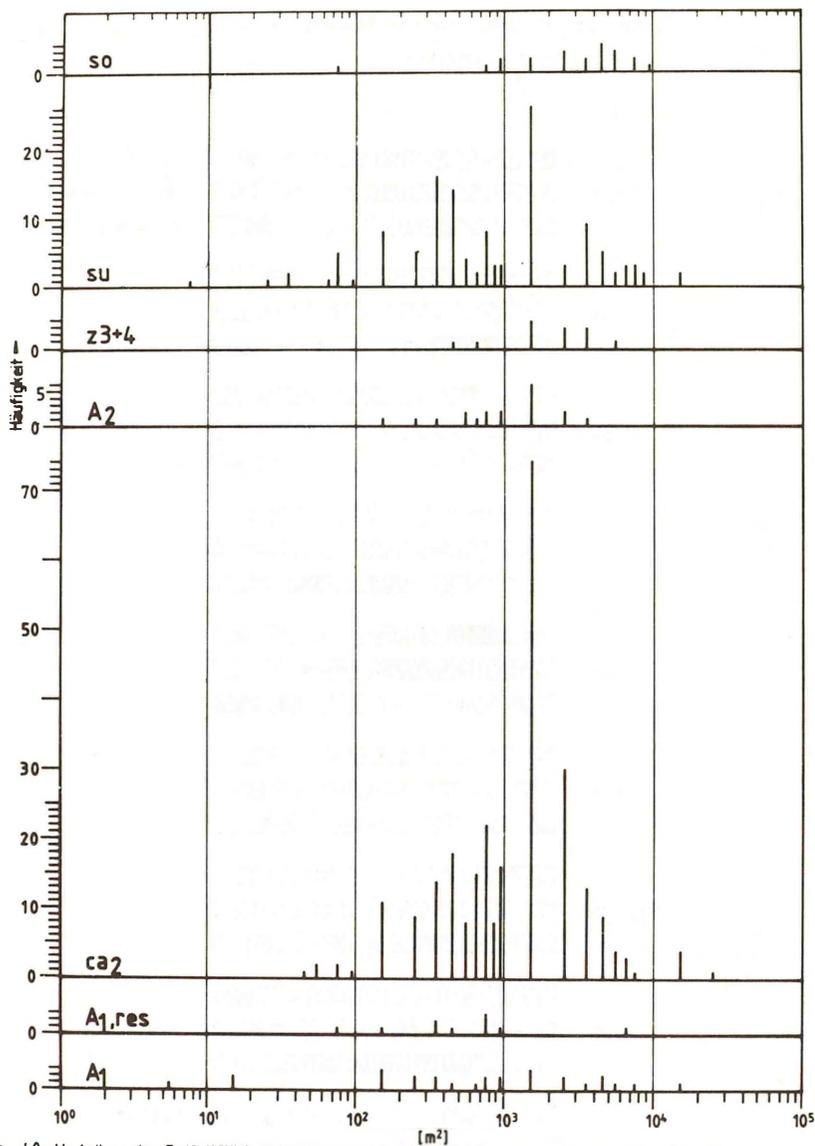


Abb. 40: Verteilung der Erdfallflächen im Ausstrich der verschiedenen stratigraphischen Einheiten

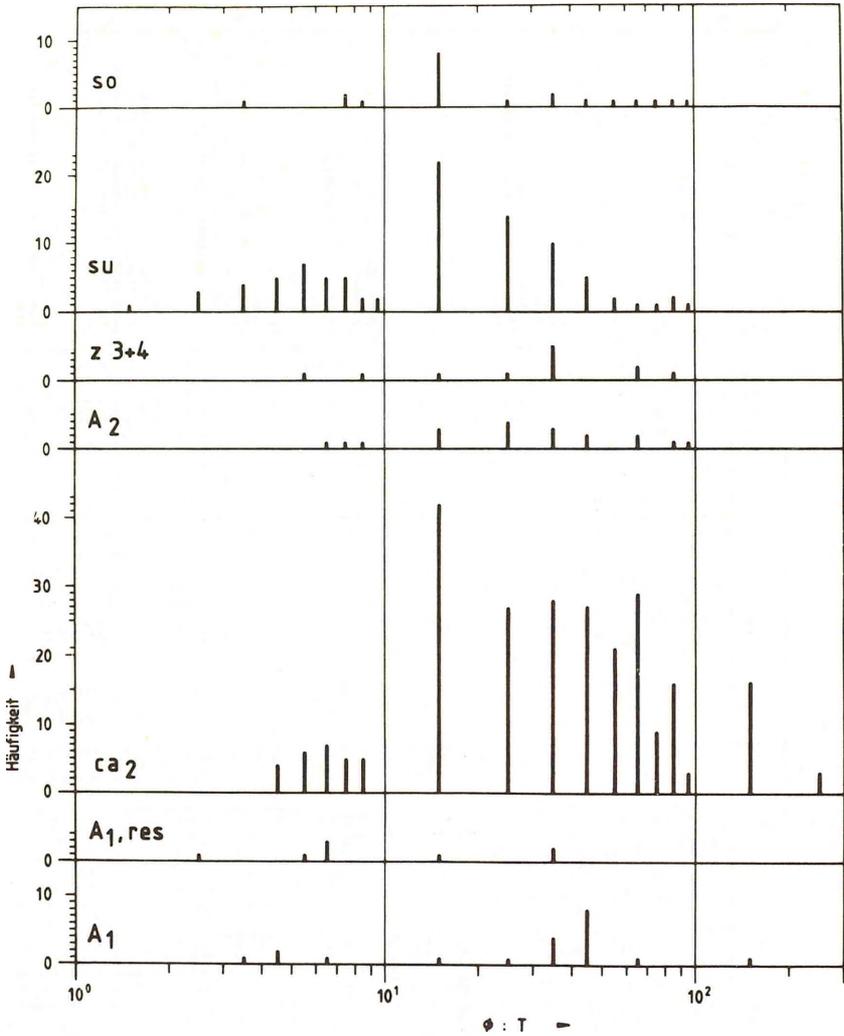


Abb. 41 : Verteilung des Quotienten $\phi : T$ für die Erdfälle im Ausstrich der verschiedenen stratigraphischen Einheiten

Tab. 22

Erfaßte Erdfälle und erhobene Parameter.

Nummer	Typ		Umfeld				Maße			Quartier	Anstehendes										verkerst Horizont	Bemerkungen					
	Stilkenn-	Schild	Grund	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld		Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld			Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld	Umfeld
4/15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4/16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4/17	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	erosiv?	
4/18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Mehrfacherfall	
4/19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4/20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4/21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4/22	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(18. Jh.)	
4/23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4/24	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4/25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4/26	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(1913)	
4-5/29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(18. Jh.)	
4-5/30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet-(18. Jh.)	
4-5/31	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet-(1908)	
4/32	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet-(1908)	
4/33	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet-(1908)	
4/34	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet-(1908)	
4/35	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet-(1908)	
4/36	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet-(1908)	
DOK 5 Sallhöbere 5																											
5/1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	unsicher	
5/2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet	
4-5/29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	siehe Dok 5 Wasserlinie (4)	
4-5/3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Tiefe bis Wasserspiegel (4)	
5/4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Tiefe bis Wasserspiegel	
5/5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	zugeschüttet-(1908)	
5/6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Erdfall-(1908)	
DOK 5 Sieszen 6																											
6/1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Überbaut-(OPPERMANN, unveröff.)	
6/2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Gelände Volksschule 1, Jahnstr.	
6/3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	120 W Amtsgericht-60 er Jahre	
6/4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	110 N Amtsgericht	
																											zugeschüttet-Ecke Bornhäuser Str.-
																											zugeschüttet-(1908)
																											Lange Str.-Stadtbaust. Steen

Tab. 24

Erfolgreiche Erdbeben- und erdbeben-Parameter

Nummer	Typ				Maße			Fläche	Quartier	Anstehendes										Verkaufsthorizont			Bemerkungen						
	Zehnerstel	Triebhöhe	Triebtiefe	Triebbreite	max. s	min. s	Tiefe			Rosch-Winkel	s : tiefe	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11		A12	A13	A14	A15	A16	A17
DGK 5 Herrhausen (8)																													
8/1	X	X	X	X	50	30	4,3	20	9	1180																			1007 (1908)
8/2	X	X	X	X	40	30	5,6	23	6	982																			1007 (1908)
8/3	X	X	X	X	40	30	5,8	23	7	982																			1007 (1908)
8/4	X	X	X	X	40	30	5,0	23	8	8700																			1007 (1908)
8/5	X	X	X	X	20	60	5,1	23	4	3768																			1007 (1908)
8/6	X	X	X	X	80	60	1,5	23	23	3768																			1007 (1908)
8/7	X	X	X	X	40	40	1,0	40	40	1250	qw=Lo1																		1007 (1908)
8/8	X	X	X	X	60	20	2,5	57	57	1250	qw=Lo1																		1007 (1908)
8/9	X	X	X	X	60	20	2,5	57	57	1250	qw=Lo1																		1007 (1908)
8/10	X	X	X	X	10	20	2,0	5	5	177																			1007 (1908)
8/11	X	X	X	X	15	15	0,5	30	177	177																			1007 (1908)
8/12	X	X	X	X	45	15	3,5	13	1590	1590																			1007 (1908)
8/13	X	X	X	X	35	35	3,0	12	962	962																			1007 (1908)
DGK 5 Münchehof-Ost (11)																													
11/1	X	X	X	X	30	30	1,0	30	30	710	qb=f																		807 zugeschüttet-GK 25, 1976 (?)
11/2	X	X	X	X	20	20	1,0	30	30	710	qb=f																		807 zugeschüttet-GK 25, 1976 (?)
11/3	X	X	X	X	20	20	1,0	30	30	710	qw=Lo1																		807 zugeschüttet-GK 25, 1976 (?)
11/4	X	X	X	X	30	30	1,0	30	30	710	qw=Lo1																		807 zugeschüttet-GK 25, 1976 (?)
DGK 5 Münchehof-Süd (12)																													
12/1	X	X	X	X	110	90	5,0	19	19	7875	qw=Lo1																		Luftbild
12/2	X	X	X	X	95	65	2,1	6	6	4780	qw=Lo1																		Luftbild
12/3	X	X	X	X	265	20	1,0	59	7075	7075	qw=Lo1																		Luftbild
12/4	X	X	X	X	90	35	1,0	68	3000	3000	qw=Lo1																		Luftbild
12/5	X	X	X	X	70	35	1,0	32	2185	2185	qw=Lo1																		Luftbild
DGK 5 Ziegenberg (13)																													
13/1	X	X	X	X	25	25	1,0	10	10	491	qw=Lo1																		Luftbild
13/2	X	X	X	X	10	9	0,5	30	64	79																			Luftbild
13/3	X	X	X	X	12	12	0,5	113	84	113																			Luftbild
13/4	X	X	X	X	16	16	0,5	32	801	801																			Luftbild
13/5	X	X	X	X	18	15	0,5	35	20	218																			Luftbild
13/6	X	X	X	X	10	2,0	0,5	79	79	79																			Luftbild
13/7	X	X	X	X	11	0,5	0,5	92	92	92																			Luftbild
13/8	X	X	X	X	11	0,5	0,5	32	32	32																			Luftbild
13/9	X	X	X	X	11	0,5	0,5	81	81	81																			Luftbild
13/10	X	X	X	X	13	13	0,4	81	81	81																			Luftbild

Polleanalytisch datiert (SCINEE-MLOTH, 1962): ± 2500 Jahre

erosiv?

Tab. 34

Erfafte Erdfälle und erdhohe Parameter.

Nummer	Tsp	Umfeld				Maße			Anstrebendes										Anstrebendes Horizont	Bemerkungen									
		Schicht	Fließschicht	Untergrund	Fließschicht	Tiefe	Hoch- Winkel	Fichte	Quertief	NO	SW	N+V	Z+V	A3	Fl	A2+A3	A2	Fl			A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
DGK 5 Osterode am Harz, West (33)																													
33/1	x	x	x	x	80	50	0.8	3235	qw_Lol																			Luftbild-(1908)	
33/2	x	x	x	x	84	4312	0.9	4312	qw_Lol																			Luftbild-(1908)	
33/3	x	x	x	x	5	667	6.0	667	qw_Lol																			Luftbild-wird zugeschnitten	
33/4	x	x	x	x	60	40	0.8	1571	qw_Lol																			Luftbild-(1908)-Mehrfacherfall	
33/5	x	x	x	x	47	1271	2.7	1271	qw_Lol																			Luftbild	
33/6	x	x	x	x	50	40	2.7	1271	qw_Lol																			Luftbild	
33/7	x	x	x	x	50	20	5.0	6	1713																			DGK 5, 1909	
33/8	x	x	x	x	55	25	0.8	40	667	qw_Lol																		Luftbild	
33/9	x	x	x	x	50	40	0.8	60	1571	qw_Lol																		Luftbild	
33/10	x	x	x	x	30	393	26	0.8	30	1571																		Luftbild	
33/11	x	x	x	x	55	30	0.5	150	1500																			Luftbild	
33/12	x	x	x	x	45	200	0.8	150	1660																			Luftbild	
33/13	x	x	x	x	45	30	0.8	150	1660																			Luftbild	
33/14	x	x	x	x	60	45	2.5	21	2121																			Luftbild	
33/15	x	x	x	x	130	50	1.5	64	5425	qw_Lol																		Luftbild-(1908)-Mehrfacherfall	
33/16	x	x	x	x	90	40	0.5	217	2927	qw_Lol																		Luftbild	
33/17	x	x	x	x	50	40	1.9	24	1650	qw_Lol																		Luftbild	
33/18	x	x	x	x	82	471		82	471	qw_Lol																			Luftbild
33/19	x	x	x	x	30	20	0.5	132	1225	qw_Lol																			Luftbild
33/20	x	x	x	x	50	60	0.5	132	1225	qw_Lol																			Luftbild
33/21	x	x	x	x	50	60	0.5	132	1225	qw_Lol																			Luftbild
33/22	x	x	x	x	30	20	0.8	135	417	qw_Lol																			Luftbild
33/23	x	x	x	x	80	30	0.5	185	2425	qw_Lol																			Luftbild
33/24	x	x	x	x	15	177		177	177	qb,F																			Luftbild-Tiefe nicht bestimmbar (?)
33/25	x	x	x	x	50	40	3.0	14	1475	qb,F																			Luftbild-Tiefe nicht bestimmbar (?)
33-34/26	x	x	x	x	70	50			2750	qb,F																			DRESCHER e JORDAN, 1973-zugeschnitten-(18. Jh.) siehe DGK 5 Feldbrunnen (32)
DGK 5 Osterode am Harz (34)																													
34/1	x	x	x	x	100	70			5498	qb,F																			DRESCHER e JORDAN, 1973-verfüllt (18. Jh.)-Pferdeteich
34/2	x	x	x	x	90	65			4595	qb,F																			DRESCHER e JORDAN, 1973-verfüllt (18. Jh.)-Schwimmbad
34/3	x	x	x	x	155	110			13390	qb,F																			DRESCHER e JORDAN, 1973-verfüllt (18. Jh.)-Pferdeteich
34/4	x	x	x	x	50	35			1375	qb,F																			DRESCHER e JORDAN, 1973-verfüllt (18. Jh.)
34/5	x	x	x	x	90	50			3555	qb,F																			DRESCHER e JORDAN, 1973-verfüllt (18. Jh.)
33-34/26	x	x	x	x																									siehe DGK 5 Osterode n. H.-West(33)