

Zusammenfassung

Die Bedeutung subrosionsbedingter Formänderungen der Geländeoberfläche für die Bausubstanz, Landeskultur und Territorialplanung in der Mansfelder Mulde

Die Subrosionsprozesse im Zechsteinsalinar der Mansfelder Mulde führen an der Oberfläche zu Formveränderungen nehmen als randliche Ausweitungsformen eine bildungen und Erdfällen. Die Bereiche bruchloser Senkungen werden in Senkungsbecken, -wannen und -kessel gegliedert. Sie zeigen vom Rand zum Zentrum eine zonare Abfolge mit spezifischer Dynamik. Ihnen werden Erdfälle als Bruchformen gegenübergestellt. Spaltenbildungen nehmen als randliche Ausweitungsformen eine intermediäre Stellung ein. Die subrosionsbedingten Formänderungen übertragen sich auf die Bausubstanz und rufen typische Schadwirkungen hervor. Da die Gefährungsgebiete einer intensiven Flächennutzung unterliegen, muß sowohl für den Baubestand als auch für die territoriale Planung den Schadwirkungen durch geeignete Maßnahmen begegnet werden.

Summary

The significance of terrain surface alterations due to subrosive processes for building preservation, environment control policy, and territorial planning in the Mansfeld trough

Subrosive processes in the Zechstein salinar of the Mansfeld trough lead to terrain surface alterations in the way of non-fracture depressions, cleft formation, and landfalls. The non-fracture depression areas are divided into subsidence basins, troughs, and cauldrons. From the edge to the centre they show a zonary succession with specific dynamics. They are contrasted with landfalls as fault types. Cleft formations, as edge-located consequent faults, have an intermediate status. — Terrain surface alterations that are due to subrosive processes affect buildings and lead to typical damages. — Since the areas involved are subject to intensive utilization, suitable steps will have to be taken to protect buildings and improve territorial planning efficiency.

Die Bedeutung subrosionsbedingter Formänderungen der Geländeoberfläche für die Bausubstanz, Landeskultur und Territorialplanung in der Mansfelder Mulde

*Mit 2 Abbildungen, 6 Photos
und 2 Tabellen im Text*

Autor:

Dr. KURT BRENDDEL
Rat des Bezirkes Halle (Saale),
Abteilung Geologie
402 Halle (Saale)
Richard-Wagner-Straße 56

Hall. Jb. f. Geowiss. Bd 1
Seite 51...68
VEB H. Haack Gotha/Leipzig 1977

Резюме:

*Значение изменений
форм поверхности местности,
обусловленных суброзией
для застроенных территорий,
охраны ландшафта и территориального
планирования в Мансфельдской мульде*

Процессы суброзии с соленосном цехштейне Мансфельдской мульды вызывают на поверхности изменения форм в виде безразломных котловин, образования трещин и воронок. Районы безразломных котловин подразделяются на бассейны, впадины и мульды опускания. От края к центру они показывают зональную последовательность со специфической динамикой. Воронки противопоставлены им в качестве форм разломов. Образование трещин как формы краевого воздействия занимают промежуточное положение. Изменения форм, обусловленные суброзией, переносятся на здания и вызывают типичные повреждения. Так как районы, подверженные опасности, подлежат интенсивному землепользованию, требуются соответствующие мероприятия, противодействующие повреждениям зданий и способствующие надёжному территориальному планированию.

1. Einleitung

Die Subrosionsprozesse im Zechsteinsalinar der Mansfelder Mulde haben seit Ende des 19. Jahrhunderts auf Grund ihrer nachteiligen Folgen sowohl für den Kupferschieferbergbau als auch für die Nutzung der Oberfläche wiederholt im Mittelpunkt des Interesses von Bergleuten, Geologen und Baufachleuten gestanden. Untertage ereigneten sich beim Unterteufen der Salzverbreitungsgrenzen zahlreiche Wassereinbrüche aus dem verkarsteten Hangenden und brachten den Bergbau mehrfach in Gefahr.

Übertage führten im Gefolge der Subrosion Formänderungen des Geländes zu Schäden an Bauwerken, Verkehrswegen, Versorgungsleitungen, Vorflutern und zur Beeinträchtigung der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen.

Bis in die sechziger Jahre hinein beschränkte sich die Tätigkeit der Geologen und Baufachleute vorwiegend auf die Registrierung und Untersuchung entstandener Schäden. Dabei konnten wertvolle Erfahrungen und Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Arten von Formänderungen und ihrer spezifischen Wirkung auf Bauwerke bestimmter Konstruktion gewonnen werden.

Aber diese, den Formänderungen sozusagen „nachtrabende“ Arbeitsweise, bei der mit wechselndem Erfolg um den Bestand einzelner Bauwerke gerungen wurde, brachte immer wieder außerplanmäßige Maßnahmen für Reparaturen, Abrisse und Ersatzbauten mit sich.

Für eine effektive Standortverteilung der Produktivkräfte und optimale Flächennutzung ist jedoch eine regional umfassende und mindestens für den Zeitraum des jeweils nächsten Fünfjahrplanes vorausschauende Kenntnis der Entwicklung der Formänderungen erforderlich, um standortgebundene Investitionen, Reparaturen, Ersatzbauten und die Flächennutzung rechtzeitig planen zu können.

Aus diesem Grunde wurde ab 1964 das Netz der Feinnivellements allein in der Mansfelder Mulde auf eine Fläche von rd. 170 km² mit rd. 2200 Höhenfestpunkten erweitert, die systematische, visuelle und fotogrammetrische Bauwerks- und Erdfallkontrolle und die Auswertung von Luftbildaufnahmen eingeführt.

Nunmehr hat die zusammenfassende Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeitsweise einen Stand erreicht, der einen umfassenden Überblick über die räumliche und zeitliche Verbreitung sowohl aller subrosionsbedingten Formänderungen als auch der dadurch bedingten Bauschäden und Nutzungseinschränkungen erreicht.

Über die Ursachen, die übertägigen Erscheinungsformen der Subrosion und ihre regionale Verbreitung in der Mansfelder Mulde berichteten zusammenfassend BRENDEL, FANTASNY; SUDERLAU (1970), SUDERLAU (1972), FANTASNY; BRENDEL (1972) und zuletzt BRENDEL (1976).

Nachfolgend soll lediglich auf die Art und Verbreitung der subrosionsbedingten Formänderungen und Bauschäden eingegangen werden, wobei auch auf Subrosionsprozesse außerhalb der Mansfelder Mulde zurückgegriffen wird.

2.

Subrosionsbedingte Formänderungen der Erdoberfläche

Die Hauptarten der Formänderungen sind bruchlose Senkungen, Erdfälle und Spaltenbildungen.

Ihre Beziehungen zur Subrosionsart haben BRENDEL u. a. (1970) in einem Klassifikationsversuch dargelegt. Die Intensität, Größe und Dynamik der Formänderungen hängen außer von den vier Hauptvoraussetzungen der Subrosion (BRENDDEL u. a. 1970) von einer größeren Zahl weiterer modifizierender Faktoren, wie der Teufenlage des Subrosionsherdes, dem geomechanischen Verhalten des lithologisch unterschiedlichen Deckgebirges, der Menge und Fließrichtung des lösenden Wassers und der Morphologie der betroffenen Geländestücke ab. Aus dem Zusammenwirken aller Faktoren ergibt sich ein komplexer Prozeß, der je nach den speziellen Bedingungen variiert. Deshalb stellen die nachfolgend beschriebenen Formänderungen Verallgemeinerungen dar, die zur Analysierung und Prognostizierung von Schadwirkungen von Fall zu Fall individuell untersucht werden müssen.

2.1.

Bruchlose Senkungen und ihre Formen

Bruchlose Senkungen ereignen sich vorwiegend im Gefolge flächenhafter Subrosion von Salzgesteinen. Dabei führt der Substanzverlust am Subrosionsherd nur zur Tendenz der Bildung sehr flacher, weitgespannter Hohlräume, kaum aber zur Hohlraumbildung selbst. Auf die Bildung von punktförmigen großen Subrosionshöhlräumen im Salz wird im Abschnitt 2.2. eingegangen. Neuere Erfahrungen beim Fluten auflässiger Kaligruben haben bestätigt, daß das mesozoische Deckgebirge auf flächenhaften Substanzschwund in rd. 400 m Teufe schon nach wenigen Tagen mit Senkungen zu reagieren beginnt und somit die in Bildung begriffenen Hohlräume permanent kompensiert.

Eine zweite Art bruchloser Senkungen findet in örtlich sehr begrenztem Umfang und geringer Intensität nach dem Prinzip der Raumnetzsubrosion (BRENDDEL 1972) über in Subrosion befindlichem Gips statt.

Während nach den Erkenntnissen der Bergschadenkunde aus der bekannten Form, Größe und Teufenlage der bergmännischen Hohlräume die dem Abbau nachfolgenden Bergsenkungen räumlich und zeitlich recht genau vorausberechnet werden können, kann im Fall der natürlichen Subrosion umgekehrt aus der Intensität und räumlichen Anordnung der Senkungen – den Auswirkungen – auf die Lage und Größenordnung des Substanzverlustes an dem dem Auge verborgenen Subrosionsherd – die Ursache – geschlossen werden.

Unter Berücksichtigung der Auflockerung des sich senkenden Deckgebirges und des Grenzwinkelbereiches kann man voraussetzen, daß die übertägigen Formänderungen zur Form und Größe des Subrosionsherdes und zur Intensität der Subrosion in direkter proportionaler Beziehung stehen.

Als Formen bruchloser Senkungen unterscheidet die TGL 168-1002 länglich gestreckte Senkungswannen (-mulden) und rundliche Senkungskessel.

Die Fülle der in den letzten Jahren in der Mansfelder Mulde beobachteten Senkungsformen er-

fordert eine Erweiterung auf folgende vier Formen bruchloser Senkungen (Abbildung 1):

1. Senkungsbecken
= bruchlose Senkungsform I. Ordnung
2. Senkungswannen
= bruchlose Senkungsform II. Ordnung
3. Senkungskessel
= bruchlose Senkungsform III. Ordnung
4. rasant absinkende Senkungskessel.

Senkungsbecken

sind sehr große, alt angelegte Senkungsformen mit gleichsinniger Morphologie und meist geringen bis sehr geringen Senkungsgeschwindigkeiten bis rd. 3 mm/a. Ein typisches Beispiel stellt die auch morphologisch deutlich herausmodellerte Eislebener Niederung über dem Salzspiegel des Na₂ dar.

Senkungswannen

sind deutlich langgestreckte, kleinere Formen bruchloser Senkungen meist innerhalb großer Senkungsbecken mit unterschiedlichen Senkungsgeschwindigkeiten und meist gleichsinniger, seltener gegensinniger Morphologie. Sie sind meist jünger als die Senkungsbecken. Die Längserstreckung schwankt zwischen wenigen hundert Meter bis etwa 1 km. Typische Beispiele sind die Hauptsenkungswanne Helfta und die Randsenken im ehemaligen Salzigen See.

Senkungskessel

sind entweder altangelegte oder auch junge Formen bruchloser Senkungen von rundlicher Form mit unterschiedlichen Senkungsgeschwindigkeiten. Die Durchmesser schwanken zwischen wenigen Zehnern von Metern über Gipsuntergrund bis zu mehreren hundert Meter über Salzuntergrund.

Typische Beispiele sind der „RTS-Kessel“ und der „Schulkessel“ in Erdeborn sowie der Kessel „Erna-Bad“ nördlich des Süßen Sees. Über Gipsuntergrund sind am Südharzrand zahlreiche Kessel zu verzeichnen.

Rasant absinkende Senkungskessel

sind Senkungskessel mit hohen, zuweilen bis über 1000 mm/a erreichenden Senkungsgeschwindigkeiten mit deutlichen Bruchstrukturen in Form von Spalten und Spaltenerdfällen in der randlichen Zerrungszone. Typische Bei-

spiele sind der „Friedhofskessel“ in Erdeborn, der Senkungskessel D, Volkstedt, genannt „Minna-Bad“, und der Senkungskessel unmittelbar am Otto-Brosowski-Schacht. Auf Grund der rundlichen Bruchstrukturen und hohen Senkungsgeschwindigkeiten stellen sie Übergangsformen zwischen bruchlosen Senkungsformen und Bruchformen dar.

Abbildung 1 zeigt die schematischen Oberflächen-schnitte dieser Formen, Kennzeichnendes Merkmal ist ihre zonare Gliederung. Im Idealfall sind vom Außenrand in Richtung des Zentrums folgende Zonen zu unterscheiden:

Zone 0 unbeeinflusste Zone

Zone 1 Zerrungszone

mit konvexer Krümmung, Ausweitungsformen (Randspalte) und dem größten Anteil der horizontalen Bewegungskomponente.

Zone 2 Senkungshang

mit entsprechender Neigungsdynamik und Hangschubanteilen bei gleichsinniger Morphologie. Vertikaler und horizontaler Anteil der Bewegungskomponente sind etwa gleich groß.

Zone 3 Pressungszone

mit konkaver Krümmung, Einengungsformen (Stauchungen) und überwiegender vertikaler Absenkung.

Zone 4 Senkungssohle

mit ausschließlich vertikaler Absenkung.

In der Natur sind die Formen und somit auch ihre zonare Gliederung reichhaltig modifiziert. Während, wie die Abbildung 1 deutlich erkennen läßt, die Zerrungs- und Pressungszone bei keiner Form fehlt, sind Senkungshang und Senkungssohle nur in Becken, großen Wannen und großen Kesseln ausgebildet. Außerdem wechseln Breite und Dynamik der Zonen auch in ein und derselben Senkungsform. Häufig ist eine Asymmetrie der Formen zu beobachten.

Die Senkungsdynamik ist nicht in jedem Fall an die Morphologie gebunden. Die Morphologie der Ränder der Destruktionsformen ist vielmehr ein Ergebnis der Senkungen. Das trifft besonders auf die historisch gebildeten Großformen, wie z. B. die Eislebener Niederung und den Rollsdorfer Kessel zu. Soweit die zonare Gliederung in Senkungs-

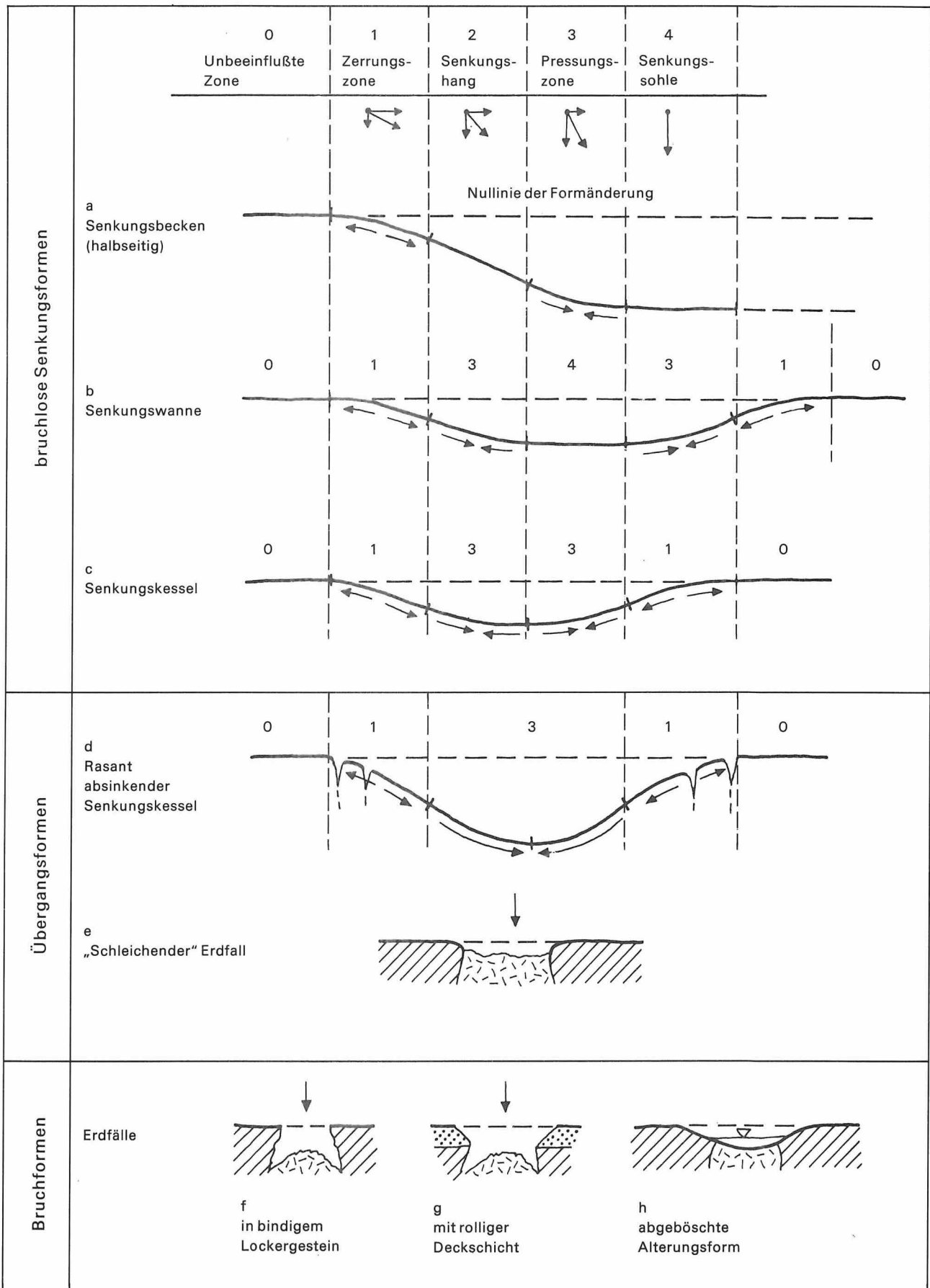


Abbildung 1
Schematische Schnitte typischer Formänderungen

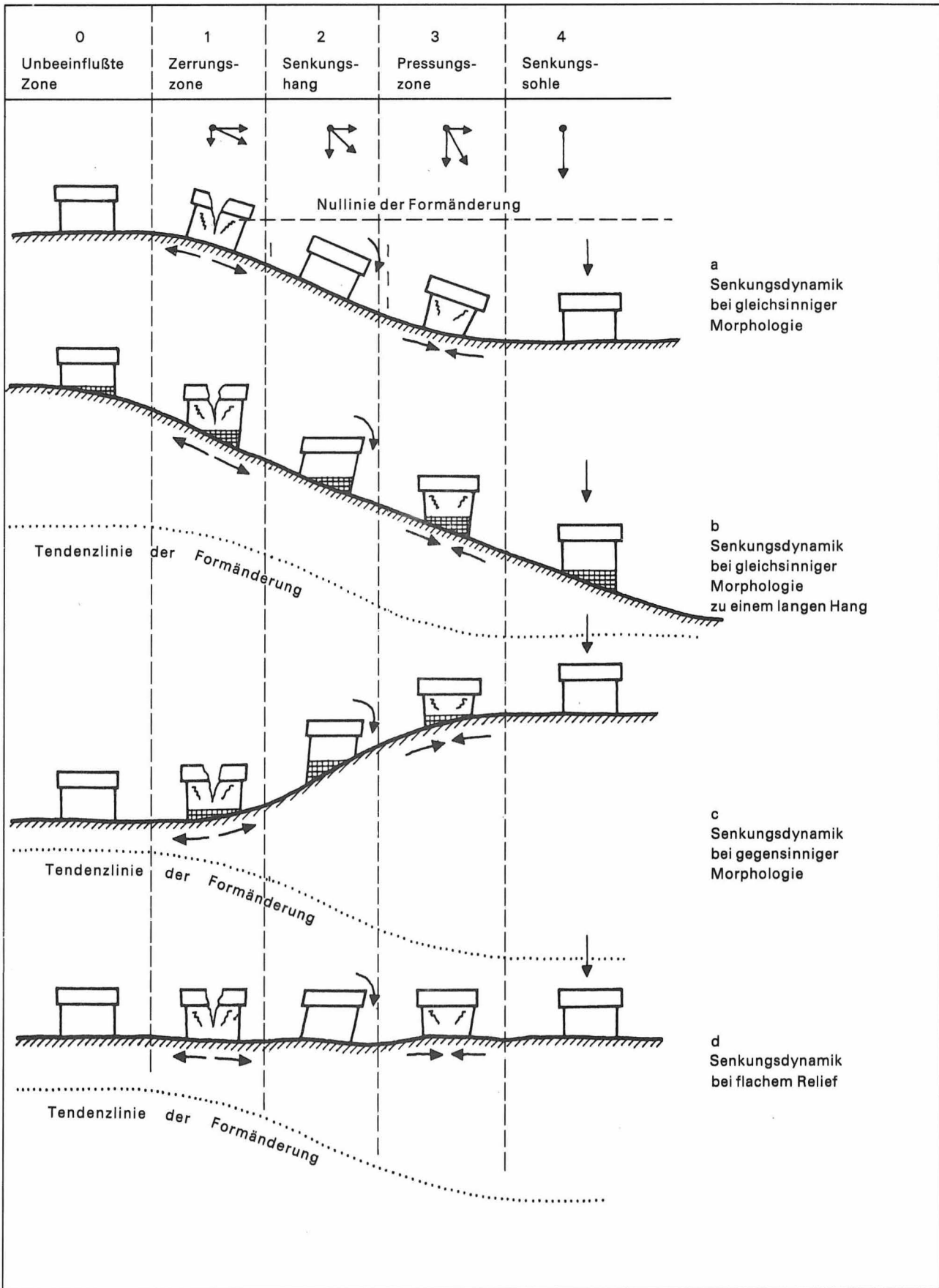


Abbildung 2
 Senkungsdynamik und Gebäudebewegungen bei unterschiedlichen morphologischen Verhältnissen

formen auch heute noch mit der konvexen Morphologie im Zerrungsbereich und der konkaven Morphologie im Pressungsbereich übereinstimmt, herrscht gleichsinnige Morphologie (Abbildung 2a).

Bei der Untersuchung von Bauschäden stellte sich mehrfach heraus, daß Pressungen am Hang und Zerrungen an konkavgekrümmten Geländeteilen vorkommen. Wie Abbildung 2c erkennen läßt, sind solche Fälle bei gegensinniger Morphologie zur Senkungsdynamik möglich. Setzt eine Senkung auf flachem Relief ein (Abbildung 2d), sind Zerrungen und Pressungen anfangs ebenfalls nicht an der Morphologie zu erkennen. Schließlich gibt es noch den Fall, daß Senkungen an einem langen Hang stattfinden, so daß die Zonen 3 und 4 noch am Hang liegen. Somit ist die Senkungsdynamik nicht allein aus der derzeitigen morphologischen Situation heraus analysierbar. Eine eindeutige Bestimmung der Zone ist nur mit Hilfe eines ausreichend dichten Flächennivellements oder aber an Hand von typischen Bauschäden als qualitative Indikatoren möglich.

Bemerkenswert ist auch das zeitliche Schwanken der Senkungsgeschwindigkeiten. Eine erste Auswertung charakteristischer Meßpunkte der verschiedenen Senkungszentren über längere Zeiträume läßt erkennen, daß Jahre bzw. längere Perioden mit erheblich höheren Niederschlägen einer verstärkten Intensität der Subrosion und damit erhöhten Senkungsgeschwindigkeiten entsprechen.

Ein markantes Beispiel ergab sich bei der Wiederbelebung des Großerdalles Rollsdorf am Bindersee. Nachdem am 2. und 3. November 1968 rd. 200 000 m³ Wasser des Bindersees durch diesen Erdfall mit einem beachtlichen Strudel in den Untergrund versunken waren (JUNG; SPILKER 1969), erreichten im Winter 1968/69 die Senkungen im Bereich der F 80 unmittelbar beim Standort des ehemaligen Gasthofes Rollsdorf den beachtlichen Betrag von 790 mm.

Andere Senkungszentren zeigen ein analoges Verhalten. Daraus ergibt sich, daß zwischen der Menge des dem Subrosionsherd in der Zeiteinheit zugeführten Wassers, entweder durch verstärkte Niederschläge, durch am Ausgehenden des Zechsteins versinkende Bäche oder aber auch untertätige Wasserzufuhr einerseits und der in wenigen Wochen bis Monate nachfolgenden Er-

höhung der Senkungsintensität andererseits eine proportionale Beziehung besteht.

Besonders deutlich wurde dieser Zusammenhang Mitte 1965. Nachdem Anfang Juli 1965 nach mehreren relativ trockenen Jahren mit zahlreichen Gewitterregen plötzlich eine verstärkte Niederschlagstätigkeit einsetzte, erhöhten sich in den meisten Senkungszentren die Senkungsgeschwindigkeiten schlagartig.

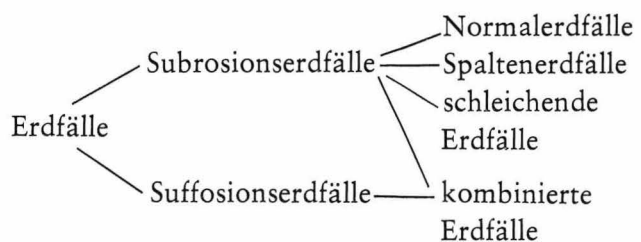
2.2.

Erdfälle

Das Gegenstück von bruchlosen Senkungen sind Formänderungen, bei denen Teile der Oberfläche mehr oder weniger plötzlich in die Tiefe sacken. Beruhen derartige Erdenbrüche auf natürlichen geodynamischen Prozessen, werden sie in der deutschsprachigen Literatur im Gegensatz zu den Tagesbrüchen aufgrund von Bergbauhöhlräumen als Erdfälle bezeichnet.

Der Begriff Erdfall ist doppelsinnig. Er umfaßt sowohl den Prozeß des Einbrechens als auch die dadurch entstandene Form.

Unter Berücksichtigung der Genese haben FANTASNY; BRENDEL (1972) folgende Arten von Erdfällen unterschieden:



Wie der Name besagt, beruhen *Subrosionserdfälle* auf dem Zusammenbruch von Subrosionshöhlräumen.

Als *Normalerdfälle* werden solche mit kreisförmiger bis schwach ovaler Einbruchstelle an der Oberfläche bezeichnet. Nach der Größe des oberen Durchmessers hat BRENDEL (1972) unterschieden:

	Durchmesser	Prozentuale Häufigkeit im Rötäusstrich
Kleinerdfälle	0... 2 m	70,3 %
Mittlere Erdfälle	2... 5 m	25,0 %
Großerdfälle	5...10 m	4,7 %
Riesenerdfälle	10 m	

Die empirische, baupraktische Wirkungsgrenze liegt bei einem oberen Durchmesser von 3 m, weil Neubauten gegen Erdfälle bis zu diesem Durchmesser mittels technischer Maßnahmen wie Fundamentbewehrungen, verstärkte Ringanker usw. mit einem ökonomisch noch vertretbarem Aufwand gesichert werden können.

Als *Spaltenerdfälle* werden Einbrüche auf Senkungsspalten bezeichnet. Sie sind stets durch ihren ungleich längeren als breiten Durchmesser gekennzeichnet. Die größte bisher festgestellte Breite von Spaltenerdfällen beträgt 2 m. Sie treten besonders in Spaltengebieten mit standfestem Geschiebemergel oder Löß auf, wo die Lockergesteinsdecke eine aktive Spalte noch eine Zeitlang zu überbrücken vermag. In der Mehrzahl der Fälle treten die perlschnurartig auf. Ihre lineare Anordnung kennzeichnet den Verlauf von noch nicht durchgängig aufgebrochenen Spalten.

Das charakteristische Merkmal „*schleichender Erdfälle*“ ist ihr verzögerter Bruchvorgang. Der Einbruch dauert Tage bis wenige Wochen. Bei unterschiedlichem Durchmesser bis zu beobachteten Werten von nahezu 10 m ist die Einbruchtiefe meist < 1 m.

Zusammen mit dem Typ „Rasant absinkender Kessel“ stellen sie Übergangsformen zwischen bruchlosen Senkungen und Erdfällen dar. Langjährige Erfahrungen lehren, daß es in der Natur von bruchlosen Senkungen in Wannen und Kesseln über „rasant absinkende Kessel“ mit randlichen, beginnenden Bruchformen und „schleichende“ Erdfälle bis zum plötzlichen Erdfall alle Übergänge gibt. Die Zuordnung zu den Typen „rasant absinkender Kessel“ oder „schleichender“ Erdfall ist daher besonders in den Anfangsstadien eines Ereignisses oft schwierig. Hinzu kommt, daß sich manche Erdfälle durch örtliche bruchlose Senkungen in kesselartiger Form Wochen bis Jahre im voraus ankündigen und dann erst plötzlich einbrechen.

Als *Suffosionserdfälle* werden solche Einbrüche bezeichnet, bei denen durch Wasser feinkörnige Lockergesteinsanteile ausgespült und entweder in tiefer liegende Karsthohlräume oder grobkörnige Kiessande bzw. lockergelagerte Auffüllungen oder Verbruch eingespült werden. Dadurch bilden sich besonders im Löß stets oberflächennahe Hohlräume, die beim Fortschreiten des Prozesses zusammenbrechen. Sie treten gehäuft über undichten

Be- und Entwässerungsleitungen besonders an den durch Baugrundsenkungen undicht gewordenen Hausanschlüssen auf.

Die genetischen Bedingungen der Entstehung von Erdfällen beruhen auf einer größeren Zahl komplex zusammenwirkender Faktoren. Da sie noch eingehender Untersuchungen bedürfen, soll hier nicht näher darauf eingegangen werden.

Die aus der Subrosion des Rötgipses gewonnenen Erkenntnisse legte zuletzt BRENDEL (1972) dar. Danach besteht der primäre kausale Zusammenhang zwischen Hohlraumbildung und Erdfall darin, daß für jeden Erdfall ein untätiger Hohlraum vorauszusetzen ist. Der Erdfall stellt die letzte Phase der Hohlraumbildung, also ihr Ende dar. Aber zwischen der Anlage eines Hohlraumes und seinem Hochbruch an die Oberfläche liegt ein in der älteren Literatur meist nicht berücksichtigter Zeitraum, der, wie zahlreiche natürliche, noch nicht zubruch gegangene Höhlen beweisen, sich über Jahre bis Hunderttausende von Jahren erstrecken kann. Die inmittelbare zeitliche Aufeinanderfolge von Hohlraumbildung und seinem Zubruchgehen ist im Gips- und Kalkkarst die Ausnahme. Wie im Abschnitt 2.1. erläutert, wird nur bei der flächenhaften Subrosion von Lockergesteinen die Hohlraumbildung durch unmittelbares Nachsacken des Deckgebirges kompensiert. Fest steht auch, daß das von Fall zu Fall unterschiedlich lange, kontinuierliche, öfter aber „ruckweise Emporbrechen“ weitestgehend eine Funktion der geomechanischen Beschaffenheit des Deckgebirges ist, das der Erdfall auf seinem Wege nach oben überwinden muß.

Die entstehende Bruchform ist von der lithologischen Beschaffenheit der obersten Schichten abhängig. Erdfälle in standfestem bindigem, d. h. tonigem und schluffigem Lockergestein zeigen stets die sich nach oben verjüngende Glockenform (Abbildung 1). Erst allmählich brechen die oberen Ränder nach und böschten sich ab bis zur Trichterform. Nur in rolligem Lockergestein entsteht entweder sofort oder aber schon bald nach dem Einbruch die Trichterform mit natürlichem Böschungswinkel. Mit zunehmenden Alter böschte sich die Form unter gleichzeitiger Einschwemmung feinkörniger humoser Lockergesteinsanteile weiter ab, bis schließlich nur noch eine flache, oft wassergefüllte Geländedepression die Einbruchsstelle anzeigt.

Die Erdfallhäufigkeit in der Mansfelder Mulde ist noch nicht eingehend untersucht. Sicher ist, daß sich der weitaus größte Teil der Erdfälle im randlichen Gipskarst außerhalb der Steinsalzverbrei-

tungsgrenze ereignet. Die Häufigkeit nimmt mit zunehmender Teufenlage in Richtung des Muldeninneren ab.

Einen zweiten großen Anteil stellen die o. g. Spaltenerdfälle dar. Sie beschränken sich auf den Südrand der Hauptsenkungszone und die Spaltenzone Höhnstedt – Volkstedt.

Groß- und Riesenerdfälle stellen nur einen Anteil von wenigen Prozent. Nach unseren bisherigen Kenntnissen handelt es sich dabei meist um sogenannte Salzerdfälle. Ihre Ursache sind wahrscheinlich sehr große Hohlräume, die sich an prädestinierten Stellen bei punktförmiger Subrosion bilden. Derartige Stellen sind Kreuzungsstellen tektonischer Elemente untereinander oder Kreuzungsstellen tektonischer Elemente mit den Salzverbreitungsgrenzen. Rezente Beispiele sind der Rollsdorfer Erdfall des Jahres 1961 am Westrand des Bindersees, der Volkstedter Erdfall aus dem Jahre 1967 und die Brosowskischächter Erdfälle der 50er Jahre. Nach REUTER; MOLEK (1971) sollen die Salzerdfälle vorwiegend an den randlichen Zerrungszonen von Senkungsstrukturen auftreten, weil dort die Gebirgsfestigkeit am kleinsten ist. Tatsächlich haben alle rezenten Großerdfälle eine derartige Position. Es kann nicht unerwähnt bleiben, daß einige Altformen von Großerdfällen im ehemaligen Salzigen See nicht in der Zerrungszone, sondern im Zentrum des Teilsenkungsgebietes Röblingen – Rollsdorf niedergegangen sind.

2.3.

Spaltenbildungen

Durch ihr Auftreten als konzentrische Randspalten an Senkungskesseln und nachbrechenden oder sich abböschenden Erdfällen oder als kilometerlange Spalten am Rand großer Wannens und Becken nehmen sie zwischen bruchlosen Formänderungen und Brüchen eine intermediäre Stellung ein. Ihre Lage kennzeichnet somit immer eine Auswirkung in Zerrungszonen.

Die markantesten Formen befinden sich in der rd. 18 km langen Spaltenzone Höhnstedt–Volkstedt am Nordrand der Eislebener Niederung über der Nordgrenze des Salzspiegels. Sie verlaufen in mehreren flachherzynisch streichenden Staffelfü-

gen auf der Steilstufe am Nordrand des Süßen Sees und queren im Rollsdorfer Kessel dadurch mehrfach die F 80 (BRENDL u. a. 1970).

Die Länge offener, aktiver Spaltenabschnitte kann bis zu mehrere hundert Meter betragen. Da die Spalten örtlich noch durch pleistozäne bindige Lockergesteine überbrückt werden, ist der Verlauf zuweilen durch perlschnurartig angeordnete Spaltenerdfälle kenntlich. Die Breite der Spalten variiert zwischen wenigen Dezimetern bis zu 2 m. Die mit Sicherheit schon vor Beginn des Kupferschieferbergbaus angelegten Altformen bilden im Gelände oft 10...12 m, maximal 40 m breite und 8...10 m tiefe schnurgerade „Kastentäler“ mit nahezu senkrechten Wänden und somit mehr oder weniger rechteckigem Querschnitt, in denen die Spaltenfüllung analog tektonischer Y-Gräben mit zunehmender Ausweitung der Spalte nachsackt. Häufig sind diese Altformen ein- oder beidseitig von aktiven parallelen Randspalten bis 2 m Breite begleitet.

Generell reißen die Spalten mit zunehmender Ausweitung im Zerrbereich sehr langsam über Jahre bis Jahrhunderte hinweg auf. Erfahrungsgemäß geschieht dies jedoch räumlich und zeitlich nicht kontinuierlich. Unregelmäßige Perioden der Ruhe oder sehr geringen Aktivität wechseln mit Zeiten stärkerer Dynamik. So wurde beispielsweise die Spalte, welcher der Rollsdorfer Gasthof zum Opfer fiel, auf diesem Abschnitt nach unbekannt langer Inaktivität ab 1963 derart aktiv, daß zur Zeit eine Breite von 2...3 Metern zu verzeichnen ist. Der Verlauf dieser Spalte ist heute noch deutlich an der im Spaltenbereich deformierten Gartenmauer zu erkennen. Die gleiche Spalte quert in östlicher Verlängerung kurz hinter dem beleuchteten Warnschild „Senkungsgebiet“ den letzten Bogen der F 80 in Richtung Halle und hat dort schon lange vorher starke Deformation an der Betonfahrbahn hervorgerufen.

Lange Spalten am Rande großer Destruktionsformen schneiden erosive Seitentäler und Höhenrücken geradlinig und sind somit nicht an die örtliche Morphologie gebunden.

Infolge der räumlichen Überlagerung größerer durch kleinere Destruktionsformen und auch durch tektonische Bedingungen kommt es an prädestinierten Stellen zuweilen zur Kreuzung von Spalten verschiedener Richtungen. Solche Spaltenkreuzungen sind z. B. im Bereich der F 80 vor

dem Gebäude der VEAB und auf der gepflasterten Straße, die vom Süden der Ortslage Helfta in Richtung der Reichsbahnunterführung verläuft, an der Deformation des Straßenpflasters zu beobachten. Wichtig ist die Erkenntnis, daß sich die Spalten seitlich kaum oder nur unbedeutend verlagern.

Im Gegensatz zur noch weitgehend unbekanntem Dynamik sehr langer säkularer Spalten korrespondieren die konzentrischen Randspalten von Kesseln sehr eng mit der Intensität der Senkungen. Im geradezu „klassischen“ Friedhofskessel von Erdborn war die größte Aktivität der Randspalten an die größte Senkungsintensität gebunden. Im Spaltenbereich ergaben sich Abrisse an dem äußeren Kesselrand mit mehr als 2 m Höhenunterschied und Spaltenerdfälle bis 12 m Tiefe.

Bei echten Senkungsspalten am Rand großer Destruktionsformen ist die Anlage der Spalten in großer Tiefe, also direkt über dem Subrosionsherd, zu vermuten.

Im Gegensatz dazu stellen die konzentrischen Randspalten von sich abböschenden oder nachbrechenden Erdfällen einen oberflächennahen Effekt dar. Nach erfolgter Abböschung auf den natürlichen Böschungswinkel kommt auch die Spaltenaktivität zunehmend zur Ruhe.

2.4. Zur räumlichen Überlagerung verschiedener Arten von Formänderungen

Je nach den örtlichen, die Subrosion beeinflussenden geologischen Bedingungen kommen in der Natur häufig mehrere Arten von Formänderungen in ein und demselben Gebiet vor.

Ausschließliche Erdfallgebiete sind seltener. Zwar sind in Gipskarstgebieten Erdfälle die vorwiegende Oberflächenercheinung der Subrosion, jedoch treten in solchen Gebieten, wie im Abschnitt 2. dargelegt, häufig auch geringe, örtlich eng begrenzte bruchlose Senkungen auf. Diese sind sicher weiter verbreitet, als bisher angenommen wird. Ihre unvollständige Kenntnis beruht auf der

Tabelle 1
Typische Schadwirkungen
subrosionsbedingter Formänderungen der Oberfläche

		Bruchlose Senkungen				Erdfälle		Spaltenbildungen	Seismische Erschütterungen					
		1 Zerrungszone	2 Senkungshan	3 Pressungszone	4 Senkungssohle	< 3m ø	> 3m ø							
H o c h b a u	Lehm	Gebäuderisse quer zur Zugrichtung	Schiefstellung verbunden mit Gewichtverlagerungen und ± horizontaler Gleitung	Schlaufressungen, Abscherungen und Eindrückungen des Mauerwerkes im Kellergeschoß Wandeinbeulungen	Senkungen des Baukörpers „en bloc“, relativ steigendes Grundwasser, dadurch Wasser in den Kellern und zusätzliche Baugrundsetzungen	Teileinstürze bei Erdfällen unter tragenden Konstruktions-elementen, sonst Überbrückung	Je nach Lage und Durchmesser des Erdfalles zu tragenden Konstruktions-elementen teilweiser bis vollständiger Einsturz, insbesondere Beckeneinstürze	Je nach Spaltenbreite allmähliches, aber unaufhaltsames Zerreißen des Baukörpers bis zum teilweisen oder vollständigen Einsturz im Spaltenbereich						
	Naturstein													
	Ziegel													
	Großblock/Platte	Zugrisse in Deckenkonstruktionen	verstärkter Hangschub	Kompensationszugrisse im Oberbau	Bauwerk überbrückt Einbruchstellen ohne größere Schäden	Starke Durchbiegung bis zur allmählichen Zerstörung der Konstruktion								
	Stahlbau	vorwiegend Verbiegungen der Konstruktion												
	Fachwerk													
V e r k e h r s b a u e n	Straßen mit flexiblem Belag	Verwürfe an Zug-rissen	Kongexe Verbiegungen und Zerrungen	Schiefstellungen und Veränderungen der Gradienten	Aufwölbungen	Senkungen des Baukörpers „en bloc“ Baugrundsetzungen bei relativ steigendem Grundwasser	Teileinbrüche der Fahrbahn	Wellenbildungen in Spaltenrichtung						
	Straßen mit starrem Belag (Beton)								Schienenrisse	Aufbrüche	Hohlräume unter dem Betonbelag, nachfolgend Einbruch	Brüche des Betonbelages im Spaltenbereich		
	Bahnlinien												seitlicher Verwurf	Durch Einsturz des Unter- und Oberbaues Verlust des Auflagers der Gleise.
V e r s o r g u n g s l e i t u n g e n	Erdverlegte Flüssigkeitsrohrleitungen	konvexe Biegebeanspruchung bis zum Bruch und Zerreißen durch Längung	Längung durch Übertragung des Zuges aus der Zerrungszone bis zum Zerreißen	konkave Biegebeanspruchung bis zum Bruch durch Ausknickung zur Seite oder nach oben	Senkungen des Baukörpers „en bloc“ ohne direkte Schäden. Verstärkte Korrosion bei relativ steigendem Grundwasser	plötzliche Leitungsbrüche, besonders bei in bindiges Lockergestein gebettete Leitungen	Totaler, plötzlicher Bruch der Leitungen	allmähliche Akkumulation der Dehnung bis zum plötzlichen Bruch im Spaltenbereich						
	Erdverlegte Gasleitungen													
	Erdverlegte Strom- und Postkabel								Suffosionsprozesse durch ickendes Wasser		Suffosions- und Explosionsgefahr		Suffosions- und Explosionsgefahr	
	Freileitungen								Verminderung des Durchhanges bis zum Zerreißen	Schiefstellungen der Masten	Verstärkung des Durchhanges	Schiefstellung bzw. Umsturz von Masten bei Erdfällen im Gründungsbereich	allmähliche Schiefstellung von Masten bis zum Umsturz	
W a s s e r b a u e n u n d G e w ä s s e r	Dämme	konvexe Verbiegungen bis zur Durchlässigkeit	Schiefstellungen	konkave Verbiegungen und Stauchungen		Je nach Lage des Erdfalles und Dammbreite teilweise bis vollständige Zerstörung	Dammrisse bis zum Dambruch							
	Vorflechter	Wasser infiltriert in Zugrissen in den Untergrund	Vergrößerung des Gefälles, verstärkte Erosio	Querschnittsverengungen; Verkleinerung des Gefälles bis zur Rückläufigkeit und bis zur Bildung stehender Gewässer mit erhöhter Zufuhr von Sinkstoffen	Teil- bis Vollversinkung der fließenden Welle in den Untergrund bis zur natürlichen Verschlämzung der Einbruchstelle.									
	Grundwasser	absinkend, Brunnen fallen trocken, Verseuchungsgefahr		relativ steigend, u.U. bis über die Oberfläche	Örtliches Absinken des Grundwassers Brunnen fallen trocken Verseuchungsgefahr									
	Land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen	konvexe Verbiegungen Bäume vertrocknen durch Abreißen der Wurzeln	Hangversteilung bei gleichsinnige Hangveflachung bei gegensinnige Morphologie	konkave Verbiegungen und Stauchungen Bäume und Pflanzen ersticken bei relativ steigendem Grundwasser	Bildung abflußloser Senken; Bei relativ steigendem Grundwasser Vernassung von Nutzflächen bis zur Überflutung	Verlust der eingebrochenen Nutzfläche, Einbruchsgefahr für land- und forstwirtschaftliche Maschinen	Versturz von Bäumen bzw. Vertrocknen bei absinkendem Grundwasser oder Abriß der Wurzeln							

Bei wiederholten seismischen Erschütterungen Verstärkung der Schadwirkungen infolge zunehmender Zerrüttung. Provokation von Erdfällen, Spaltenbildungen und Spaltenerdfällen.

Tatsache, daß sie infolge ihrer geringen Intensität und ihres räumlich geringen Umfanges meßtechnisch nur schwierig und mit hohem Aufwand erfaßt werden können.

Von den wenigen Gebieten, in denen sie erkannt wurden, war dies den aufgetretenen Bauschäden zu verdanken. Ein typisches Gebiet existiert in der Ortslage Großleinungen. Ein anderer Bereich ist der Nordrand des als Alterdfall gedeuteten sog. Elisabeth-Quelltrichters an der Kyffhäuser-Südrandstörung in Bad Frankenhausen. An seinem Nordrand treten im Bereich der als Schnittlinie zu deutenden Oberkirchgasse mit Zerrungen, Schiefstellungen und Pressungen alle Erscheinungsformen bruchloser Senkungen als auch Erdfälle auf. Es konnte bisher noch nicht geklärt werden, ob dieser Effekt auf bruchlose Senkungen infolge der örtlichen Auflösung von Salz bzw. Gips im Bereich der Kyffhäuserstörung oder auf Hangbewegungen am Rand der großen Subrosionshohlform beruht.

In Bereichen mit sehr intensiven bruchlosen Senkungen ist die Zerrungszone in der Regel von

Spaltenbildungen begleitet. Die Spaltenzone Höhnstedt-Volkstedt hat ihren Namen durch die hier vorwiegenden sehr langen Spaltenstaffeln erhalten. Wie KAMMHOLZ schon 1964 richtig erkannte, treten aber auch hier bruchlose Senkungen in Kesseln zwischen den Spaltenzügen auf. Ein typisches Beispiel ist der Senkungskessel „Erna-Bad“ auf den Höhen am Nordufer des Süßen Sees. Zusammen mit Spaltenerdfällen sind hier also alle drei Hauptarten der Formänderungen zu verzeichnen.

Schließlich treten in Gebieten mit vorwiegender Subrosion von Salzgesteinen und damit überwiegend bruchlosen Senkungen an prädestinierten Stellen auch sog. Salzerdfälle auf, die in allen bekannten Fällen die Dimensionen von Groß- oder Riesenerdfällen haben.

Es kann nicht unerwähnt bleiben, daß an entsprechend steilen Hängen, die von bruchlosen Senkungen betroffen sind, zusätzlich zu der aus den Formänderungen herrührenden horizontalen Bewegungskomponente Hangbewegungen hinzukommen, die im Falle der Bebauung die Situa-

Photo 1

Zerrungsrisse in einem Haus in der Karl-Liebknecht-Straße in Helfta
(Photo BRENDL)





Photo 2
 Blick auf den Senkungshang der Hauptsenkungswanne in Helfta mit schiefgestellten Häusern
 (Photo BRENDDEL)

tion komplizieren. Diese regionale Überlagerung verschiedener Arten von Formänderungen hat beträchtliche baupraktische Bedeutung, weil die bautechnischen Sicherungsmaßnahmen gegen bruchlose Senkungen und Bruchformen einander entgegenlaufen.

3. Schadwirkungen von Formänderungen

Alle auf der Subrosion von wasserlöslichen Gesteinen und zusätzlichen Ursachen beruhenden Formänderungen der Oberflächen übertragen sich über den Baugrund auf Hoch- und Ingenieurbauten und rufen je nach Lage und Konstruktion des betreffenden Bauwerkes im Bewegungsraum sowie Intensität und Dauer der Formänderung spezifische Schäden hervor. Die Auswirkungen von Formänderungen sind von KAMMERER (1962) und BRENDDEL u. a. (1970) ausführlich beschrieben worden. Ohne auf technische Details einzugehen, wird in Tabelle 1 der sicher noch zu vervollkomm-

nende Versuch unternommen, die typischen Schadwirkungen der einzelnen Arten von Formänderungen auf Hoch-, Verkehrs- und Wasserbauten sowie Versorgungsleitungen und landwirtschaftliche Nutzflächen übersichtlich darzustellen.

Hierzu muß ergänzend bemerkt werden, daß bei bruchlosen Formänderungen in den Zonen 1 und 3 die Intensität und Dauer der konvexen bzw. konkaven Krümmungen der Oberfläche die entscheidenden Faktoren und damit das Maß der Schadwirkung auf Kunstbauten darstellen.

Verlaufen die bruchlosen Senkungen sehr langsam und betreffen sie die äußerst zugempfindlichen Naturstein- und Ziegelbauten, so reagieren derartige Bauwerke meist konform zu den Bewegungen, und man kann die zunehmenden Krümmungen der Oberflächen an den sich langsam entwickelnden Rissen im Bauwerk verfolgen.

Bei intensiver Senkung auf kleiner Fläche und somit starken und schnellen Krümmungen der Oberfläche übertragen sich diese, wie viele Beispiele lehren, nicht kontinuierlich auf das Bauwerk. Vielmehr akkumulieren sich die Spannungen



Photo 3
 Seitliche Pressungen an einem Haus in der
 Pressungszone der Hauptsenkungswanne in Helfta
 (Photo BRENDEL)

im Bauwerk bis auf ein konstruktionspezifisches Quantum, und es kommt nach Überschreiten der Biegespannung zu plötzlichen, ruckweisen Druckentlastungen am Bauwerk. Dieser Vorgang kann sich bei zunehmender Formänderung mehrfach wiederholen. Da die Bauwerke bzw. ihre statisch bestimmenden Konstruktionselemente nur in seltenen Fällen genau quer oder parallel zur Bewegungsrichtung liegen, ist eine quantitative bautechnische Vorausberechnung der Richtung der Beanspruchung meist nicht möglich. Somit liegt in der Unsicherheit der Bestimmung des Zeitpunktes der Spannungsauslösung im Bauwerk die eigentliche Gefährdung der Sicherheit. Ganz besonders trifft dies für große starre Bauwerke, wie Plattenbauten, unbewehrte Betonfahrbahnen von Straßen usw. zu, in denen sich beträchtliche Spannungen anreichern können, ehe es zum plötzlichen Bruch konstruktiv bestimmender Elemente und damit zu plötzlichen Schadwirkungen kommt.

Photo 4
 Überschwemmung der Thälmannstraße in Helfta infolge Rückläufigkeit des Kuhschluchtbaehes im Pressungsbereich der Hauptsenkungswanne und Aufpressungen der Pflasterdecke im Vordergrund
 (Photo BRENDEL)



Photo 5
Durch Pressungen geknicktes Gasrohr aus dem Bereich
des Schulkessels in Erdeborn
(Photo BRENDDEL)

Der Prozeß der Akkumulierung von Spannungen und plötzlichem Bruch wurde in der Vergangenheit häufig an Gas- und Wasserleitungen beobachtet. Auf die kontinuierlichen Krümmungen in der Zerrungs- und Pressungszone reagierten die Leitungen nach Jahren relativer Ruhe mit sehr zahlreichen, örtlich gehäuften Brüchen in wenigen Wochen bis Monaten. Durch die Reparatur wurde die Spannung entlastet, und es folgte wiederum eine Zeit relativer Ruhe, in der sich die Spannungen bei fortschreitender Krümmung erneut akkumulierten.

Intensive bruchlose Senkungen sind stets von seismischen Erschütterungen begleitet, die nach dem bisherigen Erkenntnisstand den Senkungsbewegungen sowohl in der Häufigkeit der Ereignisse als auch ihrer Energie etwa proportional verlaufen. Besonders die schweren „Gebirgschläge“, die Stärken bis zum Grad 4 der Mercalli-Skala aufweisen, tragen im Wiederholungsfall wesentlich zur plötzlichen Spannungsentlastung im Bauwerk und damit zu dessen zunehmender Zerrüttung bei.

Eine in der Vergangenheit oft zu wenig beachtete zusätzliche und damit schadenvergrößernde Wir-

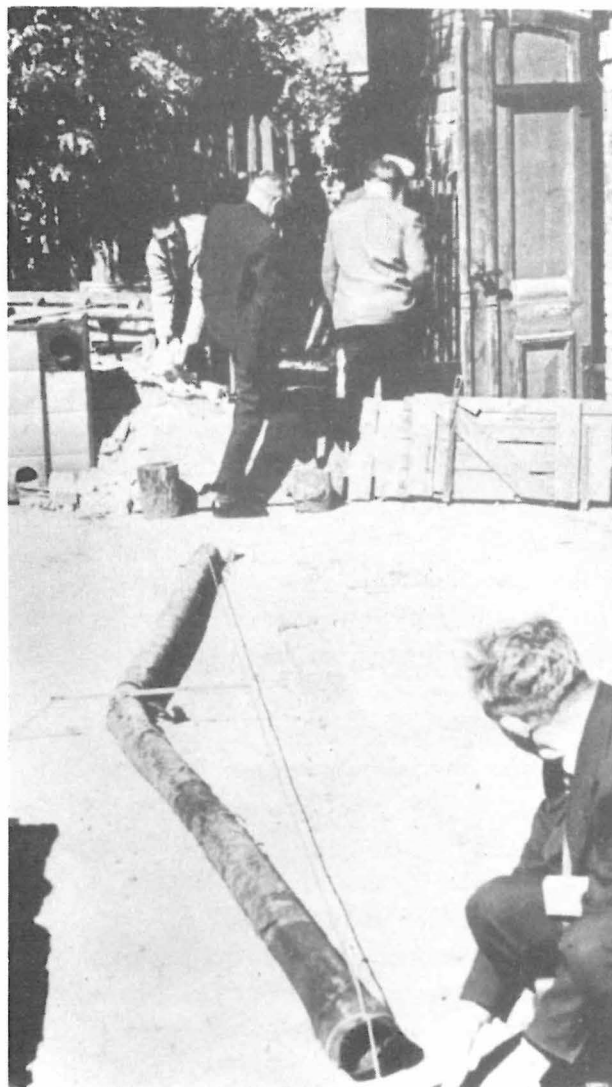
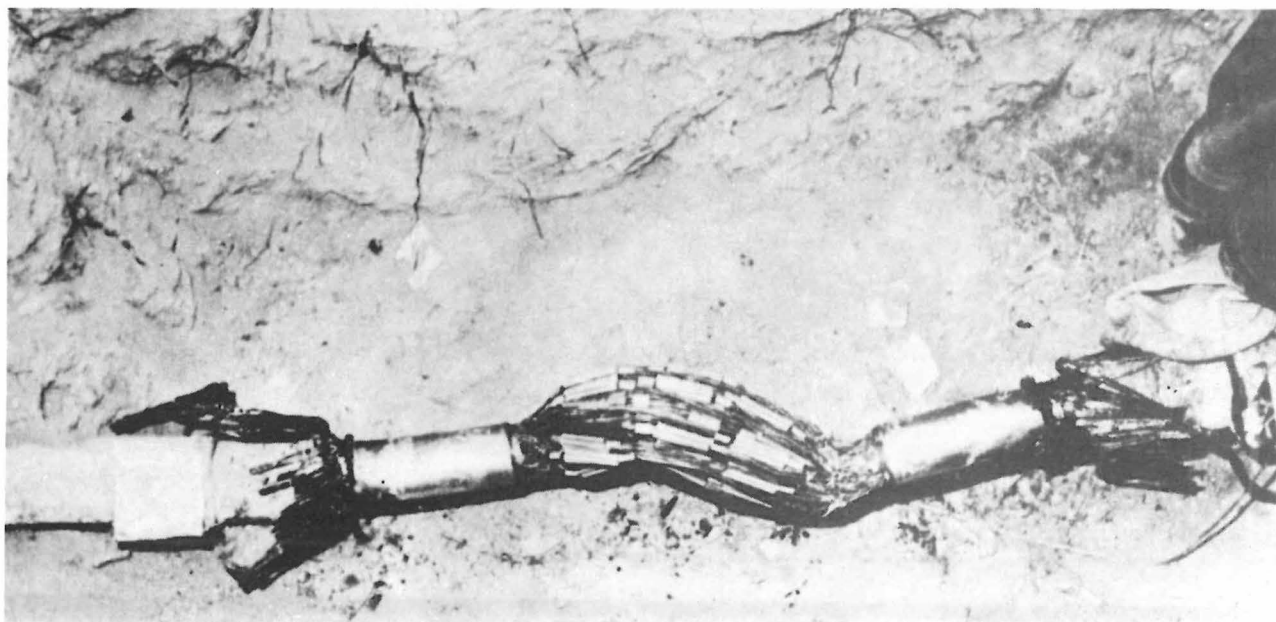


Photo 6
Durch Formänderungen zerstörtes Fernmeldekabel aus dem Bereich des Rollsdorfer Kessels
(Photo BRENDDEL)



kung haben Suffosionsprozesse infolge unkontrolliert versickerender Wässer aus Be- und Entwässerungsleitungen. Da Abwässer im Regelfall salzhaltig sind und salzhaltige Wässer empirisch viermal soviel Gips aufzulösen vermögen wie gleiche Quanten Süßwasser, wird der Subrosionsprozeß im Gipskarst demzufolge anthropogen stark beschleunigt. Andererseits führen Suffosionen besonders im Löß nach Verspülung der tonigen und schluffigen Kornfraktion in darunter liegende standfeste Karsthohlräume zu oberflächennahen Sekundär-Hohlräumen und im Endeffekt zu Suffosionserdfällen, die den Grad der Erdfallgefährdung eines Subrosionsgebietes beträchtlich vergrößern.

Ein weiteres, bei vorausschauenden Einschätzungen von Senkungsgebieten früher zu wenig beachtetes Moment ist die Aufweichung des Baugrundes bei seinem Eintauchen in das infolge der Senkungen relativ steigende Grundwasser. Die Folge sind Baugrundsetzungen mit zusätzlichen Schädwirkungen. Den gleichen Effekt ruft übrigens das leider noch allzuhäufige konzentrierte Versickern der Traufwässer im Bereich der Fallrohre an den Hausecken hervor.

Die Schädwirkungen von Senkungsspalten lassen sich weitgehend mit denen der Zerrungszone bruchloser Senkungen vergleichen. In Gebieten mit aktiven Bereichen großer Spalten ist die Schädwirkung jedoch ungleich größer. Hierbei ist weniger die Krümmungskomponente als vielmehr die horizontale Auswirkung und Nachsackung der Spaltenfüllung wirksam. Die Erfahrung lehrt, daß Bauwerke über aktiven Spalten infolge des hohen ökonomischen Aufwandes für technisch äußerst komplizierte Sicherungsmaßnahmen kaum geschützt werden können.

Im Gegensatz zu den langsamen Formänderungen durch Senkungen und Spaltenbildungen haben Erdfälle immer eine plötzliche Schädwirkung. Rund 70 % der im Bezirk Halle aufgetretenen Erdfälle hatten Durchmesser < 2 m. Abgesehen von Teilschäden haben betroffene Bauwerke diese Kleinerdfälle in jedem Fall ohne wesentliche Beeinflussung der Konstruktion überbrückt. Dagegen hat der Niedergang von Großerdfällen immer katastrophalen Charakter. Glücklicherweise sind diese sehr selten und bisher immer im freien Gelände aufgetreten. Außer der Devastierung eines bestimmten Flächenanteiles und der damit ver-

	bruchlose Senkungen	Spaltenbildungen	Erdfälle
günstige Eigenschaften	<p>Senkungen verlaufen langsam und sind damit meßtechnisch erfaßbar</p> <p>Gefährdungsgebiete können abgegrenzt werden</p> <p>Entwicklung ist bei bekannten Subrosionsbedingungen grob prognostizierbar</p> <p>Voraussage der Schädwirkungen möglich</p> <p>Bautechnische Sicherungen bis zu einem gewissen Grad möglich</p>		<p>betreffen nur sehr kleine Flächenanteile</p> <p>Häufigkeit pro Zeit- und Flächeneinheit sehr gering</p> <p>rd. 75% treten als Kleinerdfälle mit geringer Schädwirkung auf</p> <p>bautechnische Sicherungen gegen Erdfälle bis 3 m Ø mit ökonomisch vertretbarem Aufwand</p>
ungünstige Eigenschaften	<p>Überziehen große Flächen und sind von langer Dauer, dadurch ist die Summe der Schäden groß</p> <p>Vorgang ist unaufhaltbar</p> <p>lokale Senkungen über Gips sind meßtechnisch nur mit hohem Meßaufwand erfaßbar</p>	<p>bautechnische Sicherungen gegen große Spalten mit hoher Aktivität noch nicht möglich</p> <p>Baubestand wird unweigerlich zerrissen</p> <p>Spaltenerdfälle nach Zeitpunkt und Ort nicht voraussagbar</p>	<p>Ort und Zeitpunkt von Erdfällen sind z.Z. noch nicht voraussagbar</p> <p>Abgrenzung der Gefährdungsgebiete nur sehr ungenau möglich</p> <p>Groß- und Riesenerdfälle können verheerende Wirkung haben</p> <p>Vollsicherungen gegen Groß- und Riesenerdfälle sind nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand möglich</p>

Tabelle 2
Zusammenfassende Gegenüberstellung
der Eigenschaften der Hauptarten der Formänderungen

bundenen Einschränkung der Flächennutzung haben die bisher bekannt gewordenen Groß- und Riesenerdfälle im Vergleich zu den durch bruchlose Senkungen entstandenen Schäden weitaus geringere Schädwirkungen gehabt.¹

¹ Bei diesen Betrachtungen sind die katastrophalen Schädwirkungen von Groß-Tagesbrüchen über ersau-fenden Kali- und Salztiefbauten nicht einbegriffen.

Die insgesamt geringere Schadwirkung von Erdfällen gegenüber bruchlosen Senkungen darf jedoch keinesfalls dazu verleiten, die Erdfallgefährdung zu vernachlässigen, birgt doch die zur Zeit noch nicht mögliche Voraussage des Zeitpunktes und Ortes eines Großerdfalles die Gefahr in sich, daß er überraschend auch in dicht bebauten Gebieten oder auf stark befahrenen Verkehrswegen und dann mit u. U. katastrophalen Auswirkungen auftreten kann.

4. Einige Schlußfolgerungen für die Sicherung des Baubestandes und die Planung von Bauinvestitionen

Die bekannten Senkungs- und Erdfallgebiete unterliegen einer intensiven Flächennutzung. Sie sind besiedelt und von einem engmaschigen Netz von Verkehrswegen und Versorgungsleitungen durchzogen. In der Mansfelder Mulde ist darüber hinaus eine hohe Industriekonzentration zu verzeichnen. Lediglich die Gipskarstgebiete an den Rändern der Mittelgebirge sind vorwiegend forstwirtschaftlich genutzt. Dafür aber werden diese Gebiete zunehmend in die Naherholung und den Tourismus einbezogen. Da nur kleine Gebietsteile mit sehr intensiven Senkungen und hoher Erdfallgefahr aus der Planung der Flächennutzung herausgenommen werden können, ist es um so wichtiger, den Schadwirkungen durch geeignete Maßnahmen zu begegnen, so weit dies überhaupt möglich ist.

Für die Flächenbewertung im Rahmen der territorialen Planung sind die in Tabelle 2 aufgezeichneten, z. T. einander entgegen laufenden Eigenschaften von Senkungen und Erdfällen zu beachten.

Voraussetzung sowohl für die Sicherung des vorhandenen Baubestandes als auch für geplante Investitionen ist die eingehende Kenntnis der geologischen Verhältnisse der Subrosionsgebiete, der Ursachen, der vorhandenen und zukünftigen Intensität der Formänderungen sowie die Begrenzung der Gefährdungsgebiete. Diese Kenntnis ist nur durch langjährige nivellitische, seismische, visuelle bzw. fotogrammetrische Kontrolle und durch die Auswertung aller in einem bestimmten Raum niedergegangenen Erdfälle zu erreichen. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit von

Geologen, Geophysikern, Geodäten, Bergleuten und Baufachleuten.

Geologischerseits hat die hydrogeologische Erforschung und die Oberflächenkartierung der Subrosionsgebiete grundlegende Bedeutung. Nur auf diesem Wege kann der notwendige regionale Erkenntnisvorlauf für die prognostische Entwicklung der Gefährdungsgebiete gewonnen werden.

An die Geophysik muß die Forderung gestellt werden, Hohlräume, die noch nicht zur Oberfläche durchgebrochen sind, in seiner Teufe zu orten, in der das Deckgebirge noch trägt. Nach Lösung dieses Forschungsproblems erscheint es möglich, der Erdfallgefahr durch Verfüllung bzw. Sprengung der Hohlräume prophylaktisch zu begegnen.

In jüngster Zeit rücken auch geothermische und Infrarotuntersuchungen in den Gesichtskreis der Hohlraumerkundung. Ursachen und Ablauf der natürlichen Subrosionsprozesse sind beim gegenwärtigen Stand der Entwicklung kaum im positiven Sinne zu beeinflussen. Die zahlreichen Fälle der anthropogenen Beschleunigung durch unkontrollierte Versinkungen und Versickerungen von Wasser können jedoch durchaus verhindert bzw. vermindert werden.

Den wichtigsten Platz zur Verhütung bzw. Verminderung von Schadwirkungen nehmen bautechnische Methoden ein. Auf diesem Gebiet haben sich in den letzten beiden Jahrzehnten einige Grundregeln und Maßnahmen herausgeschält, die bes. in der Mansfelder Mulde wiederholt sowohl zur Sicherung der Bausubstanz als auch bei Neubauten erfolgreich angewendet wurden. Auf das umfassende Repertoire von Warn- und Sicherungsmaßnahmen wird im Rahmen der Bebaubarkeit von Senkungs- und Erdfallgebieten demnächst an anderer Stelle berichtet.

Literatur

BRENDEL, K.

Prognostische Einschätzung der Entwicklung und territorialökonom. Konsequenzen in den Senkungs- und Erdfallgebieten des Bezirkes Halle bis 1975. Rat des Bezirkes Halle, Abt. Geologie (unveröffentlicht) v. 13. 8. 68.

—: Technogen beeinflusste natürliche Subrosionssenkungen in der Mansfelder Mulde. Zschr. geol. Wiss., 4, 1976, 8, S. 1115...1133.

- BRENDEL, K.; FANTASNY, D. u. G. SUDERLAU**
Der Einfluß der Senkungs- und Erdfallgebiete in der Mansfelder Mulde auf Baubestand und Bauplanung. In: Exkursionsführer zur Vortrags- und Exkursionsstatung der GGW der DDR im November 1970 in Halle. Berlin 1970.
- BRENDEL, K.; D. FANTASNY**
Senkungserscheinungen und Vernässungsprobleme (Exk. 1). In: Exkursionsführer „Evolution von Erde und Mensch in ihren Wechselbeziehungen – Mensch, Geologie, Umwelt. Deutsche Ges. f. geol. Wiss., 20. Jahrestagung. Berlin 1973.
- DETTE, K.**
Geologische Schlußfolgerungen und wirtschaftliche Bedeutung der in Erdeborn durchgeführten Untersuchungen. Freib. Forsch. H., C 45, 1958, S. 40...44.
- FANTASNY, D.; K. BRENDEL**
Rezente Erdfälle im Bezirk Halle im Zeitraum 1960...1970 und ihre ingenieurgeologische Bedeutung. Ber. deutsch. Ges. f. geol. Wiss., R. A, 17, 1972, S. 277...288
- JUNG, W.; M. SPILKER**
Über ein bemerkenswertes Tiefenkarstvorkommen. Zschr. f. angew. Geol., 18, 1972, S. 646...649.
- KAMMERER, F.**
Neigungsmessungen in Erdeborn. Freib. Forsch.-H., C 45, 1958, S. 15...27.
–: Ein neuer Erdfall bei Rollsdorf im Kreis Eisleben. Hall. Jb. f. Mitteldeutsche Erdgeschichte, 4, 1962, S. 82...89.
–: Ingenieurgeologische Methoden in Erdfall- und Senkungsgebieten, Freib. Forsch.-H., C 127, 1962, S. 49...107.
- KAMMHOLZ, H.**
Ingenieurgeologische Situationskarte der Mansfelder Mulde im Maßstab 1:50 000 mit Erläuterungen. Zentrales Geologisches Institut, Berlin 1964.
- LORENZ, S.**
Wassereintritte im Mansfelder Kupferschieferbergbau. Zschr. f. angew. Geol., 8, 1962, S. 310...316.
- MEIER, G.**
Ingenieurgeologische Spezialkartierung von Auslaugungserscheinungen im Rollsdorfer Senkungskessel einschließlich der Teufelsspitze (Mansfelder Mulde). Meldearbeit (unveröffentlicht) der Bergakademie Freiberg 1970.
- MEISSER, O.; H.-G. THON**
Einige Ergebnisse über Senkungsmessungen in Auslaugungsgebieten. Ber. deutsche Ges. f. geol. Wiss., R. A, 11, 1962, S. 305...318.
- MEISSER, O.; MILITZER, H. u. H.-G. THON**
Ein Versuch zum Nachweis oberflächennaher Hohlräume unter einer Straße. Jb. Geol., 1, 1967, S. 451 bis 479.
- MÜCKE, E.**
Formen der Salzauslaugung am Nordrand des Süßen Sees. Arch. Naturschutz und Landschaftsforschung, 1, 1961, 1.
- REUTER, F.**
Zur Klassifizierung von Karsterscheinungen für ingenieurgeologische Zwecke. Zschr. f. angew. Geol., 9, 1963, S. 25...27.
–: Ingenieurgeologische Beurteilung und Klassifikation von Auslaugungserscheinungen. Hinweise für das Bauen in auslaugungsgefährdeten Gebieten. Freib. Forsch.-H., C 127, 1962, S. 5...47.
–: Geländesenkungen und Bauwerksschäden in Auslaugungsgebieten, Zschr. f. angew. Geol., 10, 1964, S. 143...147.
–: Die Auswertung von Luftbildern bei der Anfertigung von Ingenieurgeologischen Karten in Auslaugungsgebieten. Ber. deutsche Ges. f. geol. Wiss., R. A, 11, 1966, S. 289...294.
- REY, F.; SUDERLAU, G. u. R. STOLL**
Möglichkeiten zum Nachweis von Zerrspalten in Senkungsgebieten und ihre straßenbaupraktische Bedeutung. Zschr. Die Straße, 13, 1973, 4, S. 161...167.
- SCHULZ, W.**
Gutachten des Prof. W. Schulz zu Aachen in Sachsen des Kaufmannes C. W. Gelbke zu Eisleben, Markt 22, gegen die Mansfelder kupferschieferbauende Gewerkschaft zu Eisleben. Eisleben 1897.
- SPILKER, M.; H. SCHWARZKOPF**
Beispiele für Subrosionserscheinungen im Zechsteinaustrich am südöstlichen Harzrand. Exkursionsführer der Tagung der GGW der DDR am 27. und 28. 5. 1971 in Halle. Berlin 1971.
- STORBEB**
Die Häuserzerstörungen in Eisleben (nach Verlauf, Umfang und Ursachen und die Stellungnahme der Behörden zu denselben). Halle 1897.
- SUDERLAU, G.**
Neue Aspekte der Senkungsbeobachtungen. Zschr. Neue Bergbautechnik, 1, 1971, S. 258...263.
- SUDERLAU, G., u. a.**
15 Jahre Senkungsmessungen in der Mansfelder Mulde und ihre Bedeutung für den vorbeugenden Katastrophenschutz. Zschr. f. angew. Geol., 18, 1972, S. 262...273.
- THOMAS, A.**
Lageveränderungen und Deformationen von Bauwerken in Auslaugungsgebieten. Zschr. f. angew. Geol., 10, 1964, S. 306...312.
–: Ermittlung und Auswertung der Neigungsvektoren von Bauwerken in Karstsenkungsgebieten. Zschr. f. angew. Geol., 10, 1964, S. 667...670.