

Wenn der Boden einbricht – Erdfälle in Schleswig-Holstein

- > **Reinhard Kirsch**
- > **Thomas Liebsch-Dörschner**
- > **Horst Weinhold**

Was ist ein Erdfall?

Als Erdfälle werden rundliche oder auch längliche Einbruchssenken der Erdoberfläche bezeichnet. Sie entstehen infolge unterirdischer Auslaugung (Subrosion) von wasserlöslichen Gesteinen wie Salz, Kalkstein, Kreide oder Gips (Abbildung 1). Es gibt zapfenförmige, kugelige, spaltenartige, breitflächige Höhlungen sowie Tunnel und Röhren oder auch miteinander verbundene Hohlraum-Systeme, die sowohl mit Wasser als auch mehr oder weniger mit eingeschwemmtem Material gefüllt sind. Diese Bildungen werden allgemein zu den weltweit verbreiteten Karsterscheinungen gezählt.

Grundwasser spielt bei subrosiven Vorgängen eine dominierende Rolle. Durch Lösungsvorgänge werden an bestehenden Klüften oder Schichtfugen Hohlräume neu geschaffen und/oder erweitert. Je nach Beschaffenheit des Grundwassers, insbesondere je mehr Säureanteil im Wasser enthalten ist, desto intensiver sind die Lösungsvorgänge. Die Ausdehnung und Form der Hohlräume ist darüber hinaus von weiteren Faktoren wie Zusammensetzung und Festigkeit des Materials (nahezu senkrechte Schlote im Festgestein, mehr oder weniger flache Mulden bei lockerem Material) abhängig.

Je nach Mächtigkeit und Stabilität der Hohlraumdecke kommt es bei fortschreitender Auslaugung zu einem von unten beginnenden und sich nach oben fortsetzenden Einsturz. Das überlagernde Material sackt nach und es bildet sich ein Erdfall-Trichter. Die Ausdehnung des Erdfalles ist abhängig von der Größe des Einsturzloches.

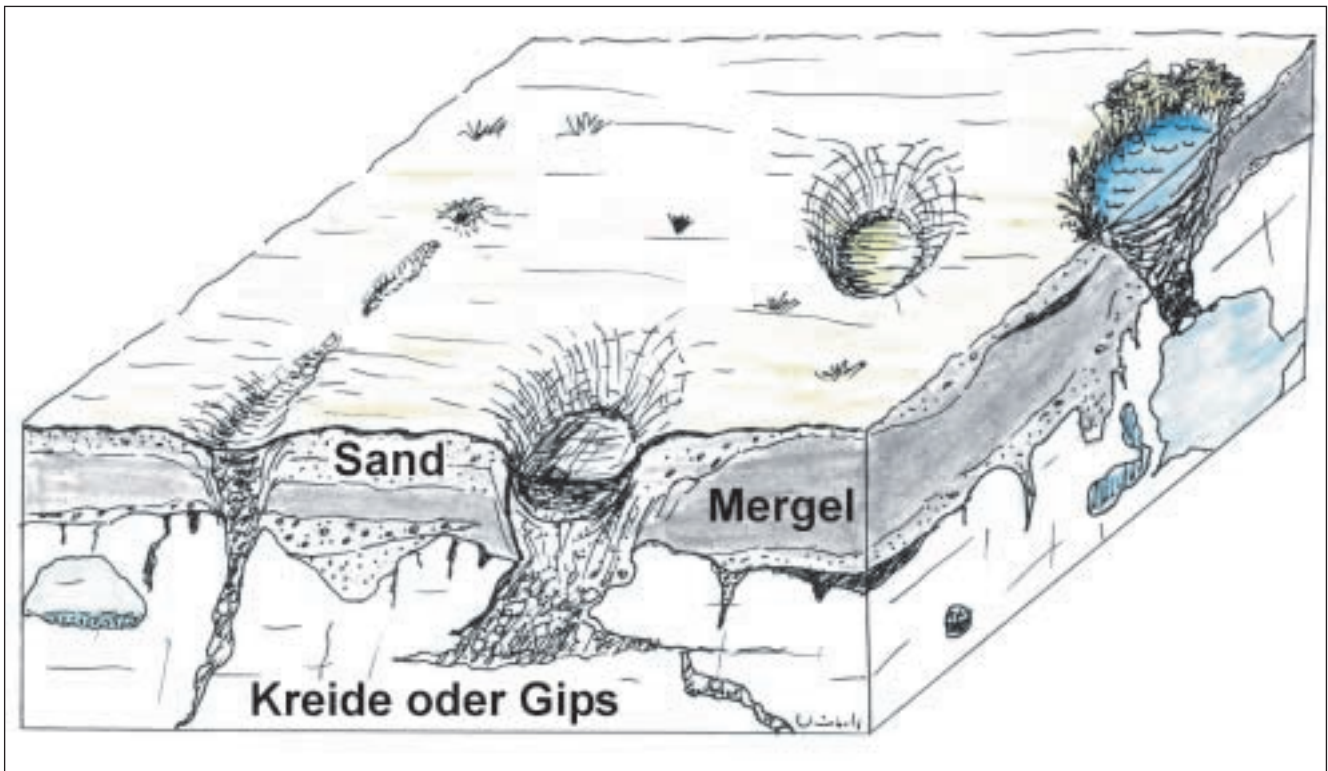


Abbildung 1: Schematische Darstellung zur Erdfall-Entstehung: Hohlformbildungen in den Kreideschichten und an der Erdoberfläche

An welcher Stelle es in einer Erdfallgegend zu einem Einsturz kommt und wann, ist nicht vorherzusagen. Die sehr unebene Obergrenze der auslaugbaren Sedimente ist wegen der Mächtigkeit des überlagernden Materials durch Schürfe oder Bohrungen kleinflächig nicht genauer zu ermitteln. Von der Untersuchung einer Einsenkung an der Geländeoberfläche können in keinem Fall Rückschlüsse auf Größe und Gestalt eines möglichen darunter liegenden Hohlraumes gezogen werden. Allerdings können durch geophysikalische Erkundungen zusätzliche Informationen über den

Aufbau des Untergrundes gewonnen werden, wenn auch keine genauen Aussagen über die Erdfallwahrscheinlichkeit möglich sind.

Subrosion in Schleswig-Holstein

Wasserlösliche Gesteine wie Gips oder Kalk sind in Schleswig-Holstein im Allgemeinen von mächtigen quartären und tertiären Sand-, Mergel- und Tonlagen bedeckt. Im Bereich von Salzstöcken jedoch können diese Gesteine bis in die Nähe der Erdoberfläche aufgeschoben worden sein (Abbildung 2).

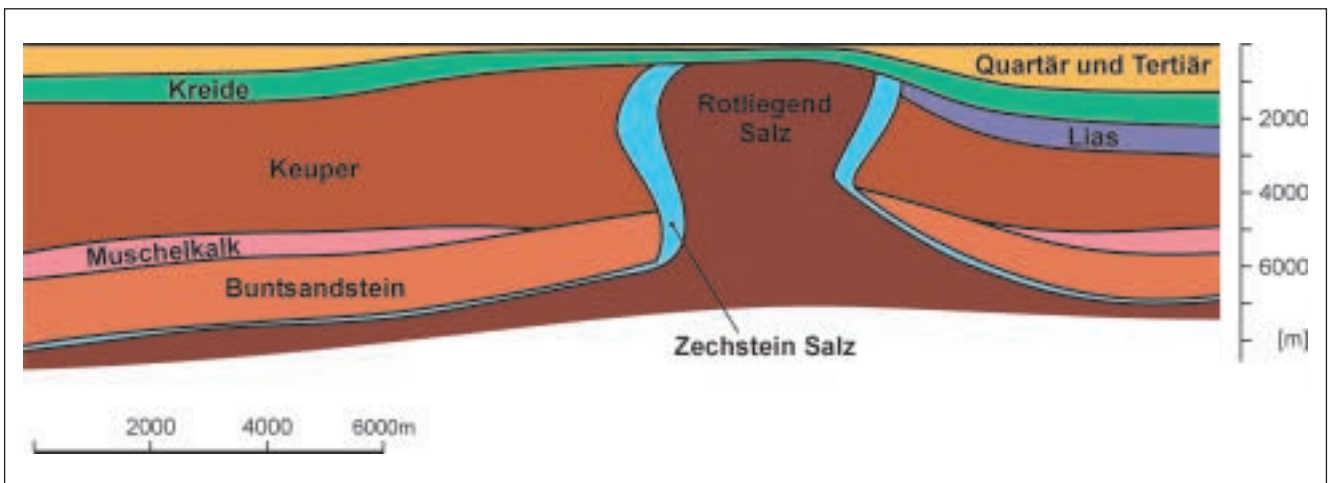


Abbildung 2: Schematischer Schnitt durch den Salzstock Lägerdorf, die Kreideschichten sind im Bereich des Salzstocks in die Nähe der Erdoberfläche aufgeschleppt worden

In Schleswig-Holstein werden Erdfälle auf der Münsterdorfer Geestinsel bei Itzehoe, im Bereich Elmshorn – Quickborn und bei Bad Segeberg angetroffen. Nennenswert wegen der

landschaftlichen Schönheit sind vor allem die wassererfüllten Erdfälle "Prophetensee" bei Quickborn und ein namenloser nördlich von Elmshorn (Abbildung 3).



Abbildung 3: Erdfall am Nordrand von Elmshorn. Kreisförmiger Einsturz von ca. 50 m Durchmesser, in zunehmender Verlandung begriffen und mit bis zu 8 Meter mächtigen Torflagen über Geschiebelehm gefüllt. (Foto: H. Weinhold)

Die Besonderheit der Lokation Bad Segeberg besteht darin, dass der mitten in der Stadt gelegene aus den Sulfatgesteinen Gips und Anhydrid bestehende Gipfel des Salzstocks, der Segeberger "Kalkberg", etwa 40 Meter über das umgebende Gelände aufgestiegen ist und eine der Öffentlichkeit zugängliche Auslau-

gungs-Höhle in sich birgt (Abbildung 4). Weitere zum Salzstock gehörende Gipshärtlinge ragen bei Stipsdorf (Abbildung 5) und am Kaggelsberg bis wenige Meter unter die Geländeoberfläche empor und sind ebenfalls wie der "Kalkberg" von Kränzen aus Erdfällen umgeben.

Abbildung 4:
Auslaugungsspuren
("Treckerspuren")
in der Segeberger
Gipshöhle. (Foto: R.
Schmidt)



Abbildung 5:
Erdfall bei Stipsdorf
östlich Bad Sege-
berg. Bis etwa 20
Meter langer ovaler
Einsturz, mit Feld-
steinen und ande-
rem Material ver-
füllt. (Foto: H.
Weinhold)



Aktuell - Münsterdorf

Im September 2004 entstanden am südlichen Ortsrand von Münsterdorf gleichzeitig drei hintereinander gereihete Löcher von etwa zwei Metern Tiefe und bis zu drei Metern Durchmesser (Abbildung 6). Im Bereich Münsterdorf-Lägerdorf, der so genannten Münsterdorfer Geestinsel, sind an verschiedenen Stellen Erdfälle entstanden. Der größte und eindrucksvollste Erdfall befindet sich im Forst zwischen Münsterdorf und Nordoe. Es ist die "Knickenkuhle" mit 70 Meter im Durchmesser und etwa 14 Meter tiefer Einsenkung. Das Ereignis eines Einsturzes, der sich 1780 bei Oelixdorf östlich von Itzehoe ereignete, wurde auch in der Literatur beschrieben.

Das Münsterdorfer Gebiet befindet sich auf dem Salzstock von Krempe - Lägerdorf, dessen oberster Bereich aus mächtigen Kreideschichten besteht, die im Verlauf von Millionen von Jahren bis in die Gegenwart fortdauernd aus mehreren Kilometern Tiefe emporgedrückt wurden. Ursache der Hebungsbewegung sind mächtige Salzablagerungen, die durch den gewaltigen Druck der überlagernden Gesteinsschichten plastisch reagierten und aufsteigend das Deckgebirge durchbrachen (Salztektonik). Dabei wurden im Kontaktbereich andere Schichten aufgebogen und mit in die Höhe geschleppt. In der Gegend um Münsterdorf wurden bei Bohrungen die den Kopf des Salzstocks bildenden Kreideschichten in 20 - 40 Meter Tiefe erschlossen. Überdeckt werden sie von Geschiebemergel und Schmelzwassersanden, das heißt Ablagerungen vor allem der vorletzten Vereisung, der Saale-Eiszeit. Außerdem entstanden überdeckende Dünenfelder, die von Flugsanden

spät- bis nacheiszeitlichen Alters aufgeweht wurden. In kleinen Geländevertiefungen sind häufig zwischeneiszeitlich (vor etwa 130.000 bis 115.000 Jahren) entstandene Eemtorfe anzutreffen. Die Entstehung der bis zu mehreren Zehner Metern Durchmesser erreichenden Erdfälle reicht bis zum Ende der Saale-Eiszeit (vor etwa 130.000 Jahren) zurück und dauert bis in die Gegenwart fort.

Die Vielfalt der Erdfälle wird offenbar, wenn Aufschlüsse vorhanden sind, zum Beispiel in den in der Nähe befindlichen, bis zu 100 Meter tief reichenden Abbau-Wänden der Kreidegruben bei Münsterdorf und Lägerdorf. Die Erdfälle auslösenden Hohlraumbildungen befinden sich ausschließlich in den unterlagernden carbonathaltigen Kreideschichten und in unterschiedlicher Tiefe (Abbildung 7). Der tiefste erbohrte Hohlraum liegt in 80 Meter Tiefe bei großem nicht näher erfassbarem Volumen. In Abhängigkeit von Beschaffenheit, Zusammensetzung und Struktur (zum Beispiel Porosität, chemischer Bestand, Klüftung/Lagerung) des Lösungsgesteins werden die verschiedenartigsten Hohlraumformen gebildet.

Die im Münsterdorfer Bereich an der Geländeoberfläche anzutreffenden zusätzlichen Mulden mit rundlichem Umriss sind anderen Ursprungs. Es handelt sich um Dünentäler oder Hohlformen, deren Entstehung, abgesehen von künstlichen Abgrabungen, auf normale das Landschaftsrelief gestaltende klima- und witterungsbedingte Prozesse zurückzuführen sind. Hervorzuheben ist, dass die wenigsten dieser verbreitet in der Region vorhandenen, meist vermoorten Senken Erdfälle sind.



Abbildung 6:
Erdfall bei Münsterdorf. Wahrscheinlich an eine Spalte im Festgestein (Kreide) gebunden und mit Einsturzmateriale gefüllt. Zollstock = 2 Meter. (Foto: A. Iwanoff)

Abbildung 7:
Hohlräume im
Kreideabbau bei Lägerdorf. (Foto: H.
Weinhold)



Geophysikalische Erkundung von Erdfällen

Erdfälle zeichnen sich nicht nur als Hohlräume an der Oberfläche, sondern auch als Einbruchstrukturen an der Oberkante des ausgelaugten Gesteins, hier der Kreide, ab. Durch geophysikalische Verfahren, die eine Kartierung der Kreideoberkante ermöglichen, sollten sich also auch ehemalige Erdfälle nachweisen lassen, die an der Oberfläche bereits seit langem verfüllt sein können. Ein Nachweis ehemaliger Erdfälle ist wichtig zur Beurteilung der Standsicherheit des Untergrunds und zur Abschätzung des Georisikos.

„Klassische“ geophysikalische Erkundungsverfahren hierfür sind Bodenradar und geoelektrische Kartierung. Diese Verfahren sind bei den geologischen Verhältnissen in Schleswig-Holstein aufgrund der im Allgemeinen mächtigen und zum Teil elektrisch gut leitfähigen Deckschichten zur Kartierung von Erdfällen nicht anwendbar. Anwendbar, aber aufwändiger, ist eine reflexionsseismische Erkundung.

Reflexionsseismik

Die Reflexionsseismik wurde ursprünglich für die Erdölprospektion entwickelt, sie wird in zu-

nehmendem Maße aber auch für die Erkundung flacher Untergrundstrukturen eingesetzt. Das Prinzip ist in Abbildung 8 gezeigt. Eine seismische Energiequelle (z.B. Fallgewicht, Sprengstoff oder eine Schussapparatur) erzeugt Erschütterungswellen, die sich im Untergrund ähnlich wie Schallwellen ausbreiten. An Schichtgrenzen im Untergrund wie zum Beispiel der Kreideoberkante wird ein Teil der Wellenenergie reflektiert und gelangt an die Erdoberfläche zurück. Die für uns höchstens in der Nähe der seismischen Quelle spürbare Erschütterung des Erdbodens wird von Geophonen registriert. Dabei werden auch die reflektierten seismischen Wellen erfasst. Die Aufzeichnung einer seismischen Messung wird als Seismogramm bezeichnet. In einem Seismogramm ist für jedes Geophon die gemessene Bodenbewegung für den Registrierzeitraum dargestellt. In unserem Fall wird über 400 Millisekunden registriert, beginnend mit dem Auslösen der seismischen Welle. Die seismische Quelle wird entlang der Geophonauslage versetzt, es erfolgt eine Vielzahl von Messungen mit jeweils veränderter Quellposition. Sämtliche so gewonnenen Seismogramme werden, nach entsprechender digitaler Bearbeitung, zu einer seismischen Sektion zusammengefasst.

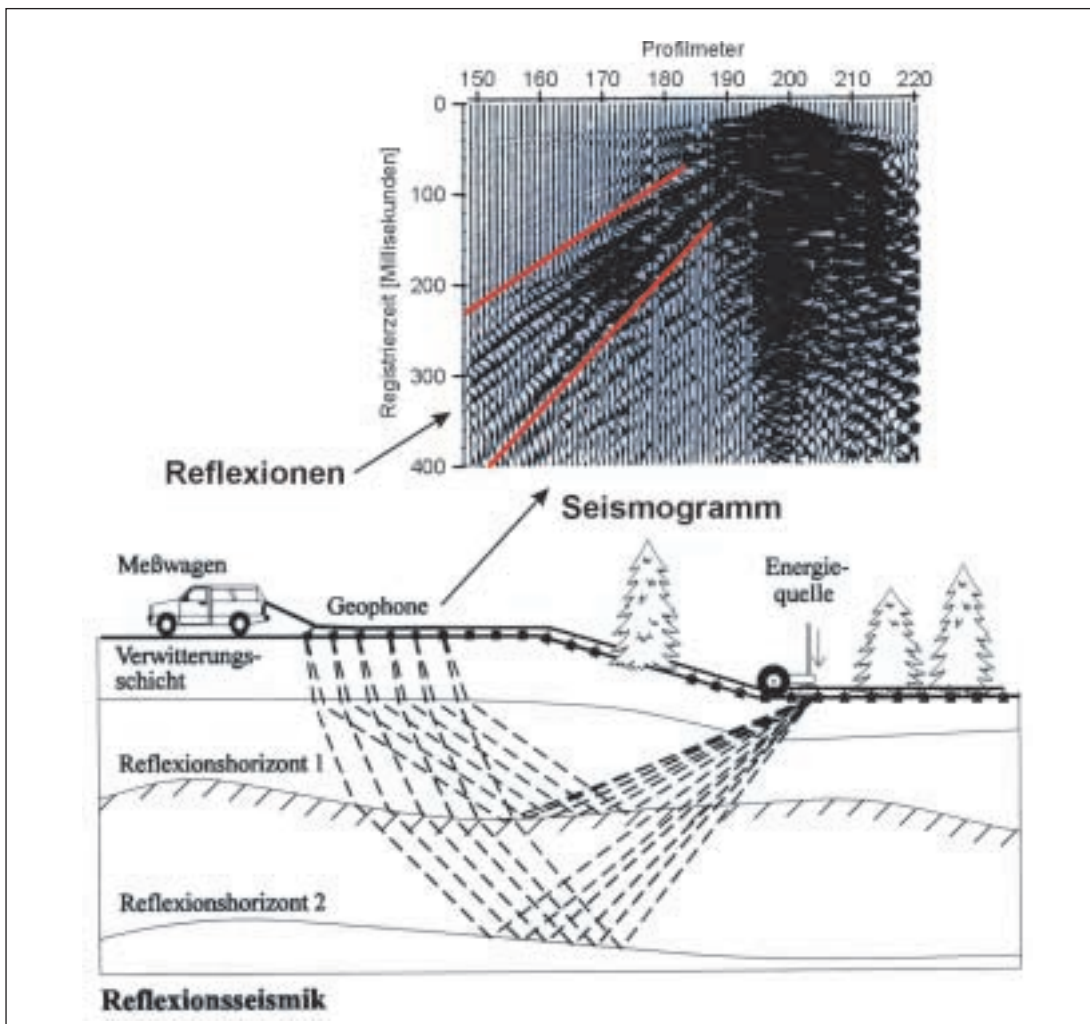


Abbildung 8:
Prinzip reflexions-
seismischer Mes-
sungen

Reflexionsseismische Messungen in Münsterdorf

Im Dezember 2004 wurden im Bereich des Münsterdorfer Erdfalls seismische Messungen von der Firma GeoFact (Bonn) unter Leitung des LANU durchgeführt. Die Vermessung erfolgte auf Profilen von jeweils etwa 220 Metern Länge. Als seismische Quelle wurde ein

leicht transportierbares Fallgewicht eingesetzt (Abbildung 9a). Die Geophonauslage führte teilweise über einen Tennisplatz. Hier wurde, um den Platz nicht zu beschädigen, auf die sonst übliche Ankopplung der Geophone an den Untergrund durch kurze Erdspieße verzichtet (Abbildung 9b).

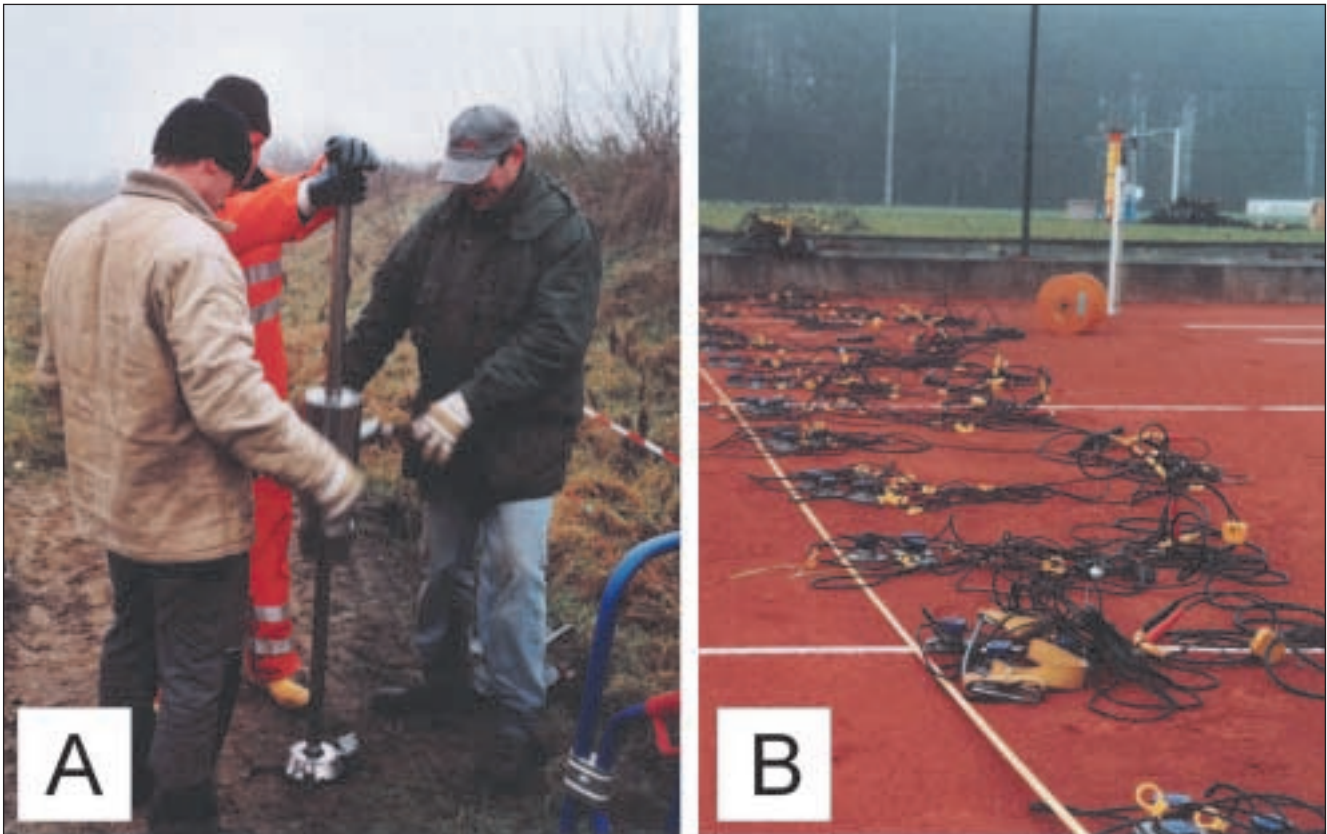


Abbildung 9: Seismische Messungen in Münsterdorf: A) seismische Energiequelle im Einsatz, das von einem Rohr geführte Fallgewicht wiegt 50 kg, B) Geophonauslage auf dem Tennisplatz. (Fotos: R. Kirsch)

Ein Beispiel einer hier gemessenen seismischen Sektion ist in Abbildung 10 gezeigt. Dargestellt ist der Tiefenverlauf von Reflexionseinsätzen entlang des seismischen Profils. Die Kreideoberkante zeichnet sich als Reflexionshorizont in ca. 20 m Tiefe ab, der leicht nach Osten hin einfällt. Deutlich erkennbar ist eine

etwa 30 m breite Lücke im Reflexionshorizont, die auf einen Einbruch der Kreideoberkante hindeutet. Dieser Einbruch wird vermutlich zu einem Erdfall geführt haben, von dem an der Erdoberfläche keine Hinweise mehr zu finden sind.

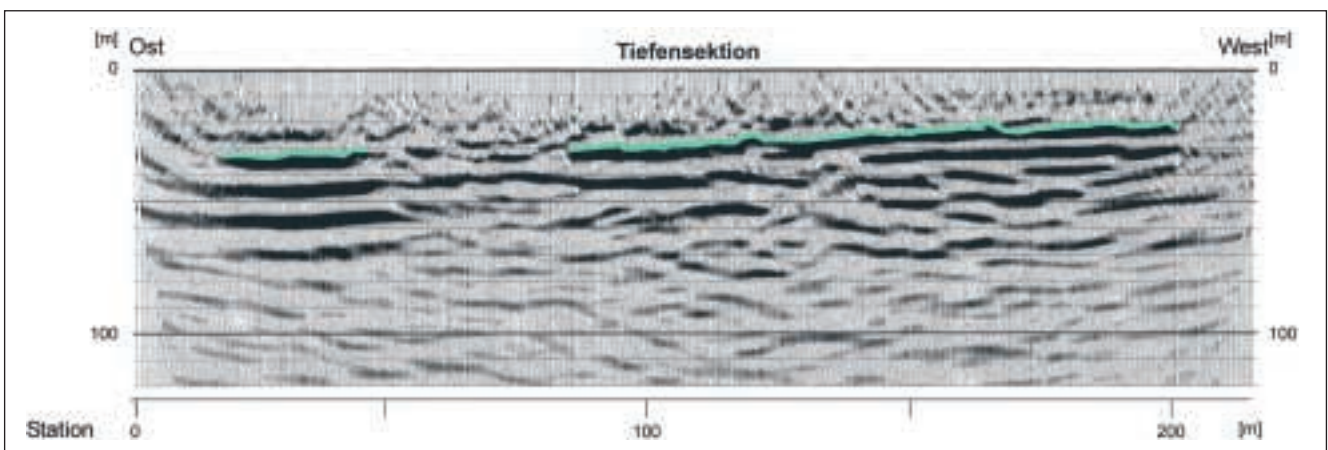


Abbildung 10: Seismische Sektion, die Reflexionseinsätze der Kreideoberkante sind grün gekennzeichnet. Die Lücke in den Reflexionseinsätzen deutet auf einen Erdfall hin.

Insgesamt wurden bei den seismischen Messungen neben dem bekannten Erdfall Hinweise auf zwei weitere Erdfälle gefunden. Wann diese Erdfälle stattgefunden haben, kann aus den seismischen Messungen nicht abgeleitet werden. Es ist ebenfalls unklar, ob im Bereich der nachgewiesenen Erdfälle weitere Auslaugungen mit der Möglichkeit eines Einsturzes stattfinden können. Trotzdem lässt sich aus den Messungen ableiten, dass es sich bei dem Erdfall vom September 2004 nicht um ein Einzelereignis gehandelt hat.

Ein Risiko für die Flächennutzung?

Erdfallereignisse stellen dann ein Problem dar, wenn sie plötzlich und in der Nähe von Wohngebieten oder sonstigen Infrastruktureinrichtungen auftreten. Deshalb kommt der vorsorgenden Planung eine wichtige Rolle beim Bauen in erdfallgefährdeten Gebieten zu. Erdfälle können Schäden an Bauwerken verursachen. Die Größe des Schadens richtet sich dabei nach der Größe und der Lage des Erdfalls. Da eine Aussage zur Eintrittswahrscheinlichkeit eines Erdfalls nicht möglich ist, basieren die gängigen Sicherheitskonzepte auf der Erfassung und Dokumentation von Häufigkeit und Alter von Erdfällen.

Entsprechend dem Aufbau des Untergrundes werden folgende Gefährdungskategorien gebildet:

- Klasse 0: keine auslaugbaren Gesteine im Untergrund
- Klasse 1: auslaugbare Gesteine in großer Tiefe
- Klasse 2: auslaugbare Gesteine oberflächennah (potenzielle Erdfallgefährdung)

Im Gegensatz zu anderen Gebieten in Deutschland reduziert sich in Schleswig-Holstein der Anteil an Gebieten mit der Klasse 2 auf unter 5 % der gesamten Landesfläche. Innerhalb der Klasse 2 ist zwischen Gebieten mit Karbonat- (Kalk, Kreide) und Sulfat-Gesteinen (Gips, Anhydrit) zu unterscheiden, da eine Auslaugung bei Sulfatgesteinen wesentlich schneller erfolgen kann. Zusätzlich können auf Grund der Häufigkeit von bereits vorhandenen Erdfällen im Bezug zur Entfernung zum Plangebiet weitere Unterkategorien gebildet werden.

Das LANU arbeitet mittelfristig an einer Erfassung der unterirdischen Auslaugungen - einem **Subrosionskataster** - mit entsprechender Flächendarstellung. Dieses Kataster dient der

Beratung der Gemeinden bei der Aufstellung von Flächennutzungs- und Bebauungsplänen zur Abschätzung der Erdfallwahrscheinlichkeit. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Quantität und Qualität des Katasters in Abhängigkeit der erfassten Erdfälle steht. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass in der Vergangenheit kleinere Erdfälle, zum Beispiel in Waldgebieten, nicht bemerkt oder durch die jeweiligen Grundstücksbesitzer verfüllt worden sind und nicht gemeldet wurden. Eine Erschwernis bei der Risikobeurteilung stellt die Abschätzung des Alters der vorhandenen Erdfälle dar. Wird den meisten lokalisierten Erdfällen ein hohes Alter zugewiesen, so deutet beispielsweise der akute Erdfall in der Gemeinde Münsterdorf (Subrosion in Karbonatgesteinen) auf fortwährende unterirdische Auslaugungsprozesse hin.

Die Möglichkeit von Subrosionsprozessen im Untergrund zwingt zu erhöhter Aufmerksamkeit und Berücksichtigung bei der Aufstellung von Flächennutzungs- und Bebauungsplänen der Kommunen. Im Vorwege sollte bei entsprechenden Vorhaben eine Erkundung des Baugrundes durchgeführt werden. Eine Erkundung stößt aber schnell an ihre Grenzen, denn mittels geologischer oder geophysikalischer Methodik können in der Regel keine Aussagen zur Eintrittswahrscheinlichkeit von Erdfällen getroffen werden. In diesem Zusammenhang ist eine Forderung nach Maßnahmen zur Baugrundverbesserung häufig nicht umsetzbar, da bei Tiefenlagen von 10 bis 20 Metern der auslaugbaren Gesteine eine Maßnahme unwirtschaftlich wird. Lediglich in sehr oberflächennahen Bereichen um 5 Meter Tiefe können derartige Maßnahmen greifen. Allerdings bringen diese Maßnahmen insbesondere bei Sulfatgesteinen nur vorübergehende Sicherheit.

Vor diesem Hintergrund wird in der Regel eher eine direkte vorbeugende Teilsicherung der Bauwerke umgesetzt. Hierzu bieten sich flächenhafte Bewehrungselemente oder statisch-konstruktive Maßnahmen an. Im Verkehrswegebau lassen sich beispielsweise flächenhaft Geogitter unter definierten Bedingungen einbauen. Hierbei nimmt das Geogitter bei eintretenden Erdfallereignissen die angreifenden Zugkräfte auf. An der Oberfläche entstehen gewisse Verformungen, die anschließend saniert werden können. Häufig wird in den Bruchbereichen zusätzlich eine Beschränkung für den Schwerlastverkehr ausgesprochen.

Für den Gebäudebau im Zuge von Neubaugebieten können vorbeugend statisch-konstruktive Anforderungen zur Sicherung getroffen werden. Im einfachsten Fall erfolgt die Gründung über ein bewehrtes Balkenrost oder über eine bewehrte Platte. Die Decken werden über Ringanker mit einer Bewehrung in Längs- und Querrichtung gesichert.

Insgesamt ist festzuhalten, dass in Folge von Subrosion im Untergrund und damit in Zusammenhang stehende Erdfallereignisse bisher in Schleswig-Holstein nicht zu besonderen Schäden geführt haben. Durch verantwortungsvolles Planen und Handeln kann das Risiko generell minimiert werden.

Summary

The underground of Schleswig-Holstein is dominated in certain regions by salt domes. Due to salt dome uplift, limestone or gypsum layers normally deep seated were uplifted too and now in a near surface position. This happened, e.g., in the Bad Segeberg area and in the region Lägerdorf-Münsterdorf. As this material is water-soluble, holes and caves can be formed under the influence of groundwater. A collapse of such a cave causes a sudden depression of the ground forming a sinkhole. Up to now, this event cannot be predicted.

Sinkholes can lead to hazards on buildings, roads, or pipelines. A sudden sinkhole event occurred in September 2004 in the village of Münsterdorf near Itzehoe resulting in an about 5 x 2 m wide and 2 m deep hole in the ground. By seismic mapping of the top limestone layer in the sinkhole surrounding relicts of former sinkholes were found. Time of origin of these additional sinkholes is unknown.

> Dr. Reinhard Kirsch

Dezernat 54 - Ingenieurgeologie; Rohstoffe; Geopotenziale des tieferen Untergrundes
Tel.: 0 43 47 / 704 – 534

rkirsch@lanu.landsh.de

> Dr. Thomas Liebsch-Dörschner

Dezernat 54 - Ingenieurgeologie; Rohstoffe; Geopotenziale des tieferen Untergrundes
Tel.: 0 43 47 / 704 – 559

tliebsch@lanu.landsh.de

> Dr. Horst Weinhold

Dezernat 51 - Geologie
Tel.: 0 43 47 / 704 – 543

hweinhol@lanu.landsh.de