

Donnerstag 15. Oktober 2015

15:00-15:30

Aktuelle Erdfälle in Thüringen – von der Erkundung bis zur Einrichtung von Frühwarn- und Beobachtungssystemen

Sven Schmidt, Lutz Katzschmann

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG), Jena

Einleitung

Neben der allgemeinen Erfassung und Registrierung von Erdfällen und -senken im Zuge einer flächendeckenden Raumanalyse durch das Subrosionskataster Thüringens sind mitunter belastbare Gefährdungsabschätzungen für geplante Verkehrsstrassen sowie konkrete, auf bebautem Gelände auftretende Ereignisse in Form von Erdfällen oder Senkungen unverzichtbar (SCHMIDT & WUNDERLICH 2011, 2014). Sie dienen der Abgrenzung eines Gefährdungsbereiches, etwa zum Schutz von Leben und Gesundheit von Personen, und erfordern weitergehende, oft sehr aufwendige und kostenintensive Untersuchungen. Verwertbare Aussagen über die genaue Tiefenlage und Mächtigkeit des Subrosionshorizontes sowie dessen Auslaugungszustand liegen für den Ort des Erdfalls meist nicht vor. Häufig lagern die auslaugungsfähigen Gesteine mehrere 10-er oder 100-er Meter tief im Untergrund und müssen erbohrt werden. Darüber hinaus schränkt der auf kurze Entfernung oft sehr wechselhafte Auslaugungsgrad die Flächenrepräsentanz von Bohrungen stark ein, so dass ergänzende geophysikalische Untersuchungen erforderlich sind. Tritt ein großer Erdfall in Siedlungsgebieten auf, sind eine Gefährdungsabschätzung und das Ausweisen von Gefährdungszonen oft unausweichlich. Nachdem in Thüringen seit 2009 mehrere große Erdfallereignisse für Aufsehen sorgten, erhielt die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) den Auftrag, sich intensiv mit den Möglichkeiten und Grenzen von geologischen und geophysikalischen Erkundungsmethoden von Subrosionsgebieten zu befassen und für ein Erdfallfrühwarnsystem geeignete Überwachungssysteme zu konzipieren und zu testen.

Untersuchung und Bewertung aktueller Subrosionsereignisse

Abhängig von klimatischen Faktoren, wie Niederschlagsmengen und Umfang der Schneeschmelze, werden der TLUG zwischen 10 und 30 neue Erdfälle jährlich gemeldet, wobei die Dunkelziffer deutlich höher liegen dürfte. Nur wenige dieser Erdfälle stellen aufgrund ihrer Größe, der Lage zur Bebauung und der lokalen geologischen Verhältnisse eine akute Gefährdung für Gebäude oder Verkehrswege dar.

Ein beredtes Beispiel für einen aktiven Erdfall mit akutem Gefährdungspotential ist der am 24. Februar 2002 erstmals aufgetretene Erdfall in der Ortslage Tiefenort (Wartburgkreis). Am 28. Januar 2010 ereignete sich nach 8 Jahren mehr oder weniger starker Aktivität in Form von sechs kleineren Nachbrüchen ein erneuter großer Nachbruch. Der vom Erdfall betroffene Bereich weitete sich so aus, dass fünf in unmittelbarer Nachbarschaft stehende Häuser evakuiert werden mussten. Ursache des Erdfalls ist letztlich die Ablaugung des Werra-Steinsalzes in ca. 200 m Tiefe. Da die Restmächtigkeit des Salzes bis

zu 200 m betragen kann, ist die tatsächliche Gefährdungssituation schwer einzuschätzen. Hierzu hat der Geologische Landesdienst der TLUG ein ingenieurgeologisches Erkundungs- und Sicherungskonzept erarbeitet und umgesetzt. Es kann prinzipiell methodisch an analoge Fälle angepasst werden.



Abb. 1: Der durch den Nachbruch am 28.01.2010 entstandene Erdfalltrichter liegt direkt neben einem Wohnhaus (links). Die dort Anfang November 2010 angesetzten Bohrarbeiten dienen der Erkundung und Errichtung eines Frühwarnsystems (rechts).

Zur Gewinnung verlässlicher Daten für die Abgrenzung eines gefährdeten Bereiches um den Erdfall wurde zunächst eine flächenhafte geophysikalische Strukturaufklärung betrieben. Da direkte geophysikalische Hohlräumnachweise in größeren Tiefen nur unter ungewöhnlich guten Voraussetzungen gelingen, andererseits Lösungshohlräume aber bevorzugt an tiefreichende Bruch- und Kluffstrukturen gebunden sind, ergeben sich aus der Kenntnis des Strukturmusters im Untergrund hinreichend genaue Indizien für potenzielle Gefährdungsbereiche. Dazu wurde eine komplexe 3D-Seismik angewandt, die derzeit modernste verfügbare seismische Methode, deren Auswertung einen wichtigen Beitrag zur Ausweisung von Gefährdungszonen lieferte (Abb. 6).



Abb. 2: Seismische Untersuchungen zur Aufklärung der Untergrundstrukturen im direkten Umfeld des Erdfalls im September 2010. Das linke Bild zeigt ein Spezialfahrzeug mit dem seismische Impulse erzeugt werden. Im rechten Bild ist eine Geophonkette zu sehen, mit der die aus dem Untergrund reflektierten Impulse registriert werden. Der Kieshaufen markiert die Lage des inzwischen verfüllten Erdfalltrichters

Die Erkundungsergebnisse der 3D-Seismik des Projektes GEIST bestätigten die für das Gebiet Tiefenort bisher von der TLUG gemachten Aussagen zu den geologischen Verhältnissen. Die Lage am Rand einer Auslaugungssenke und die kleinräumige Zerstückelung des Gebirges werden durch die Profile der Reflexionsseismik sehr deutlich belegt. Ebenso zeigen die Ergebnisse der 3D-Refraktionstomographie, wie tief die Auflockerungszonen, besonders im Bereich von Störungen und innerhalb der Tiefenorter Subrosionssenke, in den Untergrund hinabreichen. Es zeigte sich im Verlauf der Arbeiten in Tiefenort auch, dass ohne ein aus der 3D-Seismik errechnetes Raummodell die kleinräumigen geologischen Strukturen nicht auflösbar sind.

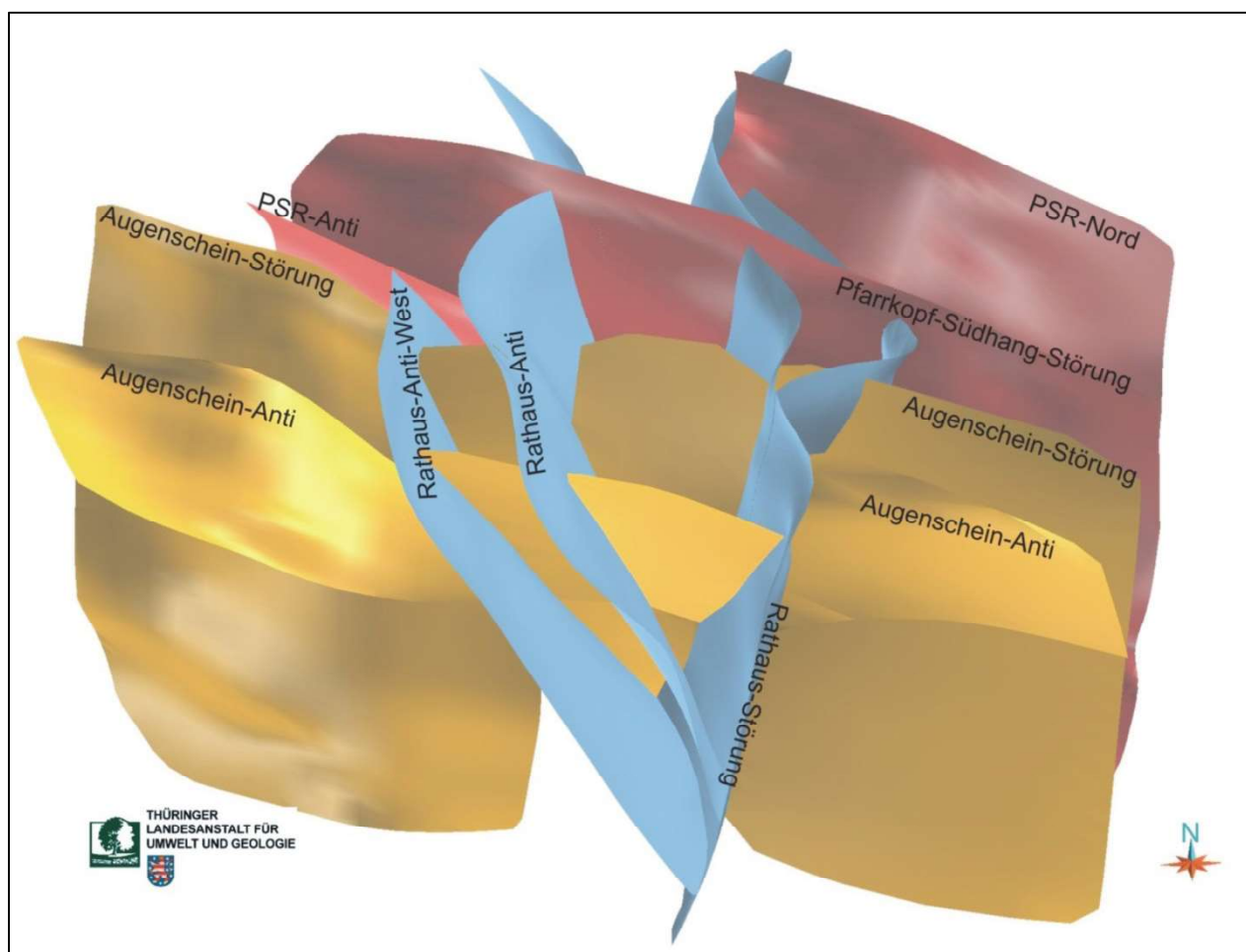


Abb. 3: 3D-Modell der von der DMT interpretierten Störungsflächen, die eine intensive Verschneidung und Vergitterung des Gebirges auf der nur ca. 1 km² großen Fläche des Messgebietes zeigen. Dargestellt sind nur die „Hauptstörungen“. Aus den hier nicht gezeigten geologischen Profilschnitten ist zu entnehmen, dass von einer viel stärkeren Zerteilung und Zerblockung des Deckgebirges durch Begleit- und großenteils atektonische (suprasalinare) Nebenstörungen ausgegangen werden muss.

Interpretation und Auswertung der geophysikalischen Messsignale wurden an einer Erkundungsbohrung geeicht, die bis unter die Oberfläche des Zechstein-Steinsalzes bis in 207 m Teufe geführt werden konnte.

Das Werra-Steinsalz, das in Tiefenort den Subrosionshorizont bildet, wurde in 180 m u. GOK erreicht, dabei wurde festgestellt, dass die oberen 60 m des Steinsalzes infolge Subrosion fehlen. Die Tiefenlage der Schichtgrenzen, Zertrennungs- und Auflockerungsgrad der Deckschichten sowie den Ablaugungsfortschritt des Subrosionshorizontes konnten mit der Bohrung ermittelt werden. Weiterhin wurden an Bohrkernproben die zur Interpretation benötigten geophysikalischen Gesteinseigenschaften bestimmt. Die Bohrung wurde im Bereich des Steinsalzes verfüllt und als Grundwassermessstelle für den Bereich oberhalb des Steinsalzes ausgebaut und mit einem Datenlogger versehen. In der Bohrung konnte ein Vertikales Seismisches Profil vermessen werden, das zur Verbesserung der Ergebnisse der 3D-Seismik beitrug.

Als Ergebnis der Erkundungsarbeiten in Tiefenort (SCHMIDT, S., WUNDERLICH, J., GELETNEKY, J. & STEINBORN, H. 2012) konnte das strukturelle Inventar der Subrosionssenke von Tiefenort genauer lokalisiert werden und die Subrosionsmechanismen am „Inneren Salzhang“ von Tiefenort aufgeklärt werden. Bei dem Erdfall handelt es sich um die Reaktivierung eines alten Senkungsgebietes über einer N-S verlaufende Spalte am Ostrand des Inneren Salzhangs der „Tiefenorter Subrosionssenke“. Die Gefährdungsanalyse führte zur Festlegung einer Sicherheitszone um den Erdfall, die möglichst frei von Wohnbebauung bleiben soll. Am Rand dieser Zone wurden die Frühwarnrichtungen platziert. Auf Bitten und Drängen der Bevölkerung wurde auch für das weitere Umfeld eine Gefährdungskarte (Abb. 4) für das Messgebiet der 3D-Seismik erstellt, die der Gemeinde für die zukünftige Raumplanung übergeben wurde.

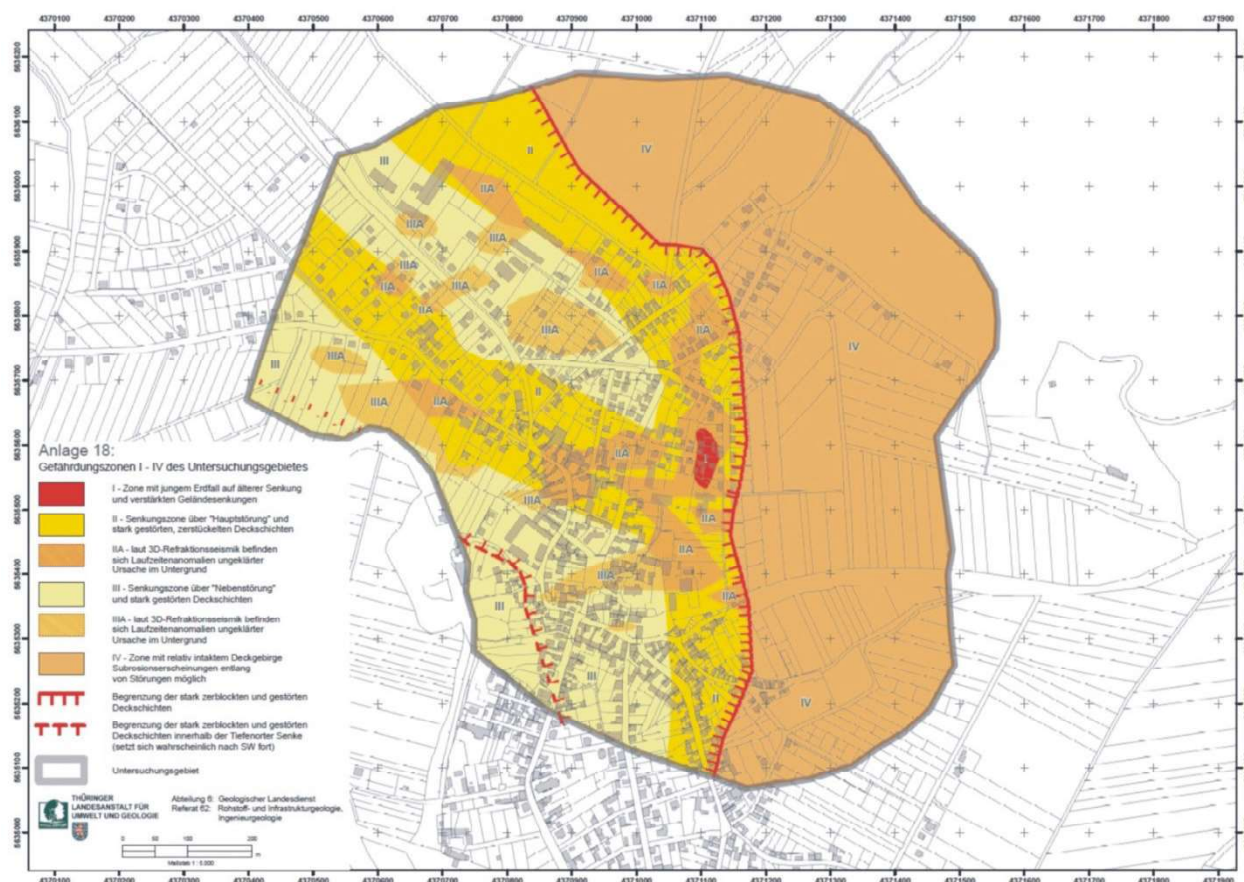


Abb. 4: Mit Hilfe des durch die 3D-Seismik ermittelten Strukturinventars konnte im Zuge der Ergebnisauswertung für das Umfeld des Erdfalls in Tiefenort eine Gefährdungskarte erstellt werden.

Als am 01. November 2010 in der Stadt Schmalkalden ein Erdfall mit 26 m Durchmesser inmitten eines Wohngebietes niederging (Abb. 5), ergab sich die Gelegenheit zur erneuten Anwendung und weiteren Modifizierung des ingenieurgeologischen Erkundungs- und Sicherungskonzeptes der TLUG. Hier kommen mehrere 10-er Meter mächtige Sulfatgesteinsschichten im Untergrund als Subrosionshorizont in Betracht. Die Erkundungsarbeiten zur Abschätzung des Gefährdungsgrades liefen parallel zu den Erstsicherungsarbeiten an. Die Ergebnisse der bis zu 150 m tiefen Bohrungen wurden analog Tiefenort durch geophysikalische Untersuchungen (Bohrlochgeophysik, Gravimetrie, 2D-Seismik) ergänzt, um den Gefährdungsbereich um den Erdfall räumlich einzugrenzen. 2011 wurde hier ebenfalls ein Frühwarnsystem eingerichtet (s. u.).

Nach Abschluss der Erkundungsphase wurde im Erkundungsbericht (SCHMIDT, S., WUNDERLICH, J. & PETERS, A. 2012) nach Auswertung aller vorliegenden Erkundungsergebnisse eine an die geologischen Standortbedingungen angepasste Gefährdungskarte angefertigt.



Abb. 5: Nach dem Erdfall in Schmalkalden am 01. November 2010 mussten 5 Häuser z. T. zeitweilig evakuiert werden (links). Im Umfeld des inzwischen mit Kies verfüllten Erdfalls wurden im Januar 2011 zur Ursachenermittlung 4 Kernbohrungen mit 2 Bohrgeräten in bis zu 150 m Tiefe gestoßen (rechts).

Neben diesen oft spektakulären Erdfällen sind jedoch auch mehr oder wenig kontinuierlich ablaufende Senkungen für viele Schäden an Bauwerken verantwortlich. Gewöhnlich verlaufen auslaugungsbedingte Senkungen aber sehr langsam, eher unspektakulär und erregen kaum die Aufmerksamkeit von Öffentlichkeit und Medien. Die Auswirkungen auf Bauwerke sind jedoch bisweilen nicht weniger katastrophal, wie das Beispiel eines Doppelhauses in Jena zeigt (Abb. 6). Die 20 m breite Auslaugungssenke über Sulfatgesteinen des Oberen Buntsandsteins, an deren Rand dieses Haus steht, erreicht im tiefsten Punkt nur 0,5 m Absenkung. Die resultierende Kippung und die Risse in Mauern und Decken sind jedoch so massiv, dass im Dezember 2009 die Räumung verfügt werden musste. Der bekannteste Fall für die Schrägstellung eines Gebäudes aufgrund auslaugungsbedingter Untergrundveränderungen in Thüringen ist jedoch nach wie vor der Kirchturm der ehemaligen Oberkirche in Bad Frankenhausen (Kyffhäuserkreis, Abb. 5). Aktiver Sulfatkarst im unmittelbaren Baugrund verstärkt die Kippung beständig, so dass mit einer Überschreitung der statischen Belastungsgrenze des Bauwerks in naher Zukunft zu rechnen ist. Zurzeit laufen Sicherungsarbeiten, die mit Hilfe einer nachjustierbaren Stützkonstruktion eine weitere Schrägstellung des Turmes verhindern sollen.



Abb. 6: Die langsame Auslaugung von Sulfatgesteinen führte in Jena zu einer, mit umfangreichen Rissen verbundenen Schrägstellung eines Gebäudes, so dass die örtlichen Baubehörden eine Räumung anordnen mussten (links). Die Neigung des schiefen Turms der Oberkirche in Bad Frankenhausen nimmt durch kontinuierliche Sulfat- und Steinsalzauflösung im Untergrund beständig zu und zeigt seit ca. 100 Jahren eine stetige dynamische Beschleunigung (rechts).

Aufgrund des Aufwands und der hohen Kosten sind solch umfangreiche Erkundungsmaßnahmen wie in Tiefenort oder Schmalkalden nur in Ausnahmefällen bei einer konkreten Gefährdung von Leben und Gesundheit möglich. Bei Straßenbaumaßnahmen oder Baugrunduntersuchung zur Auffindung potentieller Verbruchzonen ist eine Erkundung bis in solche Tiefen im Normalfall nicht denkbar. Gerade beim Bau von Verkehrswegen sehen sich Planer und Bauherr dem Dilemma gegenüber, dass eine alle Gefährdungen erfassende Baugrunderkundung aufgrund der großen Fläche oder Länge des Bauwerks nicht umsetzbar ist. Hier muss bei der Baugrunderkundung ein Kompromiss gefunden werden, der die Art und den Umfang der von Subrosionsprozessen ausgehenden Gefährdung berücksichtigt und zu einem Ergebnis führt, das die Belange der Verkehrssicherheit genauso berücksichtigt, wie die Wirtschaftlichkeit der Baumaßnahme. Häufig ist es nur möglich, durch eine Kombination von Geophysik (meist Geoelektrik) und konventionellen direkten Aufschlussmethoden den Untergrund soweit aufzuklären, dass alte, künstlich oder natürlich verfüllte Subrosionsformen erkannt und bei der Bauwerksplanung berücksichtigt werden können. Eine intensive Zusammenarbeit zwischen Ingenieurgeologen, Baugrundgutachtern und Bauherrn bei der Planung und Auswertung der Baugrunderkundung ist dabei sinnvoll. Ist eine Gefährdungssituation und der davon betroffene Bereich erst einmal hinreichend charakterisiert, gibt es genügend konstruktive und technische Möglichkeiten auf diese Gefährdungen bzw. Baugrundschwächen angemessen zu reagieren. Im Regelfall muss aber das Auftreten eines solchen, nicht vorhersehbaren und erkundbaren großen Erdfalls sowohl in Siedlungsgebieten als auch an Verkehrswegen als naturgegebenes, nicht beherrschbares Naturereignis hingenommen werden. Aufgrund der Seltenheit solcher Ereignisse ist die davon ausgehende Gefahr in der Fläche aber auch als eher gering einzuschätzen. Jedem Planer und Bauherrn müssen die Grenzen von Erkundungsmaßnahmen und technischen Sicherungsmaßnahmen klar sein. So ist es mit heutigen technischen Möglichkeiten unmöglich Hohlräume im Untergrund zuverlässig nach exakter Lage und Ausdehnung zu erkunden.

2. Konzeption von Frühwarn- und Beobachtungssystemen in Erdfallgebieten

Ein Erdfallfrühwarn-System kann eingesetzt werden, um das Umfeld eines Erdfall bei einer Ausweitung des Bruchgeschehens rechtzeitig sichern oder evakuieren zu können oder aber als Überwachungssystem sensibler Bauten in Erdfall- und Senkungsgebieten, um vor neu hochbrechenden Erdfällen zu warnen. Grundgerüst der Erdfall Frühwarn- und Beobachtungssysteme sind meist in der Praxis bewährte Erdfallpegel. Die von der TLUG errichteten Systeme in Tiefenort und Schmalkalden dienen der Sicherung der angrenzenden Wohnbebauung neben einem neu aufgetretenen Erdfall. Zu diesem Zweck wurden sie zwischen Erdfall und Gebäuden installiert, weitet sich der Erdfall Richtung der Gebäude aus, wird der Erdfallpegel ausgelöst und die Bewohner durch optische und akustische Warneinrichtungen alarmiert.

Da es in Tiefenort seit der Entstehung des Erdfalls im Februar 2002 immer wieder zu Nachbrüchen kam, war es notwendig die Bewohner der anschließenden Gebäude durch ein Frühwarnsystem bei einer weiteren Ausweitung des Erdfalls automatisch warnen zu können. Als Frühwarn- und Beobachtungssystem vor zukünftigen Nachbrüchen wurden, bezogen auf die potenziell gefährdeten Gebäude, fünf speziell modifizierte Erdfallpegel in jeweils 50 m Tiefe installiert. Diese Erdfallpegel sind mit Sirenen und Rundumleuchten gekoppelt, um bei einer Aktivierung die Anwohner zu warnen (Abb. 7 u. 8). Da im Vorfeld der Nachbrüche immer von Erschütterungen und Geräusche aus dem Untergrund berichtet wurde, ergänzen vier weitere, ebenfalls in 50 m tiefen Bohrlöchern eingebaute Erschütterungsmessstellen, die mit Dreibegegeophonen bestückt wurden das Überwachungssystem (Abb. 7 u. 8). Da die aufgetretene Häufigkeit von Nachbrüchen in kurzer Zeit für Erdfälle eher selten ist, wurden zusätzlich noch drei Dreifach-Extensometer mit max. 50 m Tiefe installiert, um so auch weitere geotechnische Messeinrichtungen auf ihre Eignung bei der Überwachung des Umfeld von Erdfällen zu prüfen. Neben diesen permanent laufenden Messeinrichtungen wurde von der TLUG auch noch ein Senkungsmessnetz im Umfeld des Erdfalls eingerichtet, das in regelmäßigen Abständen periodisch vermessen und ausgewertet wird. Das aufwendigere Frühwarn- und Beobachtungssystem in Tiefenort ist so konzipiert, dass es alle in den 8 Jahren bis zum Nachbruch 2010 beobachteten Ereignisse, also Senkungen, Erschütterungen und Geräusche berücksichtigen und erfassen sollte. Hierzu wurden Erdfallpegel, Geophone, Extensometer, Mikrophone und eine Kamera um den Erdfall angeordnet. Außerdem wurden zwei Grundwassermessstellen und ein Senkungsmessnetz errichtet. In Schmalkalden kommen Erdfallpegel, Geophone und eine Kamera zum Einsatz. Es existieren eine Grundwassermessstelle und ein Senkungsmessnetz.

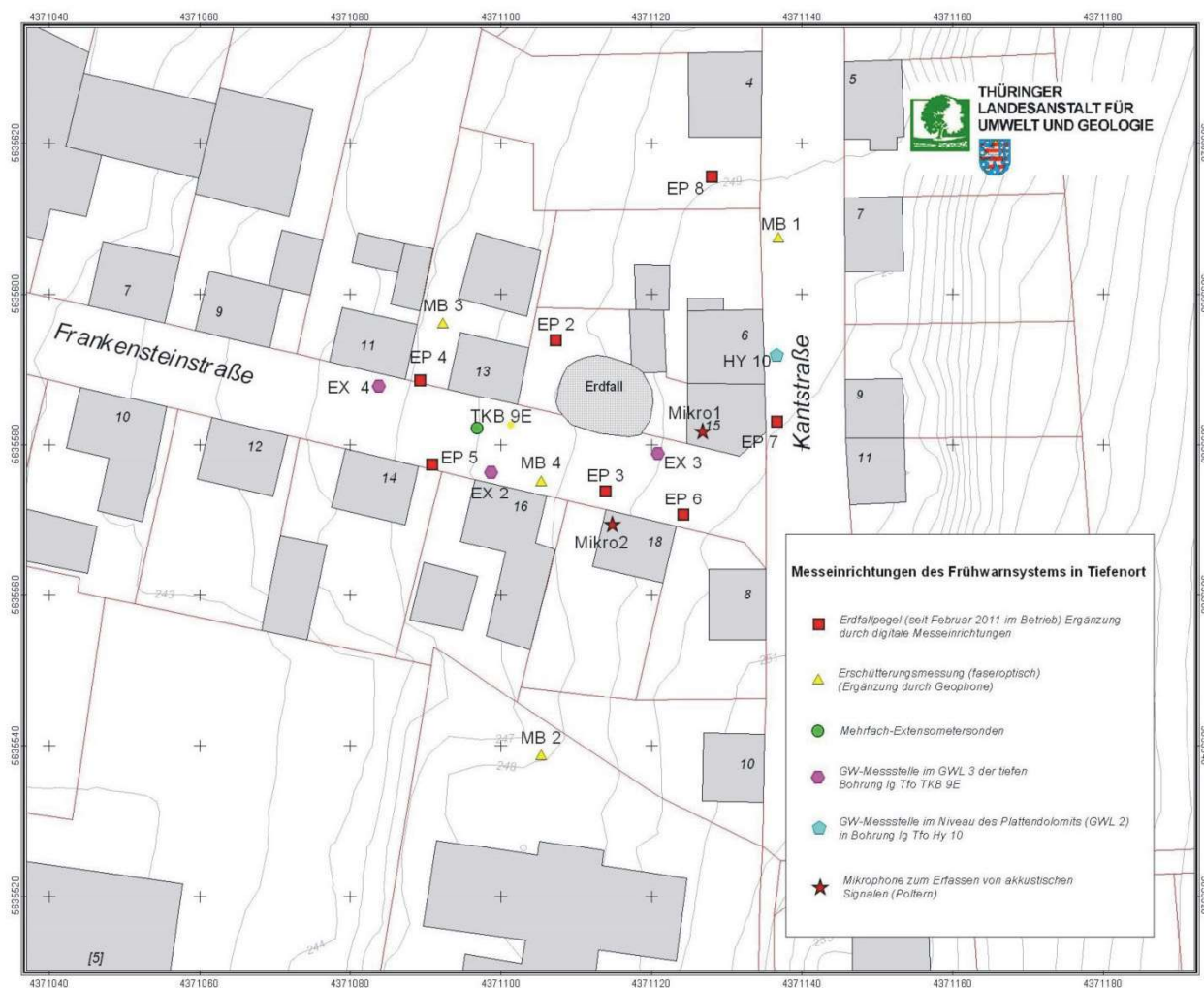


Abb. 7: Lageplan der Mess- und Beobachtungspunkte des Erdfall Früh- und Beobachtungssystems in Tiefenort (Wartburgkreis)

Alle Messergebnisse und Aufzeichnungen der installierten Einzelkomponenten (Erdfallpegel, Extensometer, Geophone, Kamera, Mikrophone) werden durch die von der Fa. DMT in Essen entwickelten Überwachungs- und Auswertesoftware „DMT safeguard“ zusammengeführt. Werden vorher festgelegte Grenzwerte bei Erdfallpegeln, Extensometer oder Geophonen überschritten, wird automatisch eine SMS bzw. eine E-Mail an TLUG und Gemeinde- bzw. Stadtverwaltung verschickt. DMT-safeguard ist über Internet orts- und computerunabhängig aufzurufen.

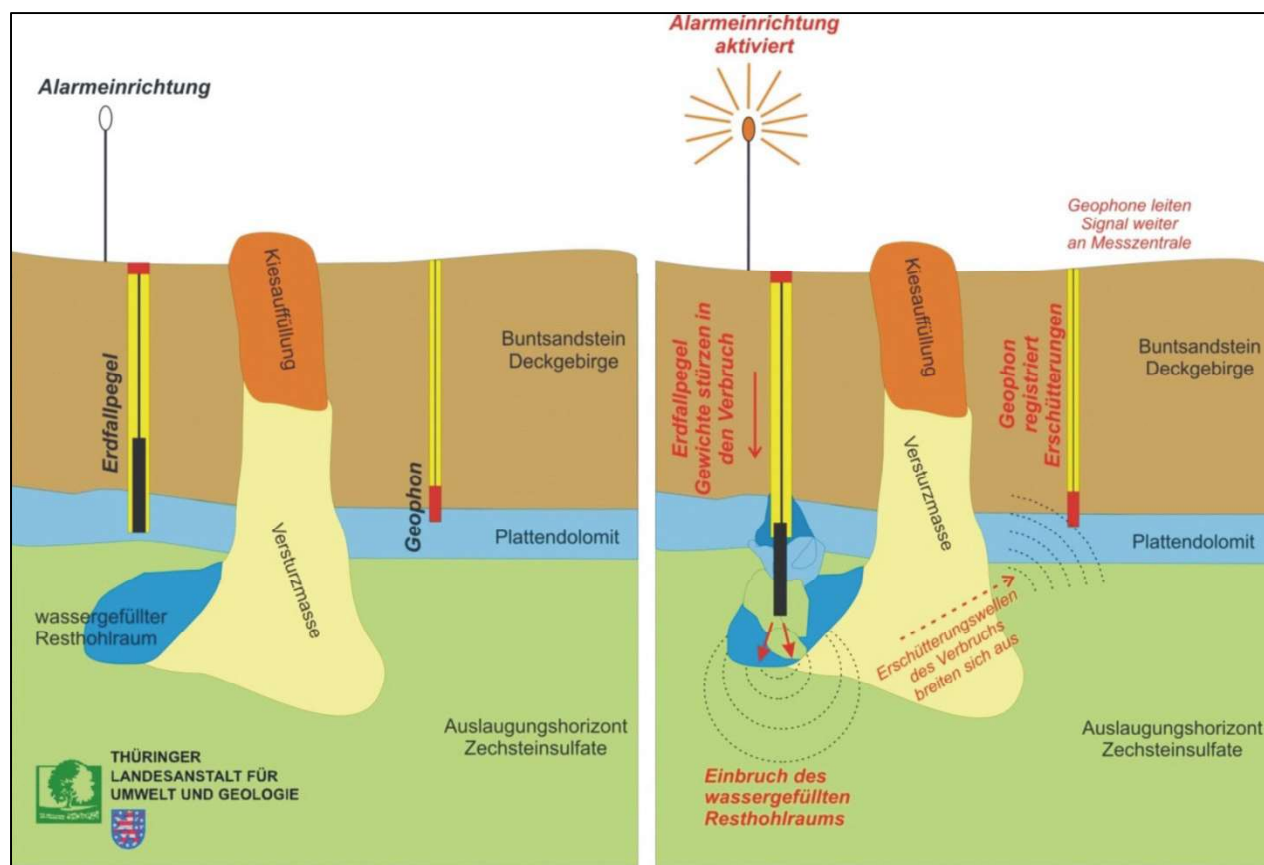


Abb. 8: Funktionsprinzip eines Erdfall Frühwarn- und Beobachtungssystems wie es in Tiefenort und Schmalkaden zur Anwendung kommt.

Das von der TLUG eingesetzte Überwachungssystem besteht aus zwei Komponenten: einem Frühwarnsystem und einem Beobachtungssystem. Das Frühwarnsystem besteht aus den in der Praxis bewährten, robusten Erdfallpegeln (System VÖLKER), hierbei wird bei Überschreitung einer als Alarmschwelle festgelegten Abwärtsbewegung sofort die akustischen und optischen Warneinrichtung ausgelöst. Im Beobachtungssystem sind sensiblere, permanent aktiven Messgeräte, wie Geophone, Extensometer, Wegaufnehmer an Erdfallpegeln, Kamera und Mikrophone zusammengefasst, die durch das Programm DMT-safeguard gespeichert und ausgewertet werden. Auch Grundwassermessstellen und Senkungsmessnetze zählen zum Beobachtungssystem. Mit den im Beobachtungssystem unter DMT-safeguard zusammengefassten Einzelkomponenten soll versucht werden, schon vor der Überschreitung der Alarmschwelle Hinweise auf sich ankündigende Nachbrüche zu erhalten, damit könnte die Vorwarnzeit unter Umständen deutlich verlängert werden. Grundwassermessstellen und Senkungsmessnetze werden nur periodisch ausgelesen bzw. gemessen und können schon aus diesem Grund keine Frühwarnfunktion besitzen.

Als Messgeräte zum Einsatz kommen handelsübliche Geophone, Webcams, Mikrophone und Extensometer mit Wegaufnehmern. Bisher ist es üblich zur Sicherung von Erdfallgebieten einfache Erdfallpegel zu installieren, bei denen zum Beispiel in einem Bohrloch Pegelstangen im Bohrloch tiefsten einzementiert werden (System KAMMERER und REUTER oder System BÜCHNER, in PRINZ & STRAUß 2011), und an der Oberfläche die Absenkung der Pegelstange mechanisch oder elektronisch zu erfassen. Die

TLUG verwendet modifizierte Erdfallpegel des Systems VÖLKER (VÖLKER 2004), bei diesem Erdfallpegel wird das im Bohrloch stehende Gestänge mit zusätzlichen Gewichten von bis zu 600 kg beschwert (Abb. 9). Jede Abwärtsbewegung wird am oberen Ende des Pegels auf eine einfache mechanische Messkala übertragen, wird ein vorher festgelegter Grenzwert ($\pm 0,2$ m) überschritten, löst der Erdfallpegel eine Aktivierung der angeschlossenen Sirene und Rundumleuchte aus. Eine digitale Erfassung und Speicherung des Messverlaufes erfolgt normalerweise nicht, deshalb wurde auf Anregung der TLUG der Messkopf zusätzlich mit einem elektronischen Wegaufnehmer ausgestattet, dessen Messergebnisse digital gespeichert und über Fernabfrage ausgelesen werden können. Damit wird es möglich auch eventuell ablaufende Initialbewegung vor dem eigentlichen Auslösen eines Alarms zu erfassen und damit die Vorwarnzeit zu erhöhen.

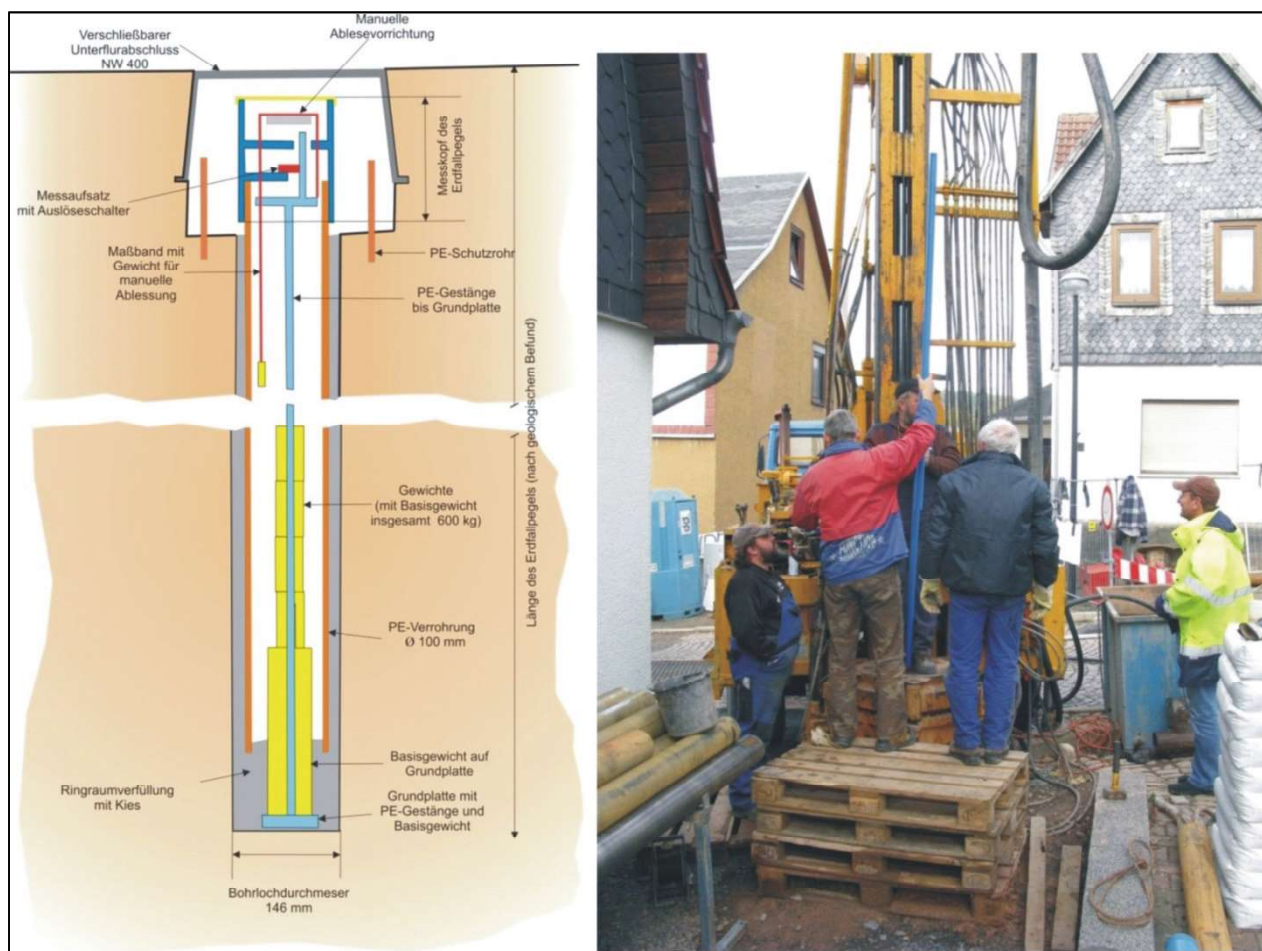


Abb. 9: Funktionsprinzip des Erdfallpegels System VÖLKER und Einbau eines Erdfallpegel in Tiefenort 2010 nach Abschluss der Bohrarbeiten.

3. Zusammenfassung

Die geologischen Besonderheiten Thüringens liefern die Bedingungen für ein genetisch vielfältiges Subrosionsgeschehen auf signifikanten Teilen der Landesfläche, das seit Zehntausenden von Jahren sowohl an der Erdoberfläche als auch in beträchtlichen Tiefen abläuft (WUNDERLICH 2004). Das damit verknüpfte Inventar an Karststrukturen der verschiedensten Art, die sich nach der Tiefe und in der Fläche

z. T. mehrfach staffeln und überlagern können, prägt in vielfacher Weise die naturräumlichen Voraussetzungen, auf die menschliche Siedlungs- und Wirtschaftstätigkeit zurückgreifen muss. Neben dem massiven Einfluss auf die natürliche Landschaftsgestaltung, die Grund- und Oberflächenwasser- verhältnisse und die Vegetation sind in den relevanten Gebieten die Auswirkungen auf Bauvorhaben jeglicher Art kaum zu überschätzen. Insbesondere moderne Bauten, die sich immer raumgreifender und komplexer gestalten und auf Grund infrastruktureller Zwänge zunehmend auch subrosiv geprägte Flächen erschließen, erfordern in steigendem Maße eine qualifizierte Georisikoanalyse und -bewertung.

Ziel einer auf die Subrosionsproblematik abgestimmten Gefährdungsanalyse oder Baugrunderkundung muss es sein, alte verdeckte Subrosionsformen, also künstlich oder natürlich verfüllte Erdfälle, -senken oder Spalten, zu entdecken. Das gezielte Aufsuchen und Abgrenzen von unbekanntem Hohlräumen oder Auflockerungszonen im tieferen Untergrund durch direkte Aufschlussverfahren scheidet aus wirtschaftlichen Gründen und der geringen Aussagekraft solcher punktueller Erkundungen wegen i. d. R. aus. Der Geologe kann mit vertretbarem Aufwand nur versuchen, Aussagen zu eventuell vorgefundenen Subrosionsstrukturen zu erhalten, die die Bebaubarkeit beeinträchtigen, ausschließen oder aber erlauben. Der zu betreibende Aufwand ist vom Planer immer der geplanten Art der Bebauung und Nutzung anzupassen. Um dieses Ziel zu erreichen, hat sich in Thüringen eine Kombination von geologischen und geophysikalischen Erkundungsmethoden als sinnvoll erwiesen. Welche Methoden sinnvoll und erfolgversprechend sind, muss im Vorfeld von allen Beteiligten diskutiert werden. Das Erkundungskonzept muss auf die jeweiligen lokalen geologischen Verhältnisse und die betroffenen oder geplanten Bauwerke abgestimmt werden. Aufgrund der oft sehr komplexen geologischen, hydrologischen und geotechnischen Verhältnisse sollte dieses Erkundungskonzept flexibel gestaltet sein, um während der Erkundungsarbeiten auf neue Erkenntnisse reagieren zu können. Bei der Erkundung von Verkehrswegen hat es sich z. B. bewährt, vor Festlegung der Bohrpunkte geophysikalische Messungen (z. B. Geoelektrik) durchzuführen. Erkundungsbohrungen können dann gezielt in festgestellte Anomalien bzw. Schwachstellen abgeteuft werden. Eine Weiterentwicklung gerade von geophysikalischen, flächenhaften Erkundungsmethoden, die es ermöglichen geologisch-tektonische Schwächezonen noch genauer einzugrenzen, ist anzustreben. Zu diesem Zweck untersucht die TLUG gerade in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern verschiedene Subrosionsgebiete in Nordthüringen.

Die Neu- oder Weiterentwicklung von Früh- und Beobachtungssystemen in Erdfall- und Senkungsgebieten wird aufgrund der weiter zunehmenden Landnutzung mit immer sensibleren technischen Einrichtungen unverzichtbar sein. Die TLUG hat dies erkannt und wird aufgrund der Bedeutung der Subrosionsproblematik in Thüringen weiter an der Verbesserung und Weiterentwicklung von Früh- und Beobachtungssystemen arbeiten

Literatur

PRINZ, H. & STRAUß, R. (2011): Ingenieurgeologie, 738 S. 5. Aufl., Heidelberg.

SCHMIDT, S. & WUNDERLICH, J. (2011): Das Fachinformationssystem „Georisiko-Thüringen“ - Arbeitsmittel der Ingenieurgeologie und wichtiges Hilfsmittel bei Planung und Bau von Verkehrswegen. - Informationen der Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieur Thüringen e. V. (VSVI), Info 2011: 31 - 39; Erfurt.

SCHMIDT, S. & WUNDERLICH, J. (2014): Die Erfassung von Erdfällen und –senken als Aufgabenfeld des Fachbereichs Ingenieurgeologie der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG). – Karst und Höhle, 2011-2014, Thüringen, 50-59, München.

SCHMIDT, S., WUNDERLICH, J., GELETNEKY, J. & STEINBORN, H. (2012): Ergebnisbericht Untersuchungen und Maßnahmen am Erdfall Tiefenort, Frankensteinststraße im Nachgang des Erweiterungsbruches vom 28. 01. 2010 - Gefährdungsanalyse am Inneren Salzhang Tiefenort. - unveröff. Ergebnisbericht, Thür. Landesanst. f. Umwelt und Geologie, 151 S., 21 Anl.; Jena (19. 07. 2012).

SCHMIDT, S., WUNDERLICH, J. & PETERS, A. (2013): Der Erdfall vom 1. November 2010 am Rötberggrain in Schmalkalden - Ingenieurgeologische Methodik und Ergebnisse der Ursachenermittlung, Ableitung infrastruktureller Gefährdungszonen und Einrichtung eines Frühwarnsystems. - unveröff. Ergebnisbericht, Thür. Landesanst. f. Umwelt und Geologie, 179 S., 13 Anl.; Jena (28. 03. 2013).

VÖLKER, R. (2004): Die Überwachung von Subrosionsvorgängen – Erfahrungen aus der praktischen Arbeit - Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, 69: 53 - 66; Jena (Nachdruck 2011).

WUNDERLICH, J. (2004): Die Subrosion – Ein weit verbreitetes Phänomen subterranner Abtragung in Thüringen; Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Nr. 69: 3 - 18; Jena (Nachdruck 2011).