

Donnerstag 15. Oktober 2015

14:30-15:00

## Das Subrosionskataster der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG)

Sven Schmidt, Lutz Katzschmann

*Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG), Jena*

### Einleitung

Erdfälle und natürliche Senkungsgebiete infolge von Subrosion sind in Thüringen weit verbreitete Naturphänomene, die immer wieder auch überregional Aufmerksamkeit in den Medien erregen, wenn es zu Schäden an Verkehrswegen oder Gebäuden kommt. Da diese Erscheinungen subterranner Verwitterung in weiten Teilen Thüringens z. B. in Form von trichter- und schachtförmigen Erdfällen, oft auch wassergefüllt als Seen, das Landschaftsbild prägen, verwundert es nicht, dass sich die Geologen Thüringens schon lange mit dieser Naturgefahr intensiv beschäftigen. Schon früh beschäftigte man sich deshalb mit der Frage wie es zur Entstehung von Erdfällen und -senken kommt und warum sie in Thüringen so weit verbreitet sind

In Thüringen befinden sich unter ca. 60 Prozent der Landesfläche auslaugungsfähige Gesteinsschichten. Abhängig von der Gesteinsart Steinsalz, Anhydrit-Gips oder Kalkstein, deren Tiefenlage, der tektonischen Vorgeschichte und den hydrogeologischen Verhältnissen ergeben sich daraus unterschiedliche Gefährdungssituationen. Darüber hinaus gibt es eine wachsende Unsicherheit, ob die zu erwartenden Klimaänderungen Auswirkungen auf mittel- bis langfristige ablaufende geologische Prozesse, wie die Subrosion besitzen und ob sich dadurch Gefahren in einzelnen Regionen unseres Landes erhöhen.



**Abb. 1:** Erdfall vom 01. November 2010, Mitten in der Ortslage der Stadt Schmalkalden (Landkreis Meinigen) in Südwest-Thüringen.

Die Gefahr, die von den Prozessräumen solcher Subrosionsvorgänge ausgeht, ist in starkem Maße von der Landnutzung abhängig. Liegen an der Oberfläche dieser Prozessräume land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen, sind die von ihnen ausgehende Gefahren meistens gering einzuschätzen. Erst mit der

Bebauung und der intensiven Nutzung solcher Flächen bzw. im Zuge der Bau- und Raumplanung entsteht die Notwendigkeit, Gefahren- und Schadenspotential von Flächen genau zu untersuchen und zu bewerten. Die Ingenieurgeologen geben durch ihre Fachinformationssysteme über Georisiken den Planern nur Hinweise auf Regionen, in denen geologische verursachte Naturgefahren infolge von Subrosionsprozessen im Untergrund existieren. Endgültig abgeklärt werden muss das tatsächliche Gefahrenpotential durch detaillierte ingenieurgeologische Untersuchungen des Baugrundes vor Ort von Projekt zu Projekt.

Welchen Beitrag kann die Ingenieurgeologie im Umgang mit solchen Gefahren liefern? Durch ingenieurgeologische Kartierungen können möglichst viele Flächen erfasst werden, auf denen in der Vergangenheit solche z. B. Erdfälle auftraten. Erfasst werden können Art, räumliche Lage und Dimension von Erdfällen und -senken, sowie regionale Häufungen. Darüber hinaus können auch Flächen auskartiert werden, auf denen sicher oder mit hoher Wahrscheinlichkeit heute noch solche Prozesse ablaufen. Auch die laufende Erfassung neu auftretender Ereignisse ist hierbei eine wichtige Aufgabe.

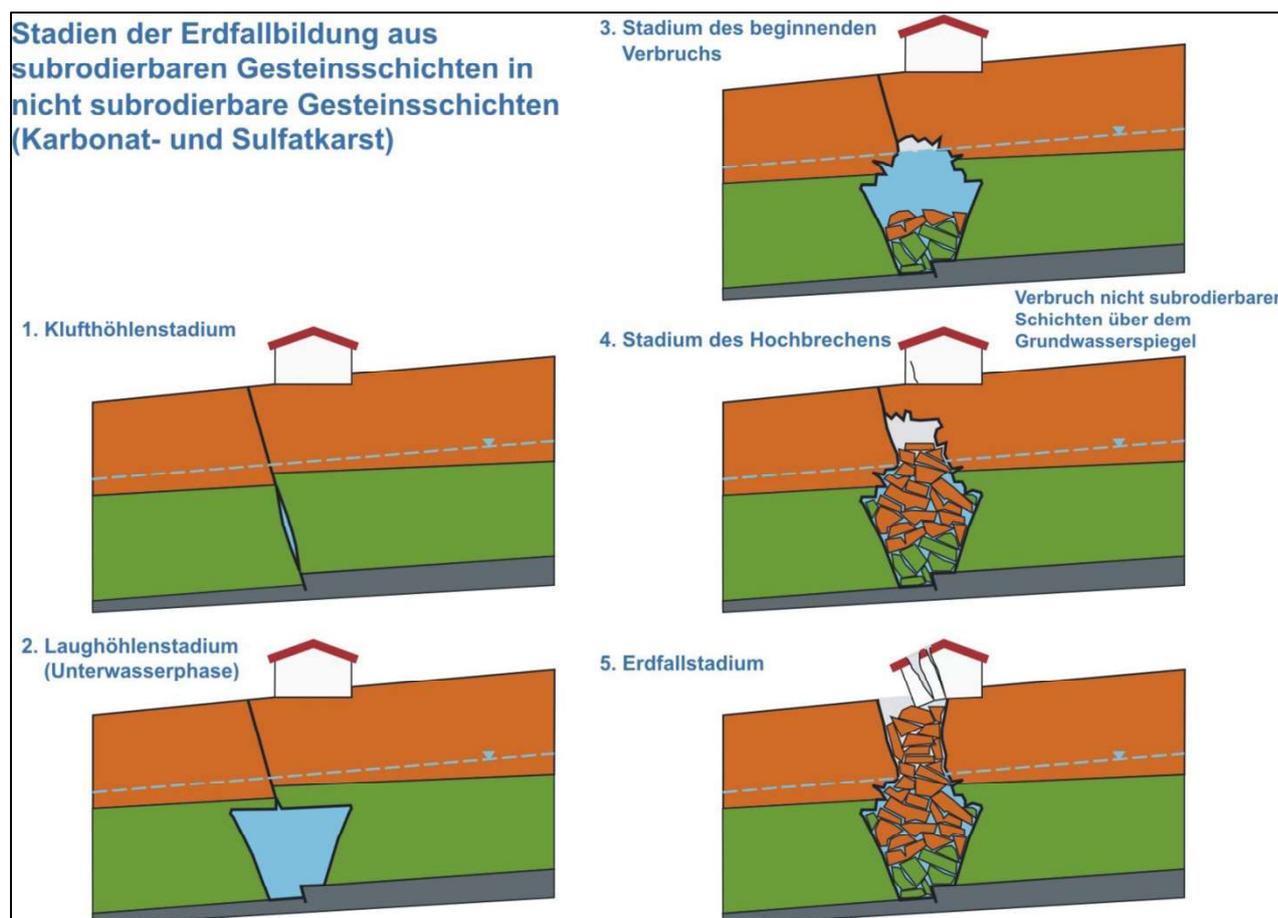
### **Geologische Ursachen für das Naturphänomen Subrosion in Thüringen**

Alle unterirdischen, grundwasserbezogenen Verwitterungs- und Lösungserscheinungen mit Materialabfuhr werden als „Subrosion“ bezeichnet. Der Begriff setzt sich zusammen aus „subterran“ (unterirdisch) und „Erosion“ (Zerstörung, Abtragung). Alle Stoffumlagerung oder -lösung im oberen Teil der Erdkruste findet dabei im Grundwasser statt, das als Reagenz und Transportmittel während der Subrosionsprozesse dient. Zeitlicher Verlauf und Umfang der Subrosion hängen dabei zum einen von Faktoren der exogenen Dynamik ab (wie Klima, Wasserangebot, Grundwasserchemie, Temperatur, Relief, Lage zur Vorflut). Der Zustand der oberen Erdkruste, in Form der anstehenden Gesteinsarten, Gesteinsfestigkeiten, Lagerungsverhältnissen, tektonischer Vorgeschichte und Klüftung ist die andere maßgebliche Größe, die den Ablauf dieser subterranean Verwitterung steuert. Infolge der Stoffverlagerungen bzw. -lösung entstehen im Untergrund Massendefizite, die langsam oder auch schlagartig bis an die Erdoberfläche hochwandern und dort zu Erdfällen oder -senken führen.

Der Begriff „Erdfall“ bezieht sich in Mitteleuropa auf mehr oder weniger rundliche Dezimeter bis 10er Meter große, schacht- bis trichterförmige Einbrüche an der Erdoberfläche, deren Entstehung auf den Einsturz natürlich entstandener Hohlräume im Untergrund zurückgeführt wird. Schon früh erkannte man aufgrund intensiver Bergbautätigkeit in der Region den Zusammenhang zwischen Hohlraumbildung und wasserlöslichen Gesteinen im Untergrund als Ursache für das Auftreten von Erdfällen (BRUST 2008, KUPETZ & BRUST 2008). Durch Subrosion entstehen meist entlang von Klüften und Störzonen Hohlräume im Untergrund, die durch Einsturz bis an die Erdoberfläche hochbrechen können und dort die charakteristischen schacht- bis trichterförmigen Erdfälle bilden. Dieses Hochbrechen kann in verschiedenen Phasen über einen längeren Zeitraum ablaufen (Abb. 2) oder aber auch in einem einzigen schlagartigen Ereignis erfolgen. Neben diesen Bruchereignissen, die zur Bildung von Erdfällen führen, sind auch viele Erd- bzw. Subrosionssenken in Thüringen bekannt. Sie entstehen wenn das Deckgebirge über dem Subrosionshorizont so instabil ist, dass es nicht zur Ausbildung von größeren Hohlräumen kommen kann. Das durch die subterranean Verwitterung entstehende Massendefizit wird durch das mehr oder

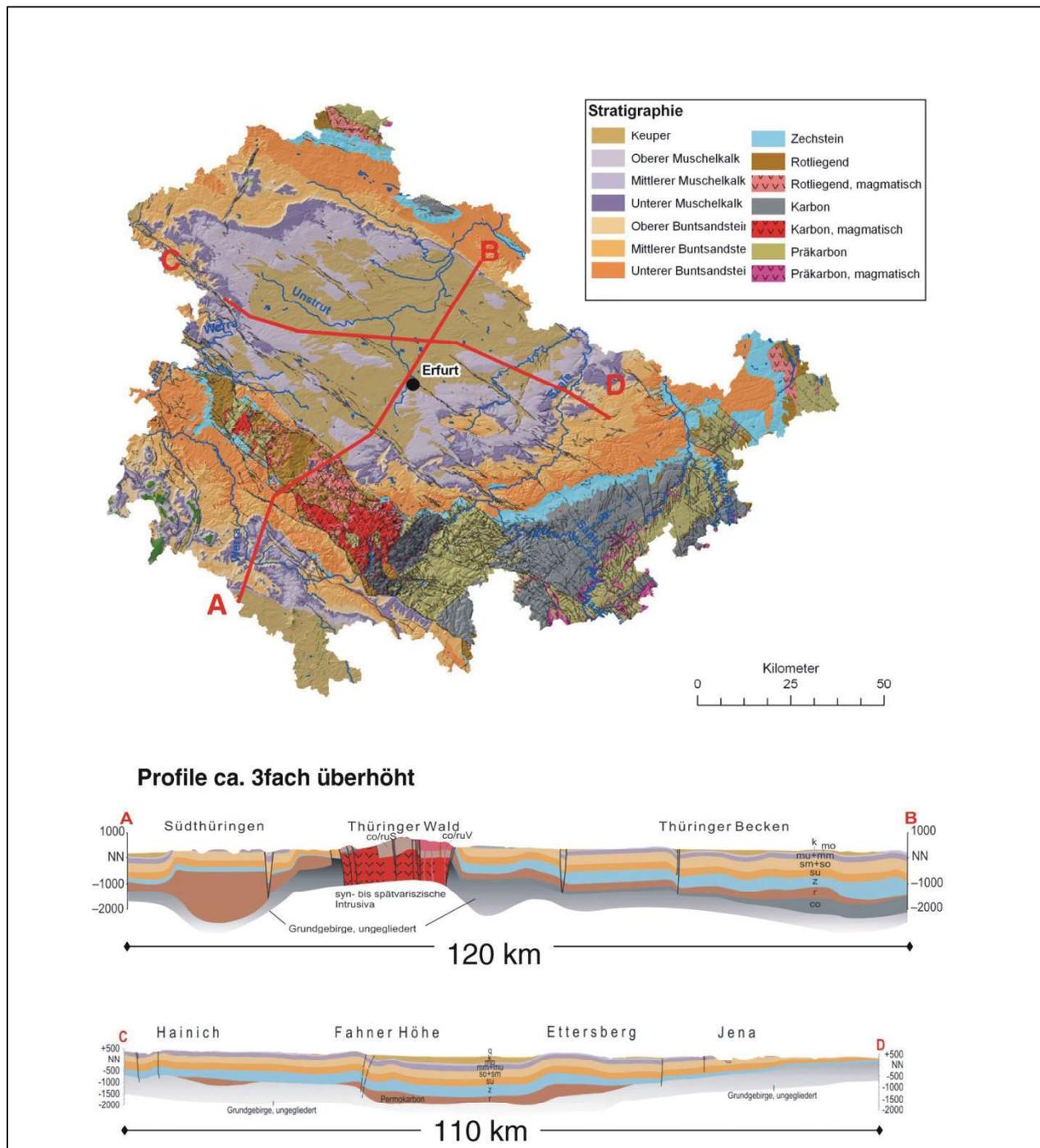
weniger kontinuierliche Nachsinken der Deckschichten kompensiert. An der Erdoberfläche entstehen Senken mit flachen Rändern, die je nach Lage oft Vernässen und Feuchtgebiete und flache Seen bilden.

Infolge der geologischen Geschichte Thüringens (SEIDEL 2003) lagern unter ca. 60 Prozent der Landesfläche auslaugungsfähige Gesteinsschichten verschiedenen Alters in unterschiedlichen Tiefen. Damit ist in weiten Teilen des Landes die Grundvoraussetzung für Subrosionsprozesse gegeben. Seit der Ablagerung von Evaporiten vor ca. 255 Millionen Jahren im Zechstein (Oberperm), der die ältesten und mächtigsten Folgen auslaugungsfähiger Sedimente in Thüringen stellt, kam es bis zum Ende der Trias vor 200 Millionen Jahren auch im Oberen Buntsandstein, im Mittleren Muschelkalk und im Mittleren Keuper zur Bildung von Salinaren im Gebiet des heutigen Thüringens. In diesen Salinaren kam es zur Ausfällung und Ablagerung von chemischen Sedimenten, wie Steinsalze, Sulfate in Form von Gips bzw. Anhydrit und Karbonaten. Alle diese genannten Gesteine besitzen eine unterschiedlich gute Wasserlöslichkeit. Steinsalz und Gipse sind sehr viel leichter löslich als Kalke (Löslichkeitsverhältnis Steinsalz-Gips-Kalk: 10 000-100-1). Die Hauptverbreitungsgebiete dieser Gesteine, wie das Thüringer Becken und das Südwest-Thüringische Triasgebiet nehmen einen großen Teil Thüringens ein (WUNDERLICH 2004). Überwiegend frei von auslaugungsfähigen Gesteinen sind nur die Mittelgebirge (Thüringer Wald, Harz, Thüringer Schiefergebirge) mit ihren paläozoischen und neoproterozoischen Abfolgen (Abb. 3). Mindestens seit der Zeit der höheren Oberkreide vor ca. 80 - 85 Millionen Jahren unterliegt das Gebiet Thüringens der Verwitterung und damit auch einer zunehmenden Verkarstung. Zeiten mit besonders intensiver Verwitterung waren das Tertiär und die pleistozänen Interglaziale. Aufgrund der Muldenstruktur des Thüringer Beckens und dessen tektonischer Entwicklung stehen viele dieser auslaugungsfähigen Gesteinsfolgen relativ oberflächennah an oder haben über tektonische Strukturen Verbindung mit fließendem Grundwasser. Dies führte und führt immer wieder zum Auftreten von Erdfällen oder -senken. Einer der letzten spektakulären Erdfälle ereignet sich am 01. November 2010 in der Stadt Schmalkalden (Abb. 1). Ein Erdfall im Wohngebiet am Rötberg mit 25 m Durchmesser und 17 m Tiefe sorgte international für Schlagzeilen und für ein gesteigertes Interesse von Medien und Politik.



**Abb. 2:** Schematische Darstellung des Hochbrechens eines durch Subrosion entstandenen Hohlraums. Solche Hohlraumbildung kann oberflächennah in wenigen Metern Tiefe auftreten, aber auch in mehreren hundert Metern Tiefe.

An den Rändern des Thüringer Beckens stehen Gesteine des Zechsteins am Übergang zu den Mittelgebirgen aufgrund der Muldenstruktur oberflächennah an. Der südliche Harzrand ist seit langem als eine markante Karstlandschaft bekannt. Es wundert daher nicht, dass sich dort eine große Häufung von Erdfällen findet. Ähnliches gilt für die Umrandung des kristallinen Teils des Kyffhäusergebirges. Insgesamt ist der ganze sog. „Zechsteinsaum“, der den Rand des Thüringer Beckens bildet, durch eine deutliche Häufung von Erdfällen gekennzeichnet (Abb. 6). Aber auch unter einer mehrere hundert Meter mächtigen Überdeckung aus nichtwasserlöslichen Ton- und Sandsteinsfolgen, können entlang von tektonischen Störungen Subrosionsprozesse ablaufen, die an der Oberfläche zu Erdfällen oder anhaltenden Senkungen größeren Ausmaßes führen können. Im Südwestthüringischen Triasgebiet finden sich viele große Erdfälle in Gesteinsschichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins, die auf Auslaugung in Steinsalzschiefern des Zechsteins in 200 - 300 m zurückgeführt werden (BAURIEGEL 2004). Entlang der nach Südwesten voranschreitenden Auslaugungsfront im Untergrund bildet sich an der Erdoberfläche der sog. „Salzhang“ aus, der durch große Spalten, Erdfälle und -senken (Abb. 4; Abb. 7) landschaftsprägend wirkt. Lehrbuchmäßig treten diese Folgen der Subrosion um die Ortschaft Frauensee im Wartburgkreis auf. Der größte bekannte Erdfall Thüringens, der Burgsee in Bad Salzungen mit einem Durchmesser von über 500 m ist nur ein weiteres beeindruckendes Beispiel für Erdfälle in Südwestthüringen, die aus mehreren hundert Metern Tiefe an die Erdoberfläche hochgebrochen sind.



**Abb. 3:** Geologische Übersichtskarte von Thüringen mit zwei Profilen. Man sieht die Trias-Landschaften von Südwest-Thüringen und des Thüringer Beckes, in deren Untergrund z. T. in mehreren Niveaus auslaugungsfähige Gesteinsschichten die Grundlage für alle ablaufenden Subrosionsprozesse bilden.

Viele dieser großen Einzelformen von Erdfällen oder Senken machen sich im Landschaftsbild Thüringens als Seen oder Feuchtgebiete bemerkbar. Die wirtschaftliche Nutzung von Steinsalz und Gips ist seit Jahrhunderten ein wichtiger Faktor in Teilen Thüringens. Neben diesen positiven Effekten aus dem Untergrund kommt es allerdings in regelmäßigen Abständen immer wieder zu Schäden an Straßen, Schienenwegen, Gebäuden und Gewässern durch Erdfälle oder -senkungen in Folge von Subrosion.



**Abb. 4:** „Reaktiv“ junger Erdfall (das genaue Entstehungsalter ist unbekannt) in den „Hohlen Bergen“ westlich von Frauensee im Wartburgkreis.

### Das Fachinformationssystem

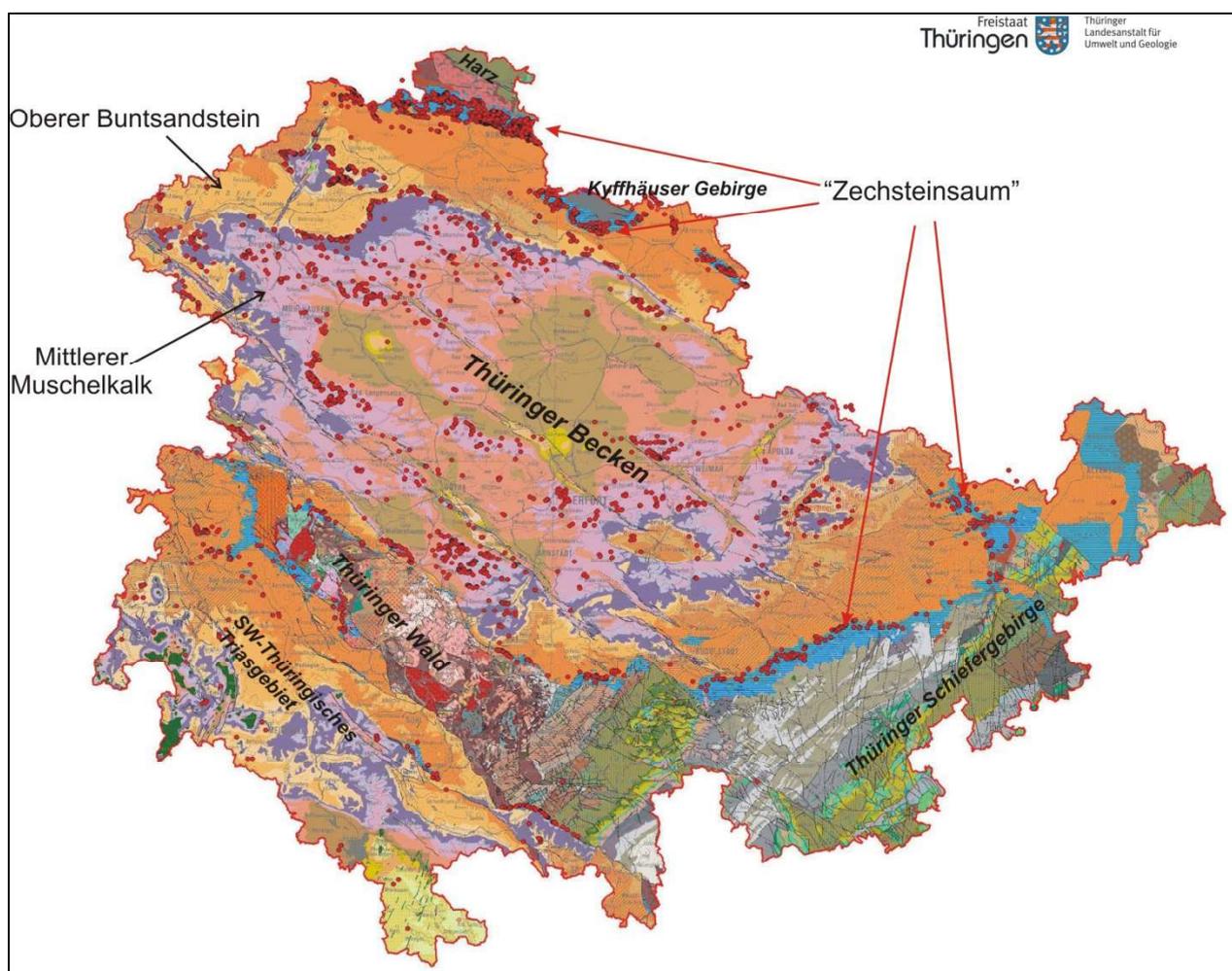
Die im Fachinformationssystem (FIS) „Georisiko-Thüringen“ vorgehaltenen und fortlaufend aktualisierten Daten über eine repräsentative Vielzahl erfasster geologisch bedingter Baugrundstörungen sowie deren Bewertung mittels statistischer Raum- und geologischer Prozessanalyse bieten dem Nutzer einen Überblick über Gebiete unterschiedlichen Gefährdungsgrades im Freistaat Thüringen, in denen durch Häufung von entsprechenden Ereignissen eine Exposition für bestimmte Naturgefahren besteht. Es sind Informationen über Auftretenshäufigkeit, Art und Dimension von Subrosionsformen abrufbar. Straßenplanern und Bauherren können Konfliktgebiete aufgezeigt werden, in denen Schadenspotenziale existieren, die konkrete Pläne und Vorhaben bisweilen maßgeblich beeinflussen oder auch mit ihnen kollidieren.

In besonderem Maße ist darauf hinzuweisen, dass das FIS „Georisiko-Thüringen“ ein offenes System darstellt, dessen Zuverlässigkeit von einer kontinuierlichen Datenerfassung und -pflege abhängt. Nur so ist gewährleistet, dass bestehende Problemgebiete mit der Zeit differenzierter bewertet und neue Risikoflächen rechtzeitig erkannt werden können. Der Abbau von Unsicherheiten in Bezug auf die Einschätzung des Georisikos „Subrosion“ ist ein anhaltender Erkenntnisprozess, der die beständige Erweiterung der Datenbasis voraussetzt. Fachinformationssysteme sind das Werk von Generationen. Im FIS „Georisiko-Thüringen“ werden Daten aus über 90-jähriger Erfassungstätigkeit gepflegt. Eine fortlaufende Registrierung, Untersuchung und Bewertung solcher baugrundrelevanten Georisiken sowie



oder sie werden vom Referat Ingenieurgeologie selbst erstellt. Fotografien, Lageskizzen, Profilschnitte oder Zeitdokumente werden in einem digitalen Bildarchiv erfasst, gespeichert und mit Hilfe einer kleinen Datenbank verwaltet (Abb. 5).

Sämtliche Daten werden zentral auf Servern der TLUG vorgehalten. Das gewährleistet durch tägliche Sicherung der Serverdaten die Datensicherheit und soll das doppelte Vorhandensein gleicher Dateien mit unterschiedlichem Inhalt, die so genannte Redundanz, verhindern. Die zentrale Datenhaltung ermöglicht die gleichzeitige Recherche und Bearbeitung durch mehrere Mitarbeiter, ohne dass unterschiedliche Datensätze entstehen. Alle Mitglieder des Referates haben Schreib- und Leserechte und können so Daten eingeben oder verändern. Für die Recherche und Auswertung der Daten benötigt man nur Leserechte. Durch das Zusammenführen und Verschneiden von Fachdaten aus der relationalen Datenbank mit raumbezogenen Informationen aus den Daten des GIS-Pools können komplexe Abfragen und Analysen durchgeführt und auf thematischen Karten beliebigen Maßstabes visualisiert werden.



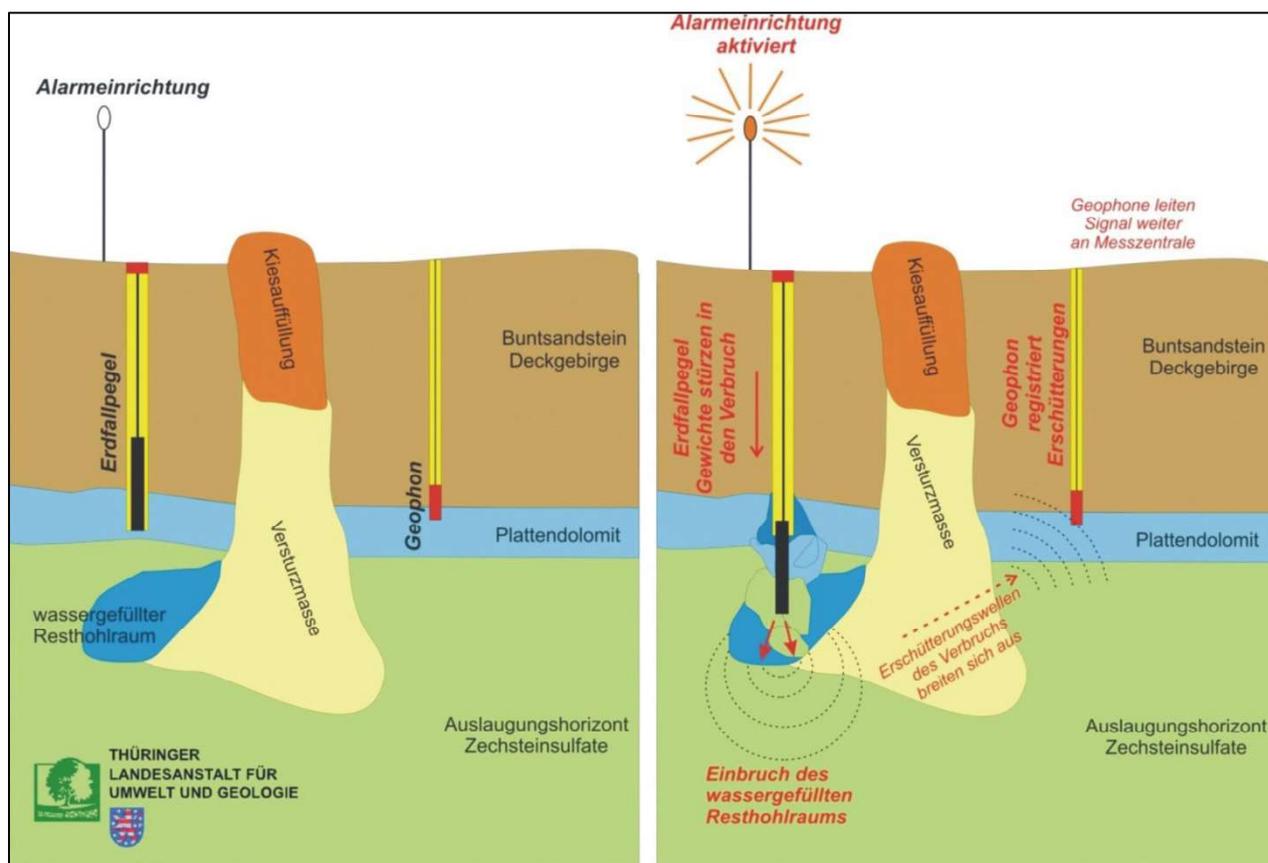
**Abb. 6:** Übersicht über die im Thüringer Subrosionskataster erfassten ca. 10 000 Einzelobjekte. Die Verteilung ist ein Spiegel der oberflächennahen geologischen Verhältnisse. Besonders auffällig ist die Häufung von Erdfällen am sog. „Zechsteinsaum“ an den Rändern des Thüringer Beckens. Aber auch im Ausstrich von Mittlerem Muschelkalk und Oberem Buntsandstein (Röt) ist eine Häufung von Subrosionsereignissen erkennbar.

Herzstück des Fachinformationssystems ist die auf Grundlage des Subrosionskatasters (BIEWALD 2001, 2004) entwickelte Oracle-Datenbank zur Erfassung der Subrosions- und Massenbewegungsobjekte. Hier werden alle wichtigen Informationen erfasst, wie geographische Koordinaten, Alter, Durchmesser, Tiefe, Ursache, verursachte Schäden etc. Aus diesem Grund musste schon bei der Planung der Datenbankstruktur gewissenhaft vorgegangen werden, bei der Anlage der Datenbank musste schon klar sein, was später abgefragt und analysiert werden soll (SCHMIDT 2004, 2008). Mögliche Fehlerquellen bei der Dateneingabe sollten von vornherein möglichst ausgeschlossen sein. Moderne Datenbanken bieten dafür viele technische Möglichkeiten, um zum Beispiel die Koordinaten auf Richtigkeit zu prüfen, automatisch Indizes zu erstellen, durch Listenfelder die Eingabemöglichkeiten zu beschränken usw. Die Ausgabe von Datensätzen einzelner Objekte erfolgt über so genannte Berichte. Mit Hilfe der Berichtsprogrammierung wird auch eine Verknüpfung mit dem digitalen Bildarchiv möglich, so dass der Bericht neben den Sachdaten auch Fotos, Skizzen usw. enthalten kann.

Durch regelmäßige Nachfragen zu Aussagen über Subrosionsgefährdung aus Kommunen und Behörden wurden Schwachstellen und neue Erfordernisse sichtbar, die möglichst zeitnah behoben bzw. umgesetzt werden sollen. Für die Bewertung der Gefährdungssituation durch Subrosionserscheinungen kann für Bauprojekte schon jetzt auf die im Subrosionskataster erfassten Subrosionsformen und deren lokale Häufung als wichtigste Hinweise zurückgegriffen werden. Deshalb ist eine möglichst lückenlose flächenhafte Aufnahme von solchen Erscheinungen wichtig. Bei neu auftretenden Erdfällen oder -senken ist die TLUG auf die Mithilfe von lokalen Behörden, Ingenieurbüros und Bürgern angewiesen, die solche Ereignisse melden. Auch Ergebnisse von Baugrunderkundungen, z. B. im Zuge von Straßenbauten, sind für eine Verbesserung dieser Datengrundlage unentbehrlich. Die Verbesserung der regionalen geologischen Kenntnisse erfordern eine fortlaufende Erkundungstätigkeit des Geologischen Landesdienstes in den von Subrosionserscheinungen betroffenen Regionen. Darüber hinaus werden Erkundungsmethoden bzw. -techniken und Überwachungsmöglichkeiten von Subrosionsgebieten von der TLUG optimiert und weiterentwickelt. Bei alten, morphologisch noch sichtbaren Formen stehen neben der klassischen ingenieurgeologischen Kartierung heute auch modernere Hilfsmittel, wie z. B. „Digitale Höhenmodelle“ zur Verfügung, die in Verbindung mit GIS-Systemen eine wertvolle Ergänzung darstellen. So wird in Thüringen, wie in vielen Teilen Deutschlands, durch die Landesvermessung die Landoberflächen mittels Befliegungen mit Laserscantechnik neu vermessen. Mit den dabei ermittelten Daten ist es möglich, hochgenaue digitale Geländemodelle zu berechnen, welche die Geländeoberfläche ohne Bewuchs in bisher nicht verfügbarer Qualität darstellen (Abb. 7). Die dabei sichtbar werdenden, meist fossilen, schon abgelaufene Ereignisse hinterlassen oft für die landwirtschaftliche Bearbeitung ungeeignete Flächen und werden deshalb forstwirtschaftlich genutzt. Damit ist eine stereoskopische Auswertung von Luftbildern für solche Bereiche häufig nicht möglich. Schummerungskarten auf Grundlage digitaler Höhenmodelle durch Laserscanbefliegungen liefern aber auch für diese Bereiche hervorragende Arbeitsgrundlagen.



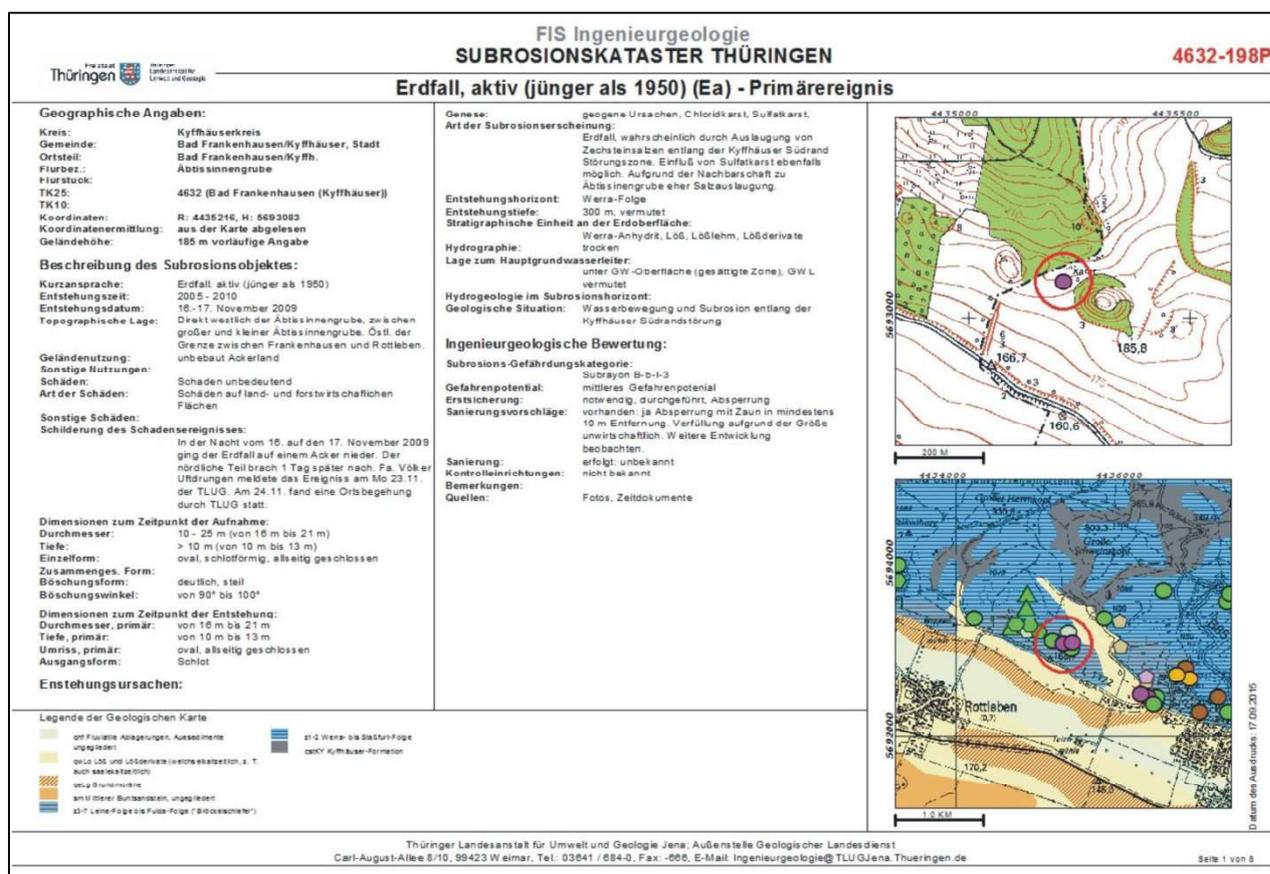
**Abb. 7:** Darstellung des digitalen Geländemodells als Schummerungskarte für die Region um die Ortschaft Frauensee. Deutlich sind die für einen „Salzhang“ charakteristischen Zerrspalten und Erdfalle zu erkennen.



**Abb. 8:** Der Vergleich mit einem konventionellen Luftbild der Region um die Gemeinde Frauensee zeigt, welche Vorteile die Verwendung eines digitalen Geländemodells bei der flächenhaften Erfassung und Untersuchung von Naturgefahren wie der Subrosion besitzt.

## Anwendungsmöglichkeiten

Der Inhalt der Datenbank kann mit Oracle jederzeit von verschiedenen Arbeitsplätzen gleichzeitig wieder abgefragt werden. Eine andere Variante der Datenabfrage, Visualisierung und Ausgabe ist die Erzeugung von Berichten mit Hilfe von ArcView. Mit Avenue-Script Programmierung wurde ein Projekt in ArcView erzeugt, mit dem man entweder alle Subrosionsobjekte innerhalb einer Gemeinde oder auf einem topographischen Messtischblatt aufrufen und abfragen kann. Alternativ dazu können auch alle Subrosionsobjekte Thüringens angezeigt werden und die Auswahl einzelner Objekte kann über Einzoomen und Markieren erfolgen. Bei der Erzeugung der Berichte zu den ausgewählten Objekten werden alle Informationen aus dem Subrosionskataster als Liste dargestellt, die Lage des Subrosionsobjektes wird automatisch in einem Kartenausschnitt 1:10 000 dargestellt (Abb. 9). Ein weiteres Kartenfenster zeigt das geologische Umfeld des ausgewählten Objektes, sowie eventuell noch vorhandene Subrosionsobjekte in der Umgebung. Grundlage für die Geologie bildet die digitale geologische Karte 1:200 000, die überlagernde Topographie ist im Maßstab 1:50 000 dargestellt. Sind von dem ausgewählten Objekt Fotos oder Zeitdokumente von der TLUG digital erfasst worden, so werden diese auf extra Seiten dargestellt. Die Berichterstellung ist so variabel, dass unbegrenzt viele Fotos oder Dokumente an die erste Hauptseite angehängt werden können. Die Zusammenführung aller Daten entspricht dem in Abbildung 5 dargestellten Schema.



**Abb. 9:** Durch Abfrage der Datenbank unter ArcView wird ein Berichtsbogen erzeugt. Neben den Daten aus der Oracle-Datenbank enthält er eine automatisch erstellte Übersichtsskizze und einen weiteren automatisch erstellten Kartenausschnitt mit dem geologischen Umfeld des Subrosionsobjektes.



Nutzungsmöglichkeiten und Risiken bei der Nutzungsänderung von bisher nur land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen (SCHMIDT & WUNDERLICH 2011, 2014). Neben der Erfassung aller aktuellen und bereits abgelaufenen Subrosionsereignisse ist jedoch auch die fortlaufende Verbesserung des regionalgeologischen Kenntnisstandes unverzichtbar, will man die Gefahren für menschliches Leben und technische Infrastruktur durch eine an das Naturphänomen angepasste Raumplanung minimieren. Auch die Erkundung und Untersuchung von ausgewählten Erdfällen und -senken durch die Ingenieurgeologen der TLUG ist unverzichtbar, um das Gefährdungspotential der an der Erdoberfläche sichtbaren Auswirkungen subterrainer Verwitterung und Lösung besser bewerten und in die fortlaufend weiterzuentwickelnden Gefährdungskarten einfließen zu lassen. Der Geologe darf auch durch verbesserte technische Möglichkeiten, z. B. durch Verwendung von digitalen Geländemodellen, nicht vergessen, dass Ursachen und Prozessräume der Subrosion meist in mehreren 10er bis 100er Meter Tiefe liegen und so einer detaillierten Untersuchung entziehen. Eine Weiterentwicklung von geologisch-geotechnischen Erkundungsmethoden und flächenhaften Überwachungssystemen von Subrosionsgebieten wird deshalb auch in Zukunft eine wichtige Aufgabe des geologischen Dienstes von Thüringen sein.

## Literatur:

- BAURIEGEL, A. (2004): Das rezente Subrosionsgeschehen am Salzhang des Werra-Salinars bei Bad Salzungen und dessen Auswirkungen auf die Erdoberfläche. - Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, 69: 79 - 93; Jena (Nachdruck 2011).
- BIEWALD, W. (2001): Der GIS-basierte Subrosionskataster Thüringen und seine Nutzung bei Raumordnungsverfahren und Bauplanungen - Zielstellung und Zwischenbilanz. – Geowiss. Mitt. Thüringen, 9:37 - 52; Jena.
- BIEWALD, W. (2004): Der Subrosionskataster Thüringen der TLUG, seine Aufgabe bei Raumordnungsplanungen, Flächennutzungen und sein Beitrag zur Klärung geowissenschaftlicher Fragestellungen. - Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, 69: 19 - 28; Jena (Nachdruck 2011).
- BRUST, M. K. (2008): Die „Mansfeldischen Kalkschlotten“ und ihre Bedeutung für den historischen Kupferschiefer-Bergbau. - Exkursionsführer und Veröff. d. Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 235: 10 - 18; Hannover.
- KUPETZ, M. & BRUST, M. K. (2008): Historisches zum Begriff der „Mansfeldischen Kalkschlotten“ sowie ein Beitrag zur nomenklatorischen Bestimmung dieses Höhlentyps. - Exkursionsführer und Veröff. d. Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 235: 61 - 74; Hannover.
- SCHMIDT, S. (2004): Das Fachinformationssystem „Subrosion-Thüringen“ der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie - Aufbau und Anwendungsmöglichkeiten. - Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, 69: 29 - 38; Jena (Nachdruck 2011).
- SCHMIDT, S. (2008): Das Subrosionskataster der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) als Grundlage des Fachinformationssystems „Georisiko-Thüringen“. - Exkursionsführer und Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 235: 42 - 48; Hannover.
- 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.

SEIDEL, G. (2003)(Hrsg.): Geologie von Thüringen. – 2. Aufl., 601 S.; Stuttgart.

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).