

Zur Ausbildung der subrosionsgefährdeten Schichten des Zechsteins und der Trias in Thüringen

Mit 7 Abbildungen

GERD SEIDEL

Abstract

SEIDEL, G.: The Threat to Subrosion of Zechstein- and Triassic Evaporites in Thuringia

The paper deals with the relations between facies, thickness and subrosion of rock salt, anhydrite (resp. gypsum) and carbonate rocks in Thuringia. The intensity of subrosion in outlying formations is clearly influenced by the thickness of rock salt and sulfate rocks. Relations between rock salt leaching and the strong subrosion of sulfate rocks along foothills of uplifted blocks are discussed. In carbonate rocks jointing and porosity have special importance for subrosion.

Key words: Zechstein, Triassic, subrosion, Thuringia

Kurzfassung

Es wird die Fazies und Subrosion der Steinsalze, Anhydrite (bzw. Gipse) und Karbonate des Zechsteins und der Trias von Thüringen beschrieben. Die Mächtigkeiten der Steinsalze und Sulfate in den Ausstrichgebieten beeinflussen die Stärke der Subrosion. Es ergeben sich Hinweise für die Bildung der Auslaugungsoberfläche bei Salzen und der starken Subrosion der Sulfate an den Gebirgsrändern. Bei den Karbonatsteinen spielen die Klüftung und die Porosität eine besondere Rolle.

Schlüsselwörter: Zechstein, Trias, Subrosion, Thüringen

1 Einleitung

Die Subrosion hat in Thüringen eine große Bedeutung. Sie tritt fast ausschließlich im Zechstein und in der Trias auf. Ansonsten gibt es noch auslaugungsfähige Karbonate im Kambrium (Heinersdorfer Kalkstein-Folge), Silur (Ockerkalk), Devon (oberdevonische Knotenkalke) und Pleistozän (Travertine). So berichten GRÄBE & FREYER (1962) von Karstwässern und anderen Karsterscheinungen im oberdevonischen Knotenkalk im Thüringischen Schiefergebirge (ehemalige Schachtanlage Pörmitz bei Schleiz) und im benachbarten sächsischen Schiefergebirge (Syrauer Höhlen).

Subrosionserscheinungen findet man fast nur im Thüringer Becken (mit Eichsfeld-Scholle sowie Altenburger Gebiet) und im Südwestthüringischen Triasgebiet. Die stark

auslaugungsfähigen Sulfate und Halite besitzen eine unterschiedliche Verbreitung und Mächtigkeit. Deshalb sollen Mächtigkeitskarten (Abb. 1–7) zur Verifizierung von Subrosionsformen beitragen. Die Nummern auf den Abbildungen geben die Lage der Profile der Bohrungen oder Orte mit Aufschlüssen an (s. Legende Abb. 1). Weiterhin werden noch die Karbonate des Zechsteins und der Trias behandelt, die besonders bei großer Wasserführung auf Klüften und in Poren Auslaugungserscheinungen zeigen. Für die auslaugungsfähigen Schichten sind jeweils Beispiele von Subrosionserscheinungen angeführt.

Zur Subrosion in Thüringen gibt es eine umfangreiche Literatur (Auswahl s. Literaturverzeichnis). Als Beispiel sei hier die Vortrags- und Exkursionstagung 2003 der Thüringischen Landesanstalt für Geologie und des Thüringischen Geologischen Vereins angeführt (s. u. a. BIEWALD 2003, WUNDERLICH 2003). Umfangreiche Untersuchungen wurden und werden vom Geologischen Landesdienst (Weimar) geleistet. Dazu zählt auch eine Karte der Erdfallverteilung in Thüringen (s. KATZSCHMANN 2010).

2 Mittlerer Keuper

DOCKTER (2004) gibt im Profil Schillingstedt (22) in den Grauen Gipsmergeln (Unterer Gipskeuper) 21,3 m tonig verunreinigtes Steinsalz an. Da es das einzige in Thüringen bekannte Vorkommen von Steinsalz im Keuper ist, spielt es lediglich in der Schillingstedter Mulde eine Rolle für die Subrosion.

Der Mittlere Keuper enthält im Bereich des Oberen und Unteren Gipskeupers mächtigere Sulfate. Im Oberen Gipskeuper liegt der Heldburggips. Er ist aus der Schillingstedter Mulde, Erfurter Mulde, Gotha-Arnstädter Störungszone und Grabfeld-Mulde bekannt. DOCKTER (2004) beschreibt im Profil der Bohrung Schillingstedt in den Grauen Heldburggipsmergeln (Mächtigkeit von 40,6 m) massiven Gips von 26 m Stärke. Verfasser traf den völlig vergipsten Heldburggips in der Erfurter Mulde bei Elxleben in einer Mächtigkeit von maximal 17,7 m an (Hangendes abgetragen). In Kernbohrungen und Peilstangenbohrungen fand der Verfasser Erdfälle, die eine Löß- und Schwemmlehm-Füllung zeigten. Auf dem Steinberg südwestlich von Elxleben steht in einem auflässigen Bruch noch Heldburggips an. Auf der Schwellenburg bei Kühnhausen tritt eine angeschnittene Höhle im Heldburggips auf. In der Gotha-Arnstädter Störungszone steht auf dem Seeberg die Kartierungsbohrung Seebergen 1 (südöstlich von Gotha, UNGER et al. 1994). Sie traf 36,6 m Heldburggipsmergel an. Die oberen 4 m dieser Schichtenfolge waren völlig ausgelaut. Im unteren Teil traten mm-starke Gipsstreifen und bis 2 m mächtige Anhydritbänke auf. An der Wachsenburg findet man einige auflässige Gipsbrüche. Der Bruch 1 km nordwestlich von Holzhausen besitzt eine 40 m lange und 8-10 m hohe Bruchwand (HAASSENGIER 2007). Auf Blatt Römhild (westlich von Hildburghausen) gibt SCHRÖDER (2000) die grauen Heldburggipsmergel (Mergelstein und Gips) mit ca. 28 m an (abgegriffen an Mächtigkeitstafel). In dem ebenfalls in der Grabfeld-Mulde liegenden Profil der Bohrung Colberg 1907 (68, FLIEGEL 1929) stuft SEIDEL (2003) die 24,9 m mächtigen Schichten mit „graublauem kalkigen Ton mit Schieferletten und Gipsknollen“ in die Heldburggipsmergel ein.

Der Berggips in der Roten Wand des Oberen Gipskeupers spielt wegen seiner geringen Mächtigkeit kaum eine Rolle in der Subrosion Thüringens.

Im Unteren Gipskeuper besitzt nur der Grundgips eine Bedeutung für die Auslaugung.

DOCKTER (2004) beschreibt den 12,35 m mächtigen Grundgips in der Bohrung Schillingstedt (22) als Wechsellagerung von grauen Tonmergelsteinen mit Anhydritlagen. HAASSENGIER

(2007) gibt 22 auflässige Brüche im Grundgips im Raum Weißensee-Buttelstedt bis nach Sömmerda und Erfurt an. Im auflässigen Steinbruch 1 km nordöstlich von Kleinbrembach (Blatt Kölleda, östlich von Sömmerda) steht Grundgips an. Die Autorin beschreibt ihn als grauen und roten Gips mit tonig-mergligen Schichten. Im Salzschantprofil Erfurt geben KÄSTNER et al. (1996) einen 27 m mächtigen Grundgips an, der aus Mergelsteinen mit zahlreichen Gipseinschaltungen besteht. Einige Erdfälle nördlich von Erfurt sind wahrscheinlich durch Subrosion des Grundgipses entstanden (s. KATZSCHMANN 2010). UNGER (1994) gibt im Profil Seebergen 1 (südöstlich von Gotha) einen 6,8 m mächtigen Grundgips an. HECHT (1999) erwähnt im Profil der Bohrung Bad Colberg 1994 (68) von 260,5–290,5 m Gipse und Anhydrite in den Unteren Myophorienschichten, die etwa dem Grundgips entsprechen dürften.

3 Muschelkalk

Im Mittleren Muschelkalk treten Steinsalz und Anhydrit bzw. Gips auf. SCHMID (1864, s.a. SCHUBERT 1984) weist im Erfurter Salzschant eine primäre Mächtigkeit des Muschelkalksalzes von 31,6 m aus. Das Muschelkalksalz traf man noch in einigen Mulden mit Mittlerem Keuper des Thüringer Beckens als Auslaugungsinseln an. Es kommt primär in der Thüringischen Senke vor. In der Bohrung Zeilfeld (65) wurden vom Verfasser Steinsalzpseudomorphosen beobachtet, die für die primäre Verbreitung in Südthüringen sprechen. Auslaugungsformen kann man im zu Tage tretenden Unteren Keuper erwarten.

Das Sulfat des Mittleren Muschelkalkes tritt als reines Sulfat sowie in Wechsellagerung mit Dolomit und Mergelsteinen auf (s. LANGBEIN & SEIDEL 2003, Abb. 4.5.1.2–3). Insgesamt besitzt der Gips bzw. Anhydrit bis zu 50 m Mächtigkeit in den Profilen der Thüringischen Senke. Auf der Eichsfeldschwelle und im Ostthüringischen Randgebiet erreicht die Stärke der Sulfate primär nur einen Teil dieser Mächtigkeit. Der beste Aufschluss in Thüringen befindet sich an der südlichen Flanke des Kleinen Seeberges (900 m nordnordöstlich von Töpfler bei Gotha). Die Geraue im Bereich des Steigersattels in Erfurt zeigt einige Erdfalltrichter, die von Kies erfüllt sind und auf Auslaugung der Sulfate des Mittleren Muschelkalkes zurückzuführen sind (KÄSTNER et al. 1996, Beilage 1). BIEWALD (2009) wies im ICE-Tunnel Augustaburg (Erfurt) Subrosionsformen mit gleicher Genese nach.

Die Erdfallquellen Popperode (Mühlhausen), Gründelsloch (bei Greußen, südlich von Sondershausen) und im Ilmpark Weimar entstanden ebenfalls durch Subrosion der gleichen Sulfate.

BIEWALD (2007) wies Subrosionsformen in den Karbonaten des Trochitenkalkes (Oberer Muschelkalk) und des Unteren Muschelkalkes am Windknollen bei Jena-Cospeda nach. An der Thüringer Wald-Randstörung bei Ernstroda (südwestlich von Gotha) gibt BIEWALD (2003) Einbruchstrichter auf Zerrspalten im gesamten Muschelkalk an.

In der Zinselhöhle (BELLSTEDT et al. 2005) und der Bleißberghöhle (GEOLOGISCHER LANDESDIENST 2010) an der Fränkischen Linie treten zahlreiche Auslaugungshohlformen im Unteren Muschelkalk auf. Die starke Wasserführung auf den zahlreichen Klüften ermöglichte die Subrosion der weniger löslichen Mergelkalke und Kalke.

4 Oberer Buntsandstein

Im Salinarröt des Oberen Buntsandsteins treten Steinsalze und Sulfate (z.T. mit Mergelstein durchsetzt) auf. Das Rötsteinsalz erreicht in der nordöstlichen Thüringischen Senke Mächtigkeiten von über 50 m (s. Abb. 1). Es kommt nur im Thüringer Becken vor und wird allseitig vom Auslaugungsrand begrenzt. Bei Buchenau (25) tritt eine Auslaugungsinsel mit 12–45 m Steinsalz auf (REH 1959). In Südhüringen traf SEIDEL (1995) in der Kernbohrung Zeilfeld (65) einen brecciösen Anhydrit in der Salinarröt-Folge an. Das spricht dafür, dass Rötsteinsalz primär auch in Südhüringen ausgebildet war.

Die Bohrung Bienstädt (27, SEIDEL et al. 1994) im westlichen Fahner Sattel (s. Abb.1) traf 49,5 m Rötsteinsalz an. Im östlichen Fahner Sattel und Steiger Sattel sowie bis zur Bohrung Erfurt 1 (38, KÄSTNER et al. 1996) ist das Rötsteinsalz ausgelaugt. KATZSCHMANN (1998) sowie KATZSCHMANN & SEIDEL (2006) wiesen im östlichen Fahner Sattel mehrere Subrosionsformen mit elsterkaltzeitlichen sowie holsteinzeitlichen bis weichselzeitlichen Sedimenten nach. Sie sind wahrscheinlich auf die Auslaugung des Rötsteinsalzes zurückzuführen.

Bei Auslaugung des Rötsteinsalzes bildet sich aus Basisanhydrit, Zwischenanhydrit und Deckanhydrit ein einheitlicher Anhydrit- bzw. Gipshorizont. Ein guter Aufschluss befindet sich in Jena an den Teufelöchern (mit Subrosionshohlformen).

In Nordthüringen (Worbis-Sondershausen) erreichen die Gipse der Salinarröt-Folge z.T. über 30 m Mächtigkeit. Nach S nimmt die Mächtigkeit der Gipse ab (Bohrung Steiger 101: 20 m Sulfat, KÄSTNER et al. 1996) und es treten zunehmend Mergelsteinlagen, in Südhüringen auch Sandsteinlagen in der Salinarröt-Folge auf. In der Bohrung Geblar 1 (55, KÄSTNER & SEIDEL 1965) kommen noch etwa 10 m Sulfat und in der Bohrung Zeilfeld (65, SEIDEL 1965) etwa 5 m Sulfat vor. VÖLKER & VÖLKER (2002) beschreiben zahlreiche Subrosionsformen aus dem Ohmgebirge und in den Bleicheröder Bergen. SCHNEIDER (1968) berichtet über Auslaugungserscheinungen im Röt am Dün. SEIDEL (2005) unterscheidet kleine Erdfälle im Salinarröt, die unter dem Grundwasserspiegel liegen und große Erdfälle, die sich über dem Grundwasserspiegel bei Jena befinden.

Die im Pelitröt vorkommenden Gipse besitzen nur geringe Mächtigkeiten und spielen keine Rolle für die Auslaugung.

5 Aller- und Leine-Formation

Nach Beobachtungen des Verfassers in Kalibohrungen des Südharzgebietes bieten der Im mächtige Untere Alleranhydrit und die wenigen Meter Tonsteine zwischen diesem Anhydrit und dem Leinsteinsalz keinen Schutz vor Subrosion. Abb. 2 gibt deshalb die Summe der Mächtigkeiten von Aller- und Leinsteinsalz wieder. Der Bereich der Steinsalzmächtigkeiten über 100 m entspricht dem inneren Teil der Südharzsenke. Von hier nimmt die Mächtigkeit zum Harz und nach SE ab. Die primäre Verbreitungsgrenze verläuft im mittleren Thüringer Becken vom Raum bei Creuzburg (26), Neudietendorf (36) bis Eckartsberga (5). Im W ist das Steinsalzpaket am Duderstädter Sattel (5), Ohmgebirgssattel, Martinfelder Sattel und Heldraer Sattel abgelagert (s.a. SEIDEL 2009). Durch die Heraushebung der Schichten am Harz, Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug ist der Erosionsrand des Aller/Leinsteinsalzes von Wipperdorf (9) bis Rastenberg (23) bestimmt. Kleine Auslaugungssenken, die für Subrosionsformen des Aller-/Leinsteinsalzes sprechen, fand Verfasser bei Kalibohrungen in der Windleite.

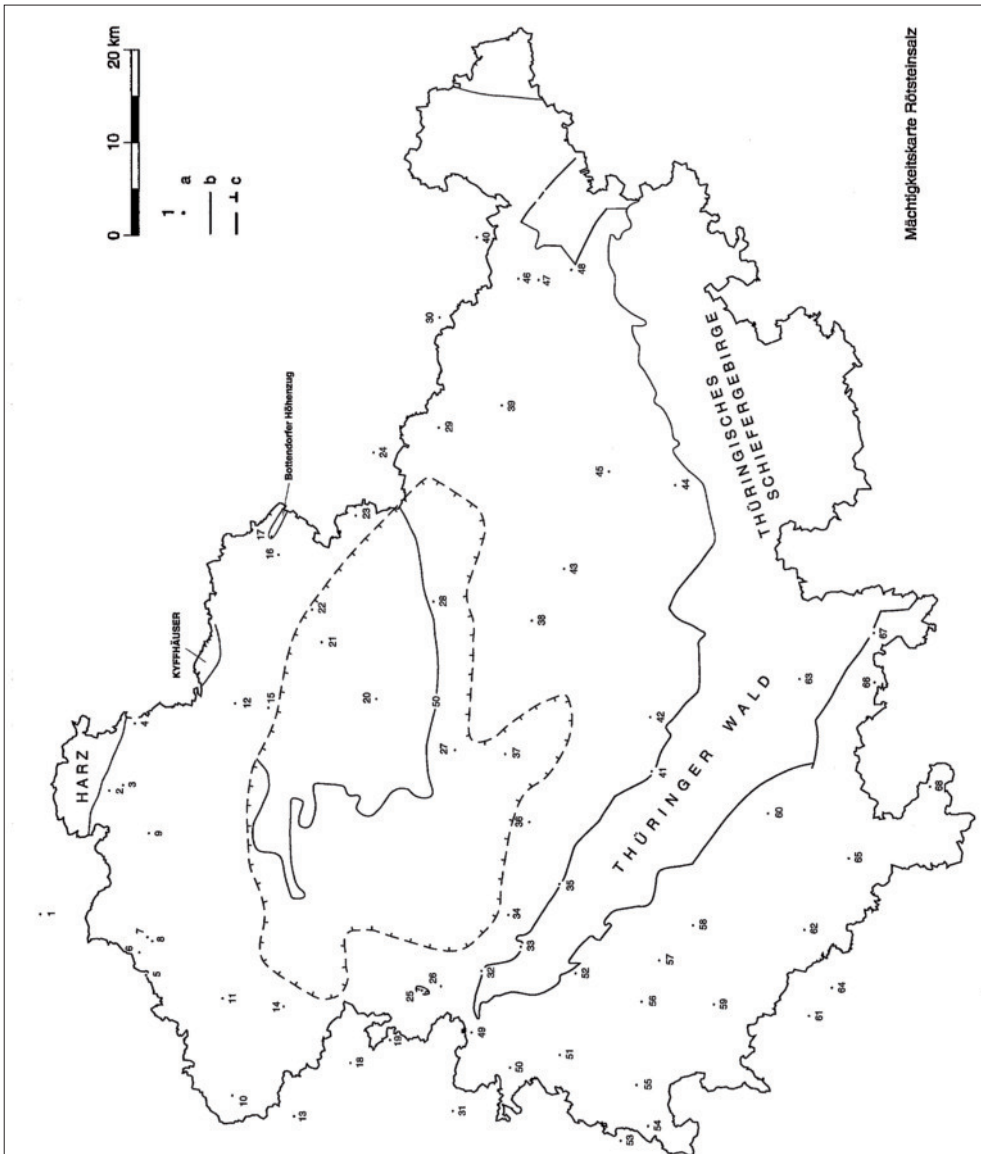


Abb. 1: Verbreitungs- und Mächtigkeitkarte des Rötsteinsalzes. a-ausgewählte Orte (O) bzw. ausgewählte Bohrungen (B), b-Mächtigkeitlinien (Mächtigkeiten in Metern), c-Grenze der totalen Auslaugung des Steinsalzes, kleine senkrechte Striche zeigen zum Inneren der Steinsalzverbreitung. 1-O Scharzfeld, 2-B Niedersachswerfen, 3-B Nordhausen 1, 4-B Rottleberode, 5-B Duderstadt, 6-B Fuhrbach, 7-B Holungen 2, 8-B Holungen 1, 9-B Wipperdorf, 10-B Birkenfelde, 11-B Leinefelde 2, 12-B Bendeleben, 13-B Bad Sooden-Allendorf, 14-B Küllstedt 2, 15-B Schneidtal 2, 16-B Udersleben 65, 17-O Bottendorf, 18-B Großer Kurfürst 1, 19-B Großer Kurfürst 3, 20-B Straußfurt 1, 21-B Weißensee 1, 22-B Schillingstedt, 23-O Rastenberg, 24-B Eckartsberga 1, 25-B Buchenau, 26-B Creuzburg 1, 27-B Bienstadt 1, 28-B Ballstädt, 29-B Jena 104, 30-B Zeitz 8, 31-O Richelsdorfer Gebirge, 32-O Eisenach, 33-O Kittelsthal, 34-B Sondra, 35-O Marienhöhle, 36-B Gotha 1, 37-B Neudietendorf 3, 38-B Erfurt 1, 39-B Jena 106, 40-O Schellbach, 41-B Roda 5, 42-B Wipfra 2, 43-B Tannroda 1, 44-B Krölpa 3 b, 45-B Großeutersdorf, 46-B Heinrichshall, 47-B Gera 5, 48-B Gera-Lusan, 49-O Brandenburg, 50-B Berka 2, 51-B Kieselbach 2, 52-B Schweina 1, 53-B Treischfeld 1, 54-B Bonifazius III, 55-B Geblar 1, 56-B Rosa, 57-B Schwallungen, 58-B Metzels, 59-B Oberkatz, 60-B Schleusingen 1, 61-B Ostheim, 62-B Bibra, 63-O Scheibe-Alsbach, 64-B Mellrichstadt, 65-B Zeilfeld, 66-B Döhlau 1, 67- O Sonneberg, 68-O Colberg.

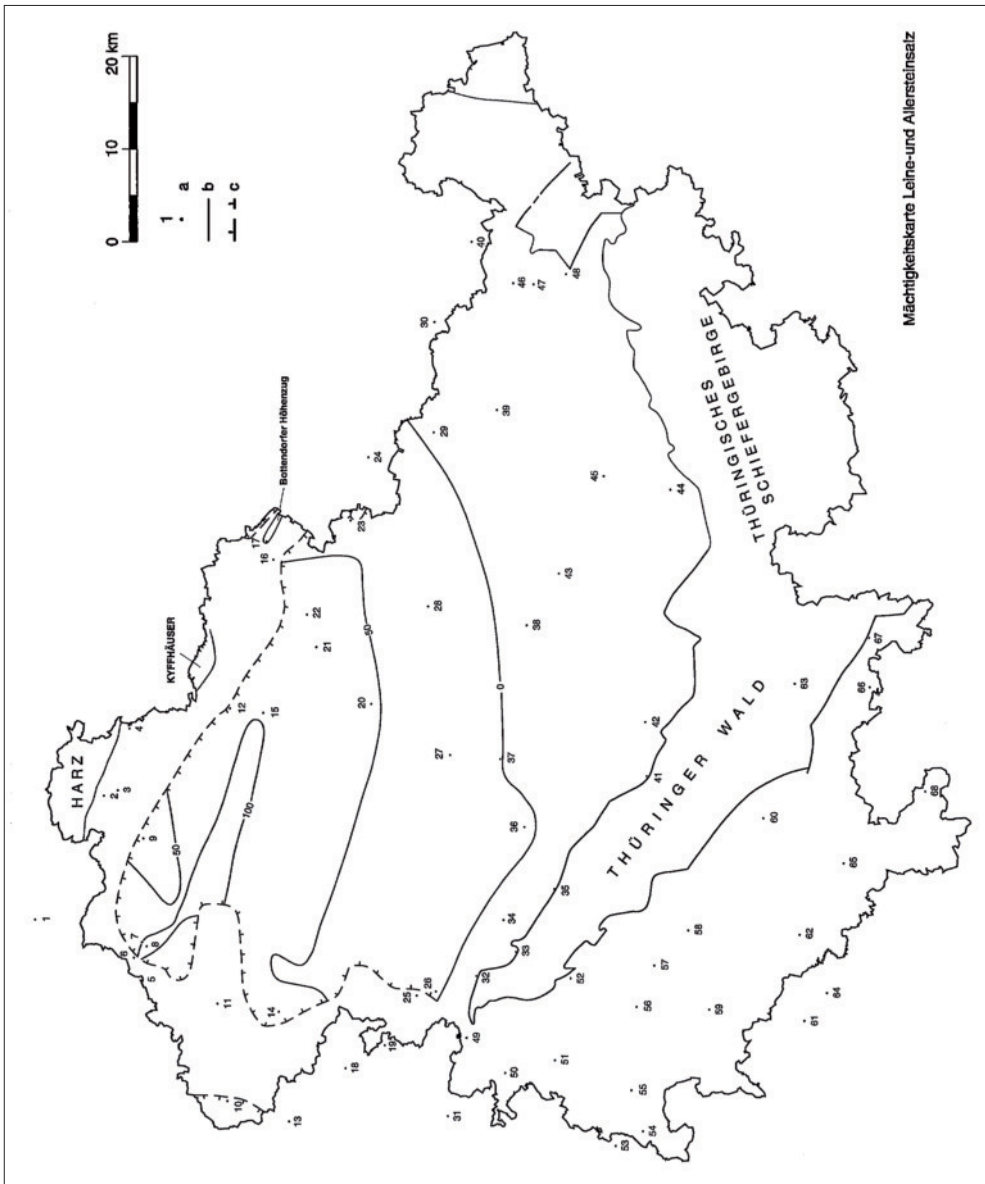


Abb. 2: Verbreitungs- und Mächtigkeitkarte des Leine- und Allersteinsalzes. Legende s. Abb. 1.

An der Auslaugung unter der Goldenen Aue (KUHNS 2004) und dem Frankenhäuser Becken (STEINMÜLLER 1969) dürften Aller- und Leinsteinsalz mit etwa 30 m sowie an den Auslaugungssenken zwischen Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug mit etwa 60 m beteiligt sein.

Der Leineanhydrit hat seine primäre Verbreitungsgrenze im südlichen Thüringer Becken (s. Abb. 3). Bis zum Nordrand des Thüringer Beckens erreicht er über 40 m Mächtigkeit. So gibt POMPER (1962) vom Bohrfeld Rottleberode (4) eine Stärke des Leineanhydrites von 40–50 m an. Der beste Aufschluss im Leineanhydrit befindet sich im Gipswerk Rottleberode. Der

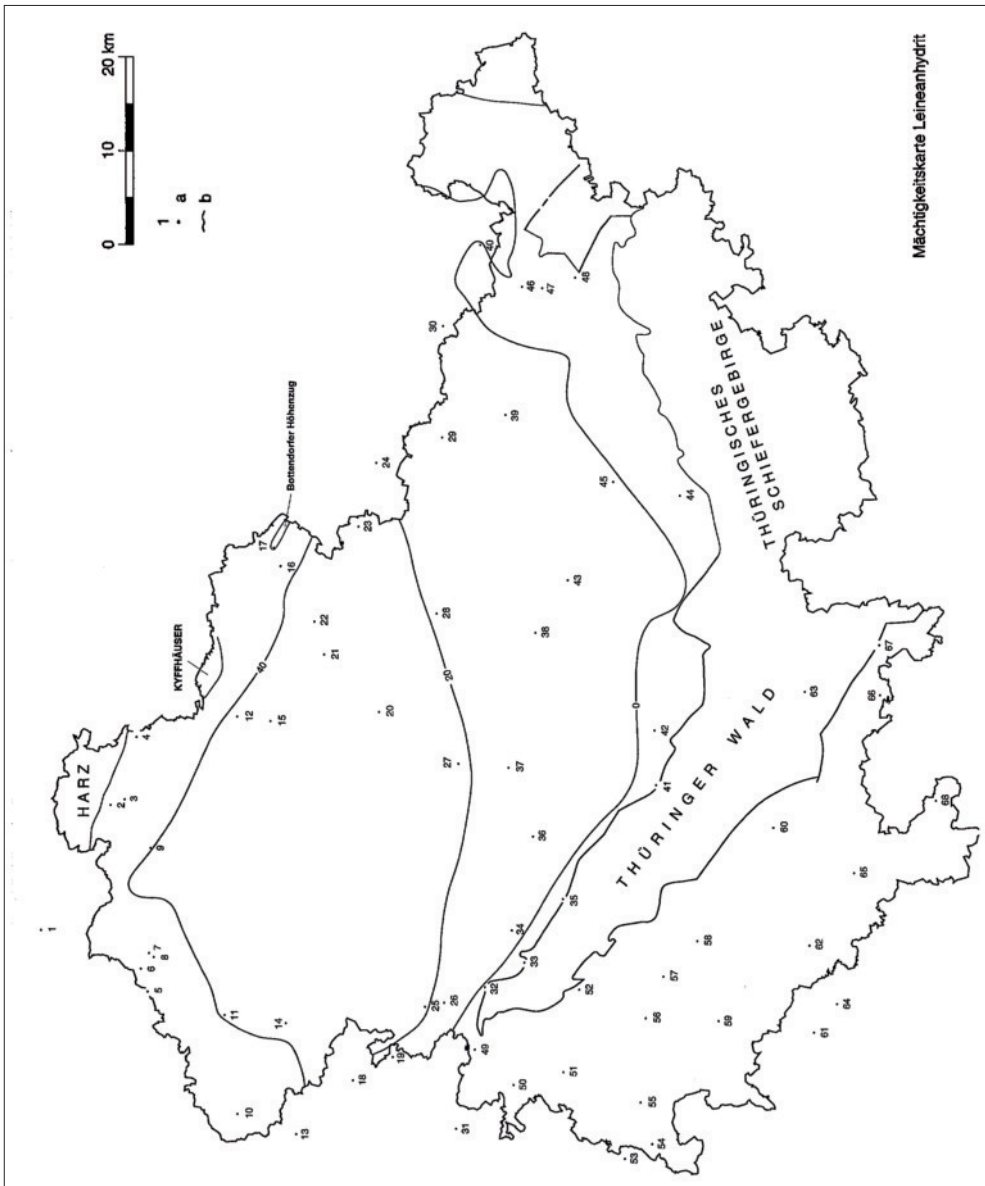


Abb. 3: Verbreitungs- und Mächtigkeitkarte des Leineanhydrites. Legende s. Abb. 1.

Leineanhydrit streicht am Harz, Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug aus. POMPER (1962) gibt Erosionsformen bei Rottleberode an. Im Höhlensystem der Heimkehle bei Rottleberode treten zahlreiche Subrosionsformen im Leineanhydrit auf (BELLSTEDT et al. 2005).

Auf den GK 25 fasste man den Leineanhydrit mit dem Sangerhäuser Anhydrit und dem Unteren Staßfurtanhydrit als Jüngeren Gips zusammen. Sie besitzen gemeinsam im Auslaugungsgeschehen eine große Bedeutung.

Aus dem Leinedolomit sind dem Verfasser keine Subrosionsformen bekannt. Am Südrand des Thüringer Beckens und in Südwestthüringen besitzt der Leinedolomit die größten

Mächtigkeiten. Hier tritt auch neben der Plattenfazies die poröse Runkelfazies auf, die eine größere Wasserdurchlässigkeit wegen ihrer Porosität vermuten lässt. Vielleicht ist die gute Endlaugenaufnahmefähigkeit des Leinedolomites im Werragebiet auch durch eine Erweiterung der Klüfte durch Subrosion bedingt.

6 Staßfurt-Formation

Das Staßfurtsteinsalz besitzt im Inneren der Thüringischen Senke eine Mächtigkeit von 200 m und erreicht z.T. über 500 m (s. Abb. 4). Nach SW hebt sich die Thüringische Senke heraus (SEIDEL 1965). Von der Thüringischen Senke zweigt nach NW die Südharzsenke mit mehr als 100 m mächtigem Staßfurtsteinsalz ab. Gute Aufschlüsse des Staßfurtsteinsalzes kann man im Erlebnisbergwerk Sondershausen besichtigen (BELLSTEDT et al. 2005). Nach S nimmt die Mächtigkeit des Staßfurtsteinsalzes bis zur primären Verbreitungsgrenze im mittleren Thüringer Becken ab. Zwischen Harz und Kyffhäuser zweigt ein z.T. abgelaugtes Vorkommen des Staßfurtsteinsalzes nach NE ab (s. Abb. 4). Im NW ist die Verbreitungsgrenze dieses Steinsalzes durch die Heraushebung der Schichten am Harz, Kyffhäuser sowie Bottendorfer Höhenzug und der damit bedingten Auslaugung begrenzt (s.a. STOLLE 1961). Nordöstlich des Bottendorfer Höhenzuges setzt das Staßfurtsteinsalz wieder ein. Auf der Eichsfeldschwelle spielen folgende tektonischen Elemente eine Rolle für die tektonische Heraushebung und die dadurch bedingte Subrosion des Staßfurtsteinsalzes: Duderstädter Sattel (5), Leinefelder Sattel (11), Martinfelder Sattel und Heldraer Sattel (s.a. SEIDEL 2009). Am Leinetalgraben senken sich die Schichten nach NW ein, so dass in der Bohrung Birkenfelde (10) wieder Staßfurtsteinsalz vorkommt (Abb. 4). Die von STEINMÜLLER (1965) im thüringischen Eichsfeld nachgewiesenen Subrosionsformen dürften z.T. durch Auslaugung des Staßfurtsteinsalzes bedingt sein. Im Südharzgebiet fehlt in der Regel die Anhydritregion. Bei Ablaugung des Steinsalzes mit Anhydritregion entsteht der Sangerhäuser Anhydrit (LANGBEIN & SEIDEL 1960, 1968). Er erreicht bei Rottleberode 40–50 m Stärke (POMPER 1962). Unter der Goldenen Aue hatte das Staßfurtsteinsalz primär 50–200 m Mächtigkeit, unter dem Frankenhäuser Becken bis zu 200 m. BLUMENSTENGEL & KRIEBEL (2004) weisen in den Bohrungen Auleben 1/89 und Kelbra 6/92 über 30 m mächtige obereozäne und untermiozäne Ablagerungen in der Goldenen Aue nach.

Im Profil Auleben 1 traf man bis 128,5 m u.G. neozoische Sedimente an. STEINMÜLLER (1969) und KUHN (2004) deuten die bis 130 m mächtigen Sedimente des Tertiärs und Quartärs durch Subrosion des Zechsteinsalinar. Es dürfte sich um die Auslaugung des Allersteinsalzes, Leinsteinsalzes und vor allem des Staßfurtsteinsalzes handeln. Das 0–10 m mächtige Werrasteinsalz spielt hier keine Rolle. JANKOWSKI (1961) wies in mehreren Tertiär- und Quartärbecken zwischen Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug bis zu 200 m mächtige Sedimente nach. Diese Mächtigkeiten können allein durch die Ablaugung des hier primär 200–500 m mächtigen Staßfurtsteinsalzes erklärt werden. STEINMÜLLER (1998) liefert weitere Ergebnisse zum Auslaugungsgebiet zwischen Kyffhäuser und Nebraer Pforte.

Der Untere Staßfurtanhydrit zeigt seine primäre Verbreitungsgrenze im südlichen Thüringer Becken zwischen Eisenach, Rudolstadt und Gera (Abb. 5). Größere Mächtigkeiten von über 20 m erreicht er in einem Mächtigkeitswall zwischen Langensalza und Nordhausen. Dieser Mächtigkeitswall streicht am Harz aus. Von diesem Mächtigkeitswall nach Osten legt sich bei vollständiger Auslaugung des Staßfurtsteinsalzes der Sangerhäuser Anhydrit auf den Unteren Staßfurt-Anhydrit. POMPER (1962) gibt vom Bohrfeld Rottleberode 6–8 m

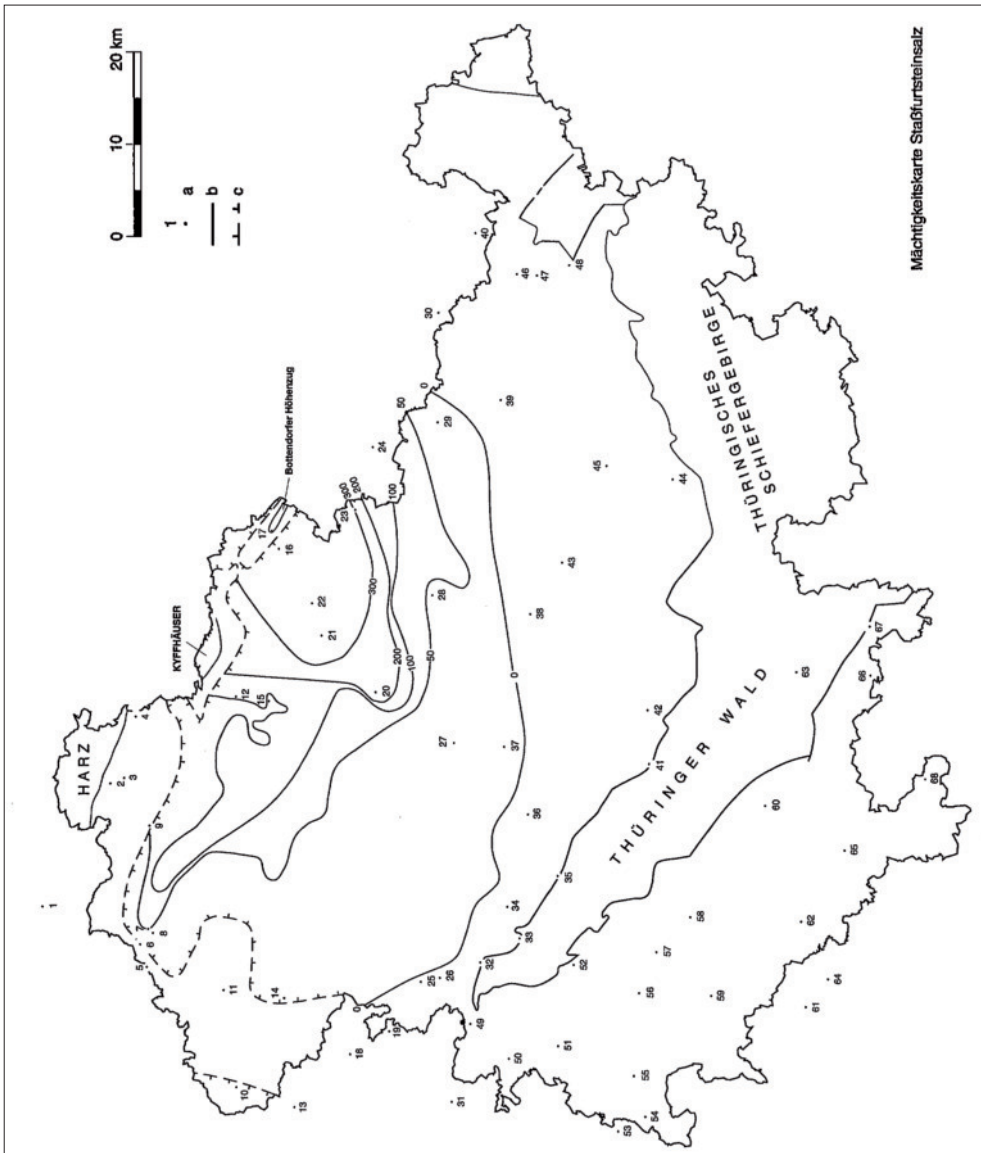


Abb. 4: Verbreitungs- und Mächtigkeitkarte des Staßfurtsteinsalzes. Legende s. Abb. 1.

Unteren Staßfurtanhydrit und 40–50 m Sangerhäuser Anhydrit an. Die von POMPER (1962) bei Rottleberode angegebenen Erdfälle sind z.T. dem Gipspaket Unterer Staßfurtanhydrit mit Sangerhäuser Anhydrit zuzurechnen.

Der Staßfurtdolomit tritt im Thüringer Becken in der Stinkschiefer- und Hauptdolomit-Fazies auf. Der mächtigere und z.T. poröse Hauptdolomit bildet einen Mächtigkeitwall, der von Naumburg über Erfurt und Mühlhausen verläuft und bei Ellrich am Harz ausstreicht (s. SEIDEL 1995, Abb. 7). Bei Scharzfeld (s.a. JORDAN 1995), wo die Eichsfeldschwelle den Harz erreicht, kommen Auslaugungshöhlen vor. Der untere Teil dieses porösen Dolomites entspricht wahrscheinlich dem Oberen Werradolomit.

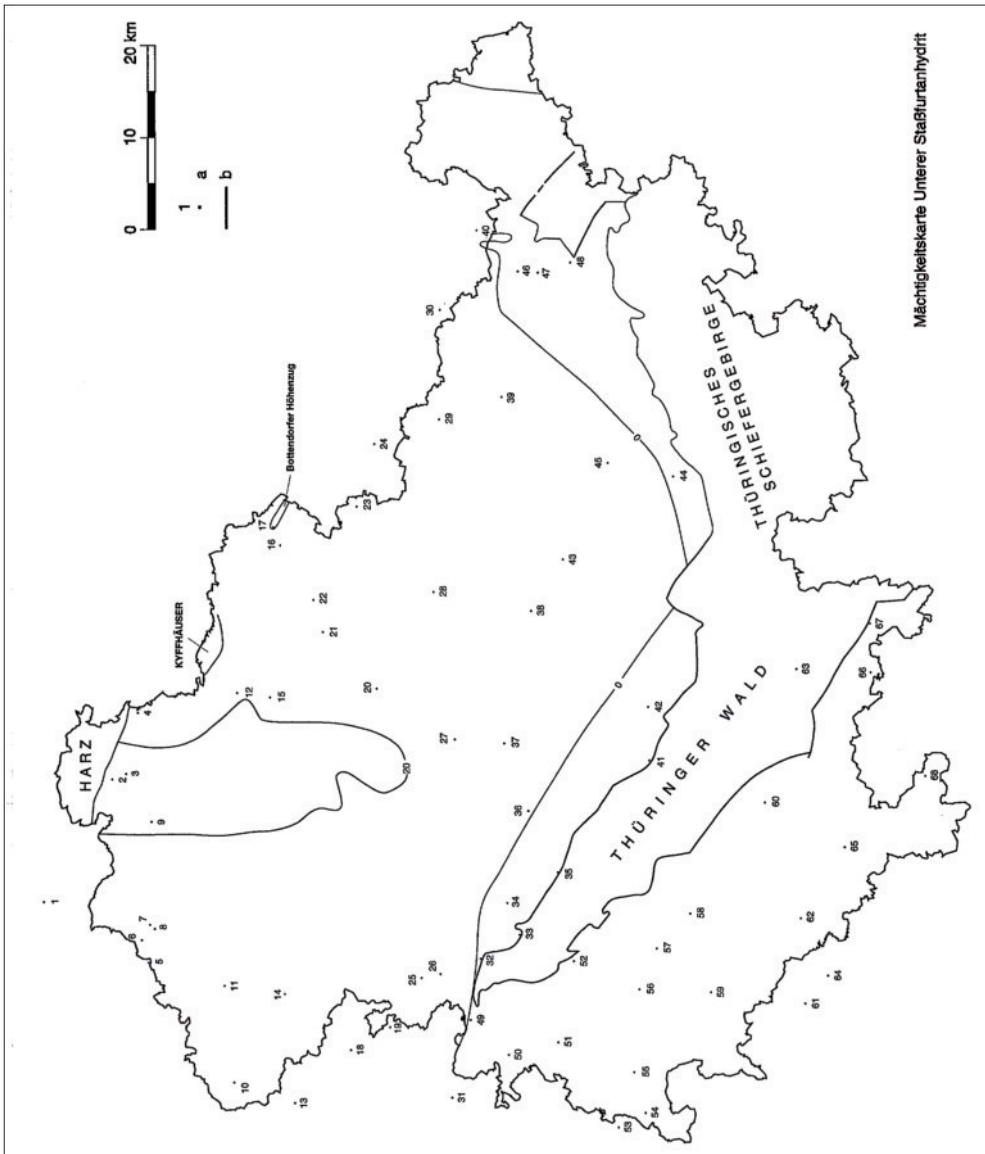


Abb. 5: Verbreitungs- und Mächtigkeitkarte des Unteren Staßfurtanhydrites. Legende s. Abb. 1.

7 Werra-Formation

Im Thüringer Becken weist das Werrasteinsalz in der Thüringer Wald-Vorsenke und der Ebelebener Bucht (Neudietendorf-Altengottern 1) die größten Mächtigkeiten auf (s. Abb. 6). Die Subrosion erreicht hier nicht das Steinsalz. In der Ostthüringischen Bucht tritt im Tannrodaer Sattel ein Auslaugungsgebiet im Werrasteinsalz auf, das eine Auslaugungssenke (bei Kranichfeld) mit pliozänen Sedimenten enthält. Am E-Rand des Thüringer Beckens zeigt das Werrasteinsalz von Roda (41) über Dienstedt (Auslaugungssenke

mit pliozänen Sedimenten) bis nach Jena (39) eine Begrenzung durch Auslaugung. Bei Wipfra (42) und Rippersroda treten Auslaugungssenken mit pliozänen Sedimenten auf. Nordöstlich von Jena handelt es sich wahrscheinlich um eine primäre Verbreitungslinie des Werrasteinsalzes. Auf Blatt Osterfeld (bei Bohrung Zeitz 8, 30) hält STEINMÜLLER (1993) fünf Auslaugungssenken mit eoziänen und oligozänen Sanden, Tonen sowie Braunkohlen aus. In der Geraer Bucht sind zwei Inseln des Werrasteinsalzes (Heinrichshall, 46, und Schellbach, 40) erhalten geblieben (RUSSE 1994/1995, SEIDEL 2010). Südöstlich der Steinsalzinsel Schellbach liegt die Auslaugungssenke Kleinaga mit eoziänen bis oligozänen Sanden Tonen und Braunkohlen.

An der Überschiebung des NW-Randes des Thüringer Waldes bei Gräfenhain (südlich Bohrung Goth1, 35) und bei Eisenach reicht das Werrasteinsalz wahrscheinlich bis an den Thüringer Wald heran (s. Abb. 6). Im Gebiet Burschenschaftsdenkmal (32), Kittelsthal (33), Sondra (34) und Marienhöhle (35) ist das Werrasteinsalz ausgelaut.

Westlich von Eisenach (32) an der Brandenburg (49) und bei Wommen fiel das Werrasteinsalz ebenfalls der Auslaugung zum Opfer. Auf der Eichsfeld-Schwelle findet man Werrasteinsalz bei Creuzburg (26), Küllstedt (14) und Holungen (7). Lediglich am Duderstädter Sattel (11), Leinefelder Sattel (11), Martinfelder Sattel und Heldraer Sattel fehlt das Werrasteinsalz auslaugungsbedingt. STEINMÜLLER (1965) wies Auslaugungsformen im thüringischen Eichsfeld nach, die z.T. durch die Subrosion des Werrasteinsalzes bedingt sind. In der Hessischen Senke ist das Werrasteinsalz z.T. vorhanden (Bohrung Großer Kurfürst 3, 19) und z.T. abgelaut [Bad Sooden-Allendorf (13), Bohrung Großer Kurfürst 1 (18), Richelsdorfer Gebirge (31), s. KULICK 1987]. Durch die Heraushebung des Zechsteins am Harz, Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug wurde das Werrasteinsalz ausgelaut. Da das Werrasteinsalz im Vergleich zu anderen Zechsteinsalzen nur eine geringe Mächtigkeit besitzt, ergibt sich hier nur eine untergeordnete Bedeutung im Auslaugungsgeschehen.

Im Werra-Fulda-Becken erreicht das Werrasteinsalz Mächtigkeiten von 100–300 m (s.a. KÄDING 1978). Gute Aufschlüsse im Werrasteinsalz kann man im Erlebnisbergwerk Merkers besichtigen (BELLSTEDT et al. 2005). Innerhalb des Werra-Beckens treten Auslaugungssenken auf. Neben den in Abb. 6 eingetragenen Auslaugungssenken mit vollständiger Auslaugung des Steinsalzes kommen auch Auslaugungssenken vor, in denen der obere Teil des Werrasteinsalzes abgelaut ist. WUNDERLICH (2003) beschreibt folgende wassergefüllte Erdfälle über Werrasteinsalz: Bernshäuser Kutte, Schönsee, Burgsee, Buchensee und Roßdorfer See. In Tiefenort entstand 2002 ein Erdfall über Werrasteinsalz, der später nochmals aktiv wurde.

Die Bohrungen Treischfeld (53) und Bonifazius (54) weisen im SW des Werrabeckens eine vollständige Auslaugung des Werrasteinsalzes auf (s.a. KÄSTNER 1964 und LAEMMLEN et al. 1975).

Die in diesem Gebiet liegende Subrosionssenke Borsch enthält pliozäne und altpleistozäne Sedimente (ELLENBERG 1982). Im Bereich der Bohrung Schwallungen (57) reduziert sich die Steinsalzmächtigkeit auf der Ruhla-Spessart-Schwelle unter 100 m. Hier findet man auch die Auslaugungssenken Rosa (56) und Oberkatz (59, KÄSTNER 1995). Im Fränkischen Becken erreicht das Werrasteinsalz wieder mehr als 100 m Mächtigkeit (s. Abb. 6). Nach SE fällt die Mächtigkeit des Steinsalzes bis zur primären Verbreitungsgrenze ab. Im Bibraer Sattel erfolgte z.T. eine Ablaugung des Steinsalzes. Mit der Heraushebung des Zechsteins am Thüringer Wald tritt eine Auslaugung des Werrasteinsalzes in einem bis zu 4 km breiten Streifen auf. Zwischen der beginnenden und der totalen Auslaugung nehmen FULDA (1923) und HOPPE (1960) einen Salzhang oder Salzspiegel an. ELLENBERG (1982) beschreibt

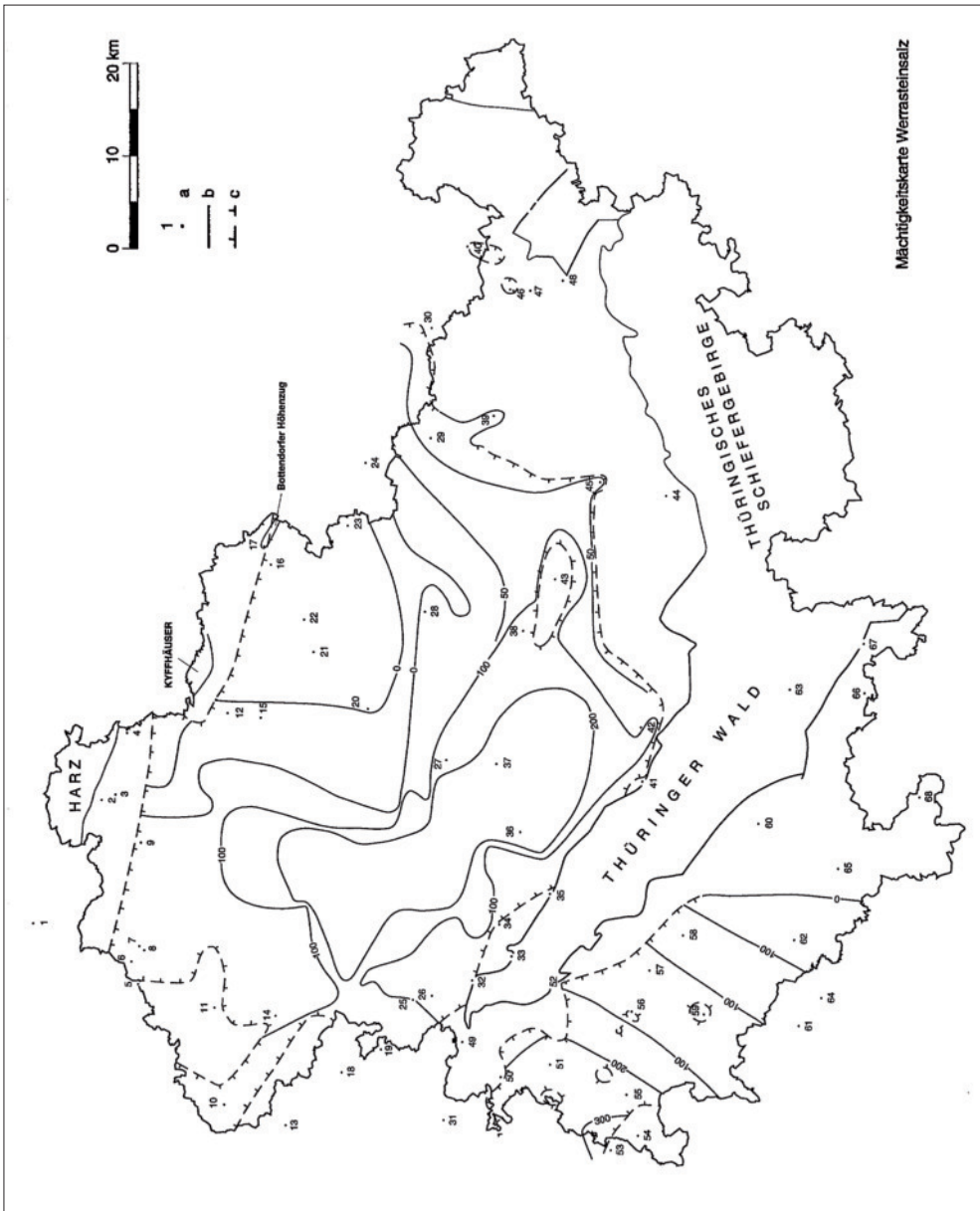


Abb. 6: Verbreitungs- und Mächtigkeitkarte des Werra Steinsalzes. Legende s. Abb. 1.

vom Werra-Kaligebiet Subrosionssenkten mit Pliozän und Quartär (Gerstungen, Oberzella, Werratal zwischen Schmalkalden und Immelborn, Horschlitt) und Subrosionssenkten mit Quartär (Tiefenort-Kieselbach (51), Lindenau-Frauensee, Werratal zwischen Immelborn und Allendorf, Großensee-Dankmarshausen sowie Rosa (56)).

Der Werraanhydrit enthält nach SEIDEL (2010) in vier von sechs Kleinzyklen Steinsalz. Da das Steinsalz i.d.R. abgelaugt ist, ehe die Vergipsung und Subrosion des Anhydrites beginnt, wurde eine Mächtigkeitkarte des gesamten Werraanhydrites entworfen (s. Abb. 7).

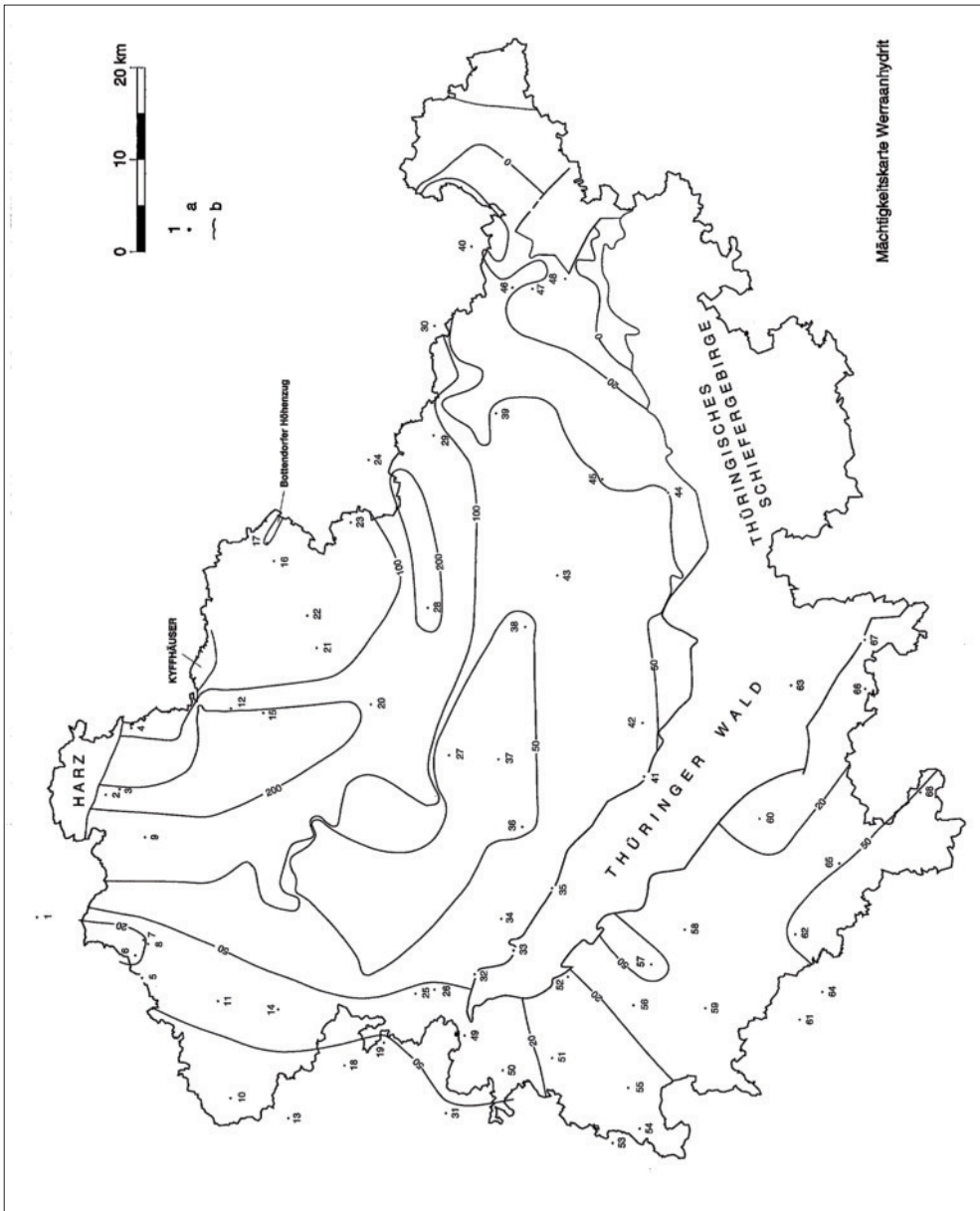


Abb. 7: Verbreitungs- und Mächtigkeitkarte des Werraanhydrites. Legende s. Abb. 1.

Die größte Mächtigkeit besitzt der Werraanhydrit in dem Mächtigkeitwall (mehr als 100 m bzw. mehr als 200 m) vom Harz über die Bohrungen Straußfurt (20), Ballstedt (28) und Eckartsberga 1 (24). Am Harz streicht dieser Mächtigkeitwall aus und verursacht hier wesentlich die Häufung von Erdfällen mit. Am Kohnstein bei Niedersachswerfen (2) trägt der Werraanhydrit eine bis 25 m mächtige Gipsrinde (KLAUA 1967).

Die geringmächtige Fazies des Werraanhydrites im inneren Teil der Thüringischen Senke streicht am Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug aus. Am Kyffhäuser entstanden in der

Numburger Höhle und Barbarossa-Höhle Auslaugungshöhlen im Werraanhydrit (VÖLKER & VÖLKER 2001).

Vom o.a. Mächtigkeitwall nimmt die Stärke des Werraanhydrites nach SE ab (s. Abb. 7). Bei Krölpa (44) kann man in den auflässigen Gipsbrüchen eine Gipsrinde auf Unterem Werraanhydrit beobachten, die bereits größtenteils abgebaut wurde. Im Gips treten Erdfälle auf, die Zechsteinmergelsteine und Leinedolomit enthalten. BIEWALD et al. (2009) beschreiben eine Subrosionshöhleform im Werraanhydrit von Pöbneck. Am NE-Rand des Thüringer Waldes kommt Werraanhydrit in einer Mächtigkeit von 50–100 m vor. Auf der Eichsfeldschwelle (Bohrungen Holungen, 8, bis Creuzburg, 26) entstanden nur wenige Erdfälle durch diese Sulfatschicht, die hier in der Regel in größeren Tiefen liegt.

In SW-Thüringen treten nur in Gebieten ohne Werrasteinsalz Erdfälle im Werrasulfat auf.

Das Werrakarbonat tritt in der Fazies des Zechsteinkalkes, des Werradolomites und des Riffes auf. Auslaugungen sind aus der Riff-Fazies bekannt. KERKMANN (1968) beschreibt 22 Höhlen bei Liebenstein, Thal, Königsee, Ranis-Pöbneck, Döbritz und Neuenhofen. Am besten kann man die Subrosion eines Riffes in der Altensteiner Höhle beobachten. Dieses Höhlensystem mit langer Erstreckung enthält viele kleine und große Höhlen mit Höhlenseen und einen starken Höhlenbach. BIEWALD (1992) erwähnt eine begehbare Erdfallhöhle südlich des Stausees Scheibe im Werrakarbonat. Er zeigte auf der damaligen Exkursion mehrere Erdfälle im Werradolomit des Grabens von Scheibe-Alsbach (63).

8 Geologische Stellung und Subrosion

Keupersalz entstand in der Thüringischen Senke und konnte sich im tiefsten Teil des Thüringer Beckens, in der Schillingstedter Mulde (22), als Auslaugungsinsel erhalten. Das in der Thüringischen Senke entstandene Muschelkalksalz tritt in der Schillingstedter Mulde, Erfurter Mulde und anderen Mulden des Thüringer Beckens als Auslaugungsinseln auf. Das Rötsteinsalz ist im Inneren des Thüringer Beckens als große Auslaugungsinsel erhalten geblieben (s. Abb. 1). Die kleine Auslaugungsinsel bei Buchenau (25) spricht dafür, dass sich Rötsteinsalz primär auch auf der Eichsfeldschwelle bildete. Alle Triassalze sind also allseitig von der Subrosion begrenzt. Es bildeten sich Subrosionssenken und Erdfälle über den Triassalzen.

Leine- und Allersteinsalz erreichen insgesamt über 100 m Mächtigkeit in der Südharzvorsenke. Zum Harz nimmt die Mächtigkeit zunächst primär ab. Im NE und W begrenzt die Ablaugung Allersteinsalz und Leinsteinsalz. Sie sind nur zum geringen Teil an der Bildung der Auslaugungssenken am Harz, Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug beteiligt. Insbesondere das bis zu 500 m mächtige Staßfurtsteinsalz der Thüringischen Senke wirkt sich auf die Auslaugungssenken der Goldenen Aue und die anderen Auslaugungssenken zwischen Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug aus. Die Helme, Zorge, Unstrut sowie Kleine Wipper (z.T. mit Nebenbächen) ließen Lösungstäler in den Steinsalzen entstehen und füllten die Senken mit bis zu 200 m mächtigen tertiären und quartären Sedimenten auf. SEIDEL (1967, Bild 3) demonstrierte in Modellversuchen die Bildung eines ähnlichen Lösungstales. KUHN (2004) beschreibt den detaillierten Sedimentationsablauf in der Goldenen Aue mit der von NE nach SW fortschreitenden Auffüllung der Goldenen Aue.

Das Staßfurtsteinsalz zeigt wie das Aller- und Leinsteinsalz im NE und W eine Begrenzung durch Subrosion, die allerdings weiter am Rand des Thüringer Beckens verläuft (vergleiche Abb. 2 und 4). Die Begrenzung des Werrasteinsalzes bildet im Thüringer

Becken fast ausschließlich eine Subrosionsgrenze (s. Abb. 6). Das Werrasteinsalz im Südwestthüringischen Triasgebiet zeigt (bis auf die Grabfeld-Mulde) eine Begrenzung durch Auslaugung (s. Abb. 6). Es entstanden Auslaugungssenken innerhalb des Werrabeckens und außerhalb der heutigen Steinsalzverbreitung mit bis zu 200 m mächtigen tertiären und quartären Sedimenten. Die Werra mit ihren Nebenbächen spielte die wichtigste Rolle bei der Subrosion. Klüfte, Verwerfungen und Basalte bzw. Tuffbreccien ermöglichten die Wasserwegsamkeit im Steinsalz bzw. in den darüber liegenden Schichten (KÄSTNER 1964, ELLENBERG 1982). Modellversuche von SEIDEL (1967, Abb. 4) zeigten, dass die Salzablaugung unter Sand an Kunststoffplatten (für Klüfte) schneller fortschreitet als ohne diese Platten. Eine Kreuzung von Klüftzonen und Störungen dürften zu kesselartigen Subrosionsformen führen, die wir von Subrosionssenken kennen.

Das abgelagerte Steinsalz unter den Subrosionssenken wird (nach Mittelwerten aus zehn Auslaugungssenken) nur zu etwa 50 % wieder von Sedimenten aufgefüllt. Die Ablaugung pro Jahr ergab im Mittelwert von zehn Subrosionssenken 0,1 mm/ Jahr (ermittelt aus dem Alter der Sedimente in den Subrosionssenken). PUTSCHKUS (1993) berichtet von künstlichen Eingriffen in den Karstwasserspeicher des Zechsteins vom Rückhaltebecken Kelbra (nördlich Kyffhäuser) bis hin zum Sangerhäuser Kupferschieferrevier, die sich 10–15 Jahre danach durch Erdfälle auswirkten. Es entstanden über 30 große Erdfälle durch diese künstliche Auslaugung. Der geringe Wert der natürlichen Subrosionsrate spricht dafür, dass die Ablaugung zeitweise zum Stillstand kam.

Die Erdfälle des Heldburggipses und des Grundgipses liegen in der Thüringischen Senke bei Sömmerda, Erfurt, Arnstadt und im Grabfeld (s. KATZSCHMANN 2010). Erdfälle durch Auslaugung des Muschelkalksulfates findet man vorzugsweise in der Thüringischen Senke. Der Rötgips und der Leinegips zeigen eine Mächtigkeitzunahme von S nach N. Rötgips-Erdfälle treten in den Ausstrichgebieten des Oberen Buntsandsteins im Thüringer Becken auf. Der Leinegips bildet vor allem Erdfälle am Harz, Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug.

Sangerhäuser Anhydrit tritt auf vom Bottendorfer Höhenzug bis fast nach Nordhausen am Harz. Der Mächtigkeitwall des Unteren Staßfurtanhydrites und des Werraanhydrites streicht am Harzrand bei Nordhausen aus. Beide Sulfate sind gemeinsam mit Leineanhydrit und Sangerhäuser Anhydrit am bedeutenden Erdfallgebiet am Harz, aber auch am Kyffhäuser und Bottendorfer Höhenzug wesentlich beteiligt. Der Werraanhydrit zeigt auch am Südrand und Ostrand des Thüringer Beckens sowie am SW-Rand des Thüringer Waldes (südlich von Eisenach) Subrosionsformen. HAASSENGIER (2007) führte Auslagerungsversuche bis zu 6 Jahren (in Weimar, Sömmerda und Clausthal) und Frost-Tau-Wechselversuche an Anhydriten durch. Diese Werksteinuntersuchungen besitzen auch eine Bedeutung für das Verständnis der Verwitterung von Sulfaten im geologischen Verband. Auf den Anhydriten bildete sich bei den Auslagerungsversuchen eine lockere Gipsschicht, die durch Regen aufgelöst und abtransportiert wurde. Bei den Frost-Tau-Wechselversuchen führten Klüfte, dolomitische Flasern und Mergelstein-Lagen im Sulfat zu stärkerer Zerstörung als in reinen Sulfaten. Das bestätigte sich auch bei den Auslagerungsversuchen. Der Masserverlust betrug nach sechs Jahren Auslagerung im Gebirge (Clausthal) etwa das dreifache der Werte im Thüringer Becken (Sömmerda, Weimar). Man darf vielleicht daraus die grobe Schlussfolgerung ziehen, dass die Subrosion von Sulfaten an den Gebirgsrändern (mit starker Klüftung, mittlerer Anzahl von Frost-Tauwechsellern und mittleren Niederschlägen) etwa doppelt so hoch liegt wie im Thüringer Becken.

In der Kalibohrung Bendeleben (12) beobachteten LANGBEIN & SEIDEL (1960), dass an der Auslaugungsgrenze des Staßfurtsteinsalzes zum Sangerhäuser Anhydrit dieser als Anhydrit

vorliegt. Die Vergipsung von Anhydrit erfolgt also erst nach der Auslaugung des Steinsalzes.

Bei den Karbonaten des Muschelkalkes spielten bei der Subrosion die Tektonik und das Wasserdargebot die entscheidende Rolle. In den Zechsteinkarbonaten erweist sich daneben die Porosität (Riff-Fazies, poröse Dolomitfazies) als bedeutsam.

9 Danksagung

Der Verfasser dankt Herrn Dr. J. Jungwirth, Jena, für die Durchsicht der Arbeit und für Hinweise.

10 Literatur

- BELLSTEDT, R.; BODENSTEIN, J.; BRAUNER, S.; BROSIN, P.; CEBULLA, R.; FAUSTMANN, H.; FOHLERT, R.; FULDA, D.; GÖBEL, E.; HOLZHEY, G.; HOPPERT, H.-D.; HÖRCHER, A.; JOCKEL, A.; KUHN, G.; MEISSNER, M.; NESTLER, A.; PETER, U.; PUSTAL, I. & TEICHERT, T. (2005): Thüringen Untertage. – Thüringer Landesanstalt für Geologie, Jena.
- BIEWALD, W. (1992): Zechstein- und Buntsandsteinrelikte im Graben von Scheibe-Alsbach. – Mitteilungsblatt des TGV **1**: 14–15.
- BIEWALD, W. (2003): Die Entstehung von Subrosionshohlformen über tektonisch verursachten Spaltenräumen. – Vortrags- und Exkursionsführer der TLUG- und TGV-Tagung Subrosion und Baugrund in Thüringen: 10–12.
- BIEWALD, W. (2007): Über einige bemerkenswerte Karstformen im Naturschutzgebiet „Windknollen“ zwischen Cospeda und Closewitz bei Jena. – Beitr. Geol. Thüringen NF **14**: 235–258.
- BIEWALD, W. (2009): Subrosionsformen im NE-Voreinschnitt des ICE-Tunnels Augustaburg. – Geowiss. Mitt. Thüringen **13**: 195–204.
- BIEWALD, W.; FISCHER, O.; VÖLKER, CH. & VÖLKER, R. (2009): „Steter Tropfen ...“, eine Subrosions-hohlform im Werraanhydrit von Pößneck. – Geowiss. Mitt. Thür. **13**: 191–194.
- BLUMENSTENGEL, H. & KRIEBEL, U. (2004): Das Tertiär der Bohrungen Auleben 1/89 und Kelbra 6/92 in der Goldenen Aue (Sachsen-Anhalt/Thüringen). – Geowiss. Mitt. Thüringen **11**: 25–38.
- DOCKTER, J. (2004): 4.2. Die Kartierungsbohrung Schillingstedt. – Vortrags- und Exkursionsführer der TLUG- und TGV-Tagung Angewandte Geologie in Thüringen: 42–44.
- ELLENBERG, J. (1982): Die Subrosion im Werra-Kaligebiet. – Z. geol. Wiss. **10**: 61–71.
- FLIEGEL, G. (1929): Der Thermalsolesprudel von Bad Kolberg in Thüringen. – Zeitschr. f. prakt. Geologie **37**: 1–16.
- FULDA, E. (1923): Salzspiegel und Salzhang. – ZDGG **75**: 10–14.
- GEOLOGISCHER LANDESDIENST (2010): Die Bleißberghöhle. – DVD, Herausgeber: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Erfurt.
- GRÄBE, R. & FREYER, G. (1962): Karsterscheinungen und Karstwässer im oberdevonischen Knotenkalk des ostthüringisch-sächsischen Schiefergebirges. – Kurzreferate und Exkursionen der 9. Jahrestagung der Geol. Ges. in der DDR vom 14.–18.5.1962: 47, Erfurt.
- HAASSENGIER, C. (2007): Vorkommen und Eigenschaften der Sulfate des Thüringer Beckens sowie ihre Beständigkeit als Werkstein. – Bericht **25** des Institutes für Steinkonservierung: 1–231.
- HECHT, G. (1999): Die geologischen Ergebnisse der Thermalwasserbohrung Bad Colberg 1994. – Geowiss. Mitt. von Thüringen **7**: 29–49.

- HOPPE, W. (1960): Die Kali- und Steinsalzlagerstätten der DDR, Teil 1: Das Werragebiet. – Freiburger Forschungshefte **C 97**: 1–166.
- JANKOWSKI, G. (1961): Quartäre Ablagerungen im Ried des mittleren Helme- und Unstrutlaufes. – *Z. Geologie* **10**: 50–66.
- JORDAN, H. (1995): Quartäre Tektonik und Gipskarst am Südharz, Niedersachsen. – *Beitr. Geologie Thüringen NF* **2**: 75–96.
- KÄDING, K.-CH. (1978): Stratigraphische Gliederung des Zechsteins im Werra-Fulda-Becken. – *Geol. Jb. Hessen* **106**: 123–130.
- KÄSTNER, H. (1964): Zur Kenntnis der Auslaugungserscheinungen im südlichen Werra-Kaligebiet. – *Bergakademie* **16**: 147–153.
- KÄSTNER, H. (1995): Die Bohrung Oberkatz 1/63 – ein interessanter Aufschluß im Bereich der Spessart-Rhön-Ruhla-Schwelle. – *Geowiss. Mitt. Thüringen* **3**: 61–81.
- KÄSTNER, H. & SEIDEL, G. (1965): Zur Ausbildung des Oberen Buntsandsteins (Röt) in Weststüringen. – *Geologie* **14**: 145–152.
- KÄSTNER, H.; SEIDEL, G.; GESANG, H.; HOLZHEY, G.; KATZSCHMANN, L.; MÄDLER, J.; MEISSNER, M.; MICHEL, C. & PUSTAL, I. (1996): Erläuterungen zur GK 25 Bl. Erfurt, Nr. 5032. – Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar.
- KATZSCHMANN, L. (1998): Quartäre Sedimente und Subrosion westlich von Erfurt. – *Geowiss. Mitt. Thüringen, Beiheft* **7**: 94–111.
- KATZSCHMANN, L. (2010): Erdfallverteilung in Thüringen. – Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Ostthüringer Zeitung vom 18.11. 2010.
- KATZSCHMANN, L.; SEIDEL, G.; BIEWALD, W.; BRANDTNER, W.; GRASSELLT, T.; HOLZHEY, G.; KÄSTNER, H.; MÄDLER, J.; MEISSNER, M. & PUSTAL, I. (2006): Erläuterungen zur GK 25 Bl. Erfurt-W, Nr. 5031. – Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar.
- KERKMANN, K. (1968): Höhlen und Burgen im Gebiet der thüringischen Zechsteinriffe. – *Wiss. Ztschr. Hochschule f. Archit. u. Bauwesen Weimar* **15**: 577–581.
- KLAUA, D. (1967): Erkundungsmethodik und Verwertbarkeit von Gipssteinen des Zechsteins am Südharzrand. – *Z. f. angew. Geologie* **13**: 607–609.
- KUHN, G. (2004): Pleistozäne Ablagerungen in der Goldenen Aue zwischen Nordhausen und Heringen. – *Geowiss. Mitt. Thüringen* **11**: 5–23.
- KULICK, J. (1987): Zechstein. – In: Erläuterungen zur GK 25 Bl. Sontra, Nr. 4925. – Hess. Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden: 37–97.
- LAEMMLEN, M.; DIEDERICH, G.; FICKEL, W.; HAHN, H.; KÄDING, K.-C.; MEISL, S. & WENDLER, R. (1975): Erläuterungen zur GK 25 Bl. Geisa, Nr. 5225. – Hess. Landesamt f. Bodenforschung, Wiesbaden.
- LANGBEIN, R. & SEIDEL, G. (1960): Zur Frage des „Sangerhäuser Anhydrites“. – *Geologie* **9**: 778–787.
- LANGBEIN, R. & SEIDEL, G. (1968): Zur Auslaugung am Südrand des Harzes. – *Geologie* **17**: 529–542.
- LANGBEIN, R. & SEIDEL, G. (2003): 4.5.1.2. Muschelkalk. – In: SEIDEL, G. (Hrsg. 2003): *Geologie von Thüringen*. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 342–357.
- POMPER, J. (1962): Erkundungsmethodik des Objektes „Gips Rottleberode“. – *Ber. Geol. Ges. DDR* **7**: 117–128.
- PUTSCHKUS, F. (1993): Die Auslaugung im Südharzvorland und ihre Auswirkung auf den Baubestand und die Bauplanung. – *Geowiss. Mitt. von Thüringen* **1**: 99–120.
- REH, H. (1959): Geologische Auswertung der Erkundungsergebnisse für die mineralische Rohstoffbasis der Sodafabrik Buchenau (Werra). – *Zeitschr. f. angew. Geologie* **5**: 344–349.
- RUSSE, B. (1994/1995): Die Wiedererschließung der Solevorkommen im Bereich der ehemaligen Saline Heinrichshall (Bad Köstritz). – *Veröfftl. Museum Gera, Naturwiss. Reihe H.* **21/22**: 43–72.

- SCHMID, E. E. (1864) : Die Gliederung der Oberen Trias im Salzschat bei Erfurt. – ZDGG **16**: 145–154.
- SCHNEIDER, H. E. (1968): Gipsführung und Auslaugungserscheinungen im Röt von Deuna (Eichsfeld). – Zeitschr. f. angew. Geologie **14**: 18–25.
- SCHRÖDER, B. (2000): GK 25 Bl. Römhild, Nr. 5629. – Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar.
- SCHUBERT, J. (1984): Zur Erschließung des ehemaligen Steinsalzbergwerkes bei Erfurt, Teil 2. Veröffentlichungen Naturkundemuseum Erfurt: 79–96.
- SEIDEL, G. (1965): Zur geologischen Entwicklungsgeschichte des Thüringer Beckens. – Geologie **14**, Beiheft 50: 1–115.
- SEIDEL, G. (1967): Modellversuche zu Auslaugungsvorgängen. – Bergakademie **5**: 250–252.
- SEIDEL, G. (1995): Zur Ausbildung des Oberen Buntsandsteins bei Hildburghausen. – Geowiss. Mitt. von Thüringen **3**: 123–134.
- SEIDEL, G. (2003): Ein vollständiges Keuperprofil von Bad Colberg (Südwestthüringisches Triasgebiet). – Veröffentlichungen Naturhistorisches Museum Schleusingen **18**: 27–30.
- SEIDEL, G. (2005): Subrosion und Hangbewegungen im Saaletal bei Zwätzen und Kunitz (NE-Teil von Jena). – Veröffentlichungen Naturhistorisches Museum Schleusingen **20**: 77–80.
- SEIDEL, G. (2009): Zur Fazies und Auslaugung des Zechsteins und Buntsandsteins auf der Eichsfeldschwelle. – Beitr. Geol. v. Thür. NF **16**: 85–97.
- SEIDEL, G. (2010): Zur Stratigraphie, Fazies und Genese der Werra-Folge (Zechstein 1) in Thüringen. – Beitr. Geol. v. Thür. NF **17**: 101–123.
- SEIDEL, G.; UNGER, K. P.; HABERMANN, G.; HANUSSECK-BIERMANN, M. & PUSTAL, I. (1994): Erläuterungen zur GK 25 Blatt Erfurt-NW, Nr. 4931. – Thüringer Landesanstalt für Bodenforschung, Weimar.
- STEINMÜLLER, A. (1965): Zusammenhänge zwischen Auslaugung, Lagerungs- und Oberflächenformen im thüringischen Eichsfeld. – Zeitschr. f. angew. Geologie **11**: 90–95, Berlin.
- STEINMÜLLER, A. (1969): Quartäre Ablagerungen und nutzbare Gesteine im südlichen Harzvorland und am Kyffhäuser. – Exkursionsführer „Ergebnisse quartärer geologischer Untersuchungen in Thüringen“. Sektion Quartärgeologie der DGGW: 41–56, Berlin.
- STEINMÜLLER, A. (1993): GK 25 Bl. Osterfeld, Nr. 4937. – Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar.
- STEINMÜLLER, A. (1998): Sedimentologie, stratigraphische Gliederung sowie Lagerungsformen der präglazialen Ablagerungen im Auslaugungsgebiet zwischen Kyffhäuser und Nebraer Pforte. – Geowiss. Mitt. von Thüringen, Beiheft 7: 1–61.
- STOLLE, E. (1961): Zur Faziesdifferenzierung im Südharz-Kalirevier. – Ber. D. Geol. Ges. **6**: 266–287.
- UNGER, K. P.; CEBULLA, R.; HOLZHEY, G.; KUHN, G.; MEISSNER, M.; PUSTAL, I.; SCHRAMM, H. & SEIDEL, G. (1994): Erläuterungen zur GK 25 Bl. Gotha, Nr. 5030. – Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar.
- VÖLKER, CH. & VÖLKER, R. (2001): Markante Karsterscheinungen am Kyffhäuser-Nordrand. – TGV-Exkursionsführer: Der Kyffhäuser und sein Umland: 53–70.
- VÖLKER, CH. & VÖLKER, R. (2002): Subrosionserscheinungen im Röt (Oberer Buntsandstein) im Bereich des Ohmgebirges (NW-Thüringen, Eichsfeld). – TGV-Exkursionsführer: 1–36.
- WUNDERLICH, J. (2003): Die Subrosion – Ein weit verbreitetes Phänomen subterranner Abtragung Thüringens. – TLG/TGV-Exkursionsführer „Subrosion und Baugrund in Thüringen“: 2–6.

Eingegangen am 20.11.2011

Prof. Dr. GERD SEIDEL
Ernst-Bloch-Ring 22
D–07743 Jena