

Zusammenfassung

Im Bereich der Naumburger Mulde und der Finne-Störung wurden Untersuchungen zur Tafeldeckgebirgsklüftung im Muschelkalk, zur Drucklösung (Stylolithen) und zur Kinematik der (saxonischen) Bruchtektonik ausgeführt. Es können ein älteres, noch von der Diagenese beeinflusstes „epirogenes“ Kluftsystem und ein nach abgeschlossener Gesteinskompaktion entstandenes „fundamentales“ Kluftsystem unterschieden werden. Bildung und Ausrichtung der Drucklösungsvorgänge werden von sedimentologischen Vorzeichnungen (Schichtung, Intraklasten) und der Orientierung der Kluftsysteme beeinflusst, wodurch ihre Stellung als direkte Deformationsanzeigen eine Einschränkung erfährt. Die mesozoische Bruchtektonik überprägt sowohl Kluftgefüge als auch die Drucklösungsformen, und sie ist im wesentlichen durch vertikale Schollenbewegungen zu charakterisieren, die in der Spätphase auch von dabei induzierten Einengungserscheinungen begleitet werden.

Summary

Analysis of the structural development of the Finne-Fault and the Naumburg Through

Investigations into the platform cover jointing in the Muschelkalk Series (Triassic), the pressure-solution (stylolites) and the kinematics of the (Saxonian) faulting tectonics have been carried through within the range of the Naumburg Trough and the Finne-Fault. An older, still diagenesis-influenced „epirogenic“ joint system and a „fundamental“ one, formed after rock compaction had ended, can be distinguished. Formation and orientation of the pressure-solution processes are influenced by sedimentological patterns (bedding, intraclasts) and the orientation of the joint systems, with consequent restriction of their role as direct deformation indicators. The Mesozoic faulting tectonics superposed both the joint structure and the pressure-solution forms, and is substantially to be characterised by vertical block movements, which in the late phase were also accompanied by concurrently induced confinement phenomena.

Analyse der strukturellen Entwicklung der Finne-Störung und der Naumburger Mulde¹

Mit 8 Abbildungen im Text

Autoren:

Dr. HANS JOACHIM FRANZKE
Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der Erde
Telegrafenberg
Potsdam
1500

Dr. GÜNTER HEISE
Goethe-Allee 51
Dresden
8053

cand. geol. HENRY RAUCHE
Straße des Friedens 50
Freiberg
9200

¹ Mitteilung des Zentralinstituts für Physik der Erde
Nr. 1406

Резюме

Анализ структурного развития финне-нарушения и Наумбургской мульды

В районе Наумбургской мульды и финне-нарушения были проведены исследования по трещиноватости платформенного чехла в раковинном известняке, по разобщению воздуха [стилолита] и по кинематике [саксонской] глыбовой тектоники. Можно различить старую, ещё подвергшуюся влиянию диагенеза „эпегеническую“ систему трещин и возникшую после законченной компактности пород „фундаментальную“ систему трещин. Образование и подготовка процессов разобщения давления подвергаются влиянию седиментологических знаков [расслоение, внутриобломочные осадки] и ориентации системы трещин, в связи с чем их положение как признаков деформации ограничивается. Мезозойская глыбовая тектоника превосходит как трещины так и формы разобщения давления и она характеризуется в основном вертикальными движениями глыб, которые в позднюю фазу сопровождаются индуцированным сжатием.

1.

Problemstellung

Die Autoren dieses Beitrages haben versucht, die Ergebnisse der Kluftuntersuchungen von HEISE (1966) dem neueren Stand der Forschung zur Tafeldeckgebirgsklüftung (u. a. BOCK 1980) anzupassen und durch die Einbeziehung von Drucklösungsgefügen (Stylolithen) als Indizien für Gesteinsdeformation und durch kinematische Studien an Störungen im Tafeldeckgebirge zu erweitern.

Die Untersuchungen gingen von der Naumburger Mulde aus und wurden auf die Finne-Störung ausgedehnt, so daß die Gefüge im Bereich der bruchtektonisch wenig deformierten Tafel denen einer Störungszone gegenübergestellt werden können.

In Anwendung der Untersuchungen von P. und E. BANKWITZ (zuletzt 1984) deuten die Kluftbilder in Buntsandstein und Muschelkalk des Arbeitsgebietes darauf hin, daß es sich mit Ausnahme der Wellenstreifen und Sigmoidalklüfte (Querplattung) um einfache Zugbrüche mit durchschnittlich geringer Auslenkung der Randkluftsysteme um 10...20 Azimut- und Neigungsgrade zur Hauptkluft handelt (Winkel Beta). Ihre Morphologie zeichnet sich durch relativ ebene, wenig skulpturierte Flächen aus, die nach P. und E. BANKWITZ (1984) energetisch einen Gleichgewichtszustand von Deformations- und Oberflächenenergie ausdrücken. Diese Aussage wäre im Hinblick auf die weiter unten gefolgerten geringen Druck- oder Zugspannungen bei ihrer Genese von Bedeutung.

Für die Zwecke einer Übersichtskarte scheint es zulässig, die generalisierten Kluftlagen darzustellen und die Senkrechten auf den Maxima der auftretenden Kluftscharen – näherungsweise – den Achsen der kleinsten horizontalen Hauptnormalspannung zum Zeitpunkt der Bildung der jeweiligen Kluftscharen zuzuordnen.

Der Schwerpunkt der Analyse liegt in der Untersuchung der Zeitlichkeit, regionalen Verbreitung und Kinematik der untersuchten Rupturenmuster in der Dimension der geologischen Spezialkarte 1:25 000.

2. Kluftgefüge

2.1. *Gemeine Klüfte, Wellenstreifen und Querplattung (Epirogenes Kluftsystem)*

Über Wellenstreifen und Querplattung hat KURZE (1981) zusammenfassend referiert und gefolgert, daß sie den Sedimenten in „wenig verfestigtem Zustand aufgeprägt wurden“. HEISE (1966) betonte die enge genetische Verknüpfung dieser Gefügeformen mit „gemeinen Klüften“, die er in Anlehnung an M. SCHWAB (1965) auf den epirogenen Absenkungsprozeß der Thüringischen Senke bezieht, da sie deren äußeren und inneren Konturen folgen. KURZE (1981) bezeichnet in Anlehnung an SCHMITT (1935) diese Kluftgruppe als Primärklüfte.

Die „gemeinen Klüfte“ im Wellenkalk sind feine, schichtinterne, haarrißartige Klüfte von Dehnungsbruch-Habitus mit feinkristalliner Calcitverheilung.

Es kann auch in unserem Arbeitsgebiet belegt werden, daß „Haarrisse“ und Wellenstreifen noch durch Sedimentgleitung plastisch verformt worden sind und an Intraklasten und Grabgängen im Sediment absetzen, also noch in ein frühes Diagenesestadium zu stellen sind.

Während „gemeine Klüfte“ und Wellenstreifen (Abbildung 1) zwei- oder mehrschalig, meist in orthogonalen Gittern auftreten, ist bei der Querplattung (Sigmoidalklüftung) die N-S- bis NNE-SSW-Schar stark betont, die mit 40...90° nach West, selten nach Ost einfällt. Innerhalb einiger Aufschlüsse, z. B. Steinbruch Balgstädt bei Freyburg/Unstrut, konnte auch der Übergang von West zu Ost einfallender Querplattung beobachtet werden.

Die Querplattung tritt vor allem im unteren Teil des Wellenkalkes bis zur Oolithzone, in der Schaumkalkzone und in den dolomitischen Mergeln des Mittleren Muschelkalkes auf. Sie ist besonders an Zonen mit submarinen Erosionserscheinungen, mit subaquatischen Sedimentzergleitungen im teilverfestigten Zustand (Phacoidisierung) und bei der Bildung von submarinen Gleitfalten (mit stark um die SW-NE-Richtung streuenden Achsenlagen) gebunden.

Nach HEISE (1966) geht mit wachsender sigmoidaler Durchbiegung der Querplattungsklüfte eine proportionale – plastische – Verminderung der Bankmächtigkeit einher, und die Schichtflächen der Querplattungsbänke können eine Gleitstreifung in E-W-Richtung aufweisen, deren Relativbewegung nach Westen gerichtet ist. Das bedeutet, daß vertikale Kompression (Auflast) und laterale Gleitung an der plastischen Ausgestaltung der Querplattung beteiligt gewesen sein müssen. HEISE (1966) beschreibt ferner eine stengelig ausgebildete, schubklüftungartige Querplattung aus der Naumburger Mulde.

Haarrisse und Wellenstreifen sind Ausgangs- und Zwischenstadium einer Deformationsreihe, die zur Querplattung führt, von den oben genannten Erscheinungen begleitet wird und dem Diagenese-prozeß zuzuordnen ist.

Abbildung 1 verdeutlicht, daß alle drei Gefügeelemente räumlich konform zueinander verlaufen. Das gilt auch für Gebiete mit abweichendem Streichen, zum Beispiel an der Rudelsburg südlich von Naumburg, wo ein Umschwenken aller Gefügeelemente in die N-S/E-W-Richtung erfolgt. Es besteht auch eine gute Übereinstimmung mit den Azimuten der später diesen Rupturen aufgeprägten Drucklösung (H-Stylolithen) und der Primärklüfte (fundamentales Kluftsystem). Ferner ist eine räumliche Beziehung zu den NW-SE-Isopachen des Schaumkalkes und seinen Hauptschüttungsrichtungen (SSW-NNE und WSW-ESE), d. h. mit paläogeographischen Konturen der Thüringischen Senke, angedeutet.

Andererseits schneiden diese syndiagenetischen Flächenscharen diagonal (mit 10...40° Divergenz) die in späteren Entwicklungsstadien entstandenen Sattel- und Muldenstrukturen des Gebietes, und die NNE-Richtungsgruppe setzt unbeeinflusst über die im Deckgebirge erst später ausgeprägte Finne-Störung hinweg, während die WNW-ESE-Rupturengruppe der diagenetischen Klüftung parallel zur Finne streicht.

Im Bildungszeitraum dieser Gefügeelemente (Mittlere bis Obere Trias) existierte die Finne-Störung also weder als Rupturzone noch als Aufsattelung oder Einmuldung im Stile einer Deckgebirgsverfaltung. Wellenstreifen und Querplattung zeichnen die epirogen-taphrogene

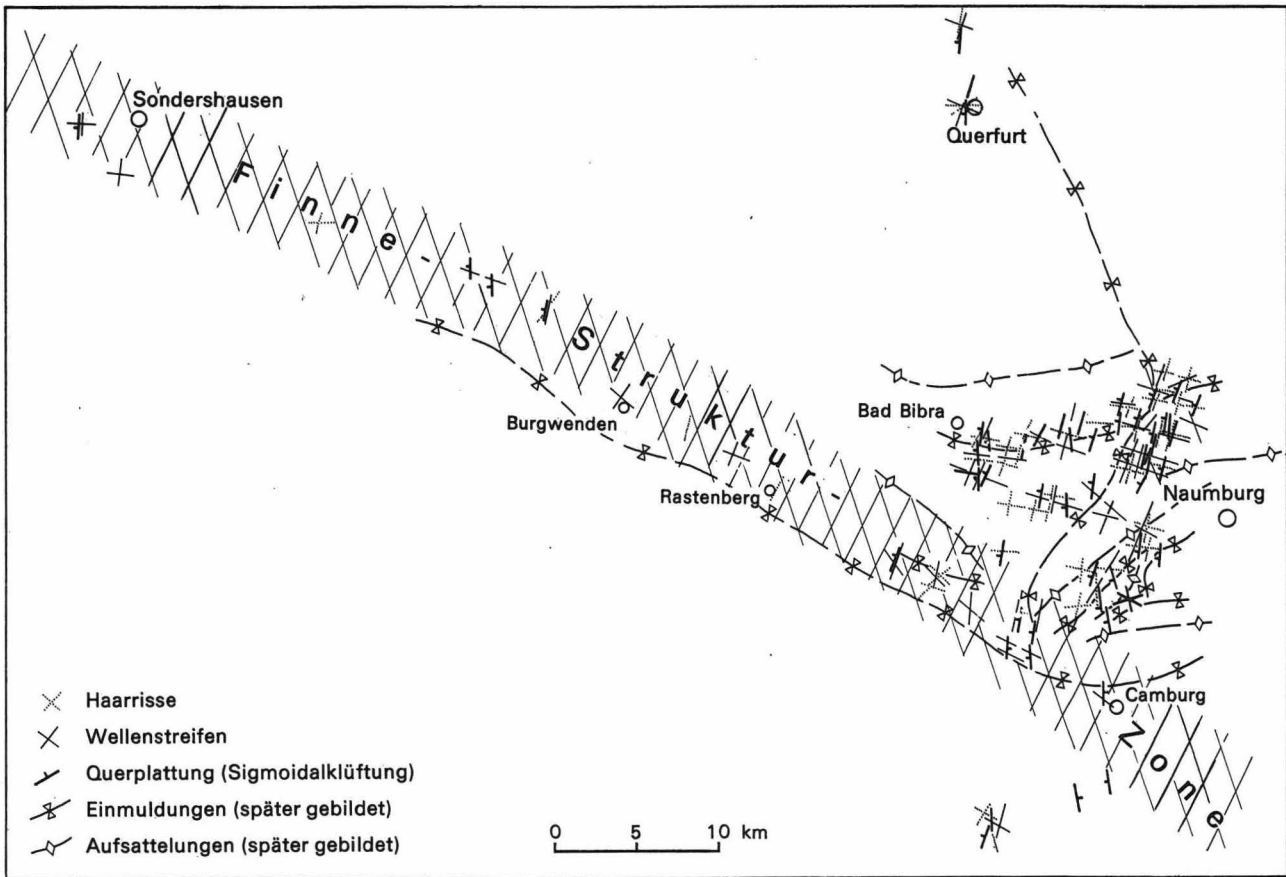


Abbildung 1
Geologische Übersicht mit Arbeitsgebiet und Anordnung des epirogenen Kluftegitters

Einsenkung des triassischen Thüringischen Troges (SSW-NNE) und seine Abtreppung nach Norden nach. Dieses engmaschige, vor allem durch die Wellenstreifen geprägte feine Klufnetz stand als Vorzeichnung für weitere Deformationen zur Verfügung.

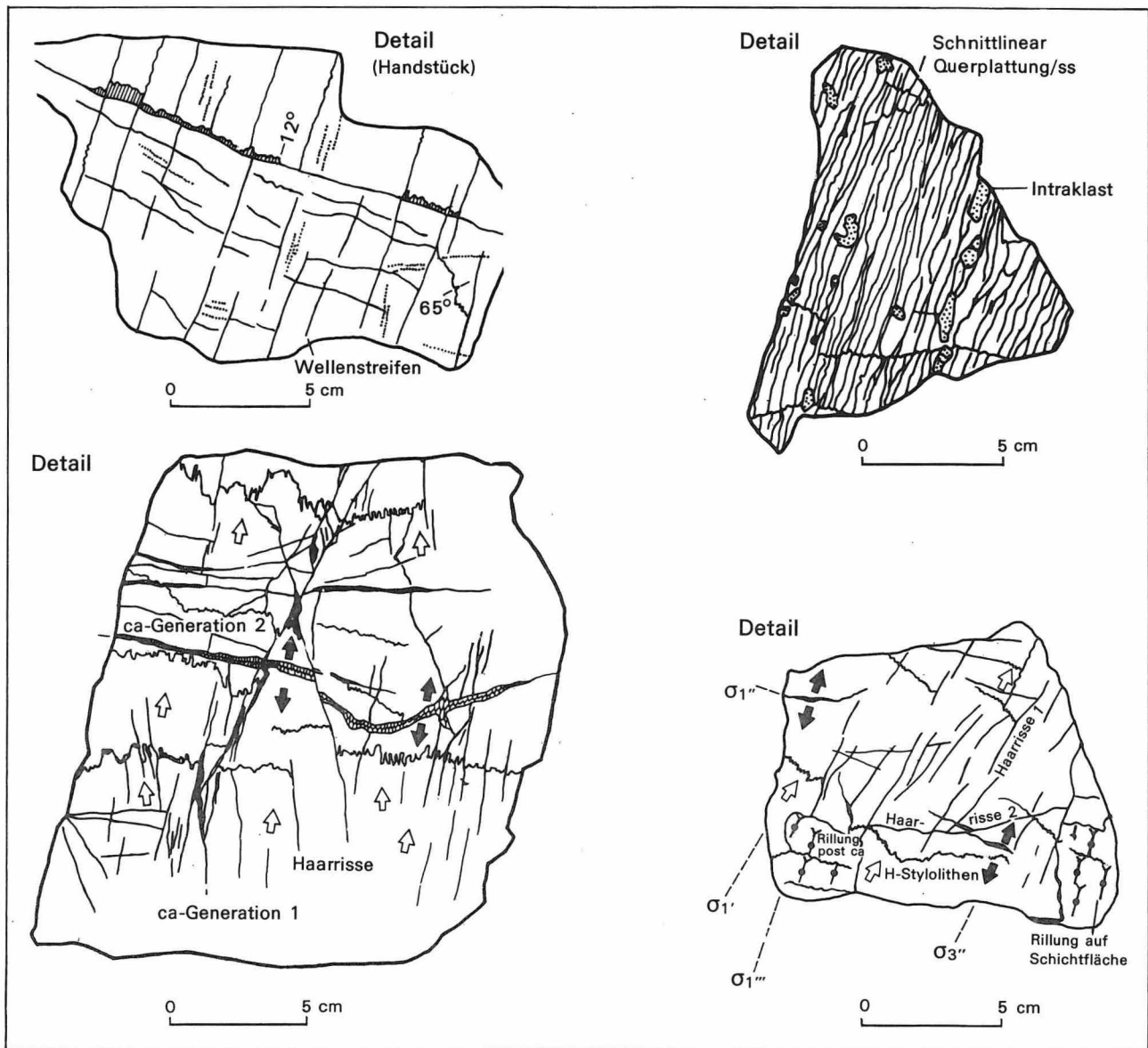
2.2.

Primärklüfte (Fundamentales Klufsystem)

Unter primären oder primärtektonischen Klüften im Deckgebirge verstehen SCHWAB (1965) und HEISE (1966) in Anlehnung an LOTZE (1933) die bankinternen und banknormal ausgerichteten Klüfte, die nach der Kompaktion ab dem Höhepunkt der epirogenen Einsenkung und beim Wiederaufstieg (Bock 1976, 1980) durch weiträumige Durchbiegung der Schichten in den Sedimentationströgen entstehen. Es ist die überwiegende Zahl der Deckgebirgsklüfte, de-

ren Oberflächenform sie als durch Zugbruch entstanden ausweist (P. und E. BANKWITZ 1982, 1984) und von NICKELSEN und HOUGH (1980) und von BOCK (1976, 1980) als „fundamentales Klufsystem“ bezeichnet werden. Die Karte (Abbildung 3) und die Diagramme lassen erkennen, daß das fundamentale Klufsystem vornehmlich, aber nicht ausschließlich orthogonalpaarig auftritt und – angezeigt durch die Ausrichtung der Hauptdurchtrennung in SSW-NNE-Richtung – den Kontruren der triassischen Thüringischen Senke (SEIDEL 1965, WEBER 1977) folgt. Die orthogonale Nebenrichtung, die den gleichen Durchtrennungsgrad wie die Hauptschar erreichen kann, streicht in WNW-ESE-Richtung, also quer zur Längsachse der Senke.

Neben dieser generellen Orientierung auf die Konfiguration der Senke sind auch deutliche geometrische Beziehungen zu den flachen Speziälsätteln und -mulden von einigen Kilometern Spannweite (5...6 km) entwickelt, die



SSW-NNE (Naumburger Mulde), E-W (Rudelsburg, östlich Bibra), SW-NE (zwischen Bad Kösen und Naumburg) und in NNW-SSE-Richtung (südliche Fortsetzung der Naumburger Mulde zwischen Bad Sulza und Apolda) verlaufen.

Der Streifen der sich erst später rapturell ausprägenden Finne-Störung paßt sich insofern dem fundamentalen Kluftgitter an, als die Haupttrichtung senkrecht, die Nebenrichtung parallel zur Störungszone verläuft.

Der Geneseprozess des fundamentalen Kluftsystems ist zwischen Sedimentkompaktion und Formung der mittelspannigen flachen Sattel- und Muldenstrukturen der genannten Richtungen einzuordnen und wird damit von der epiro-

gen-taphrogenen Eintiefung der Thüringischen Senke (WEBER 1977) und von der halotektonisch beeinflussten Sattel- und Muldenbildung kontrolliert. Relativzeitliche Marken für die Genese der fundamentalen Klüfte in Gesteinen der Unter- und Mitteltrias sind die abgeschlossene Kompaktion – wahrscheinlich nach Ablagerung des 400...500 m mächtigen Keupers (kimmerisch) – und die Aufrichtung, kurzweilige Verfaltung und Dislozierung der Schichtverbände in der Oberkreide (austrisch bis subherzynisch). Hierbei wurde das fundamentale Kluftgefüge bereits sekundär verstellt.

Entsprechend seiner Genese zeigt das fundamentale Kluftsystem eine deutliche geometrische Bindung an epirogen-taphrogene Struktu-

ren der Deckgebirgsentwicklung (Thüringische Senke) und auch an die halotektonisch beeinflussten Sattel- und Muldenstrukturen, zum Beispiel an die Naumburger Mulde, deren Kinematik von vertikalen Bewegungen des subsalinen Schollenfeldes bestimmt wird (v. BUBNOFF 1955, S. 14, HESSMANN 1983).

Die Ausrichtung der Kluftgitter wird nach BOCK durch die Form der Sedimentationströge bestimmt, da längs und quer zu den Trogachsen eine unterschiedliche Durchbiegung erfolgt und die im Vergleich zur Auflast (= Sigma 1) geringen und im Betrag zueinander wenig unterschiedlichen (sub-)horizontalen Achsen der mittleren und kleinsten Hauptnormalspannungen (Sigma 2 und 3) längs und quer zur Trogachse orientiert sind. Der gleiche Kräfteansatz ist für die langgestreckten halotektonischen Sattel- und Muldenstrukturen zu postulieren.

Bei der Bildung der einzelnen Kluftscharen erfolgt jeweils ein Abbau zuvor angehäufter Spannungen, so daß die mittlere und kleinste Hauptnormalspannung intermittierend ihren Platz tauschen, die Richtung beider Achsenlagen dabei aber erhalten bleibt. Hierdurch treten wechselnde relative Altersfolgen der Kluftgenerationen auf. Es ist nach BOCK (1980) sogar die gleichzeitige Bildung eines orthogonalen Kluftpaares möglich.

Die von Ausweitung in ESE-WNW-Richtung begleitete taphrogene Einsenkung des triassischen Thüringischen Troges erforderte aber die Hauptorientierung der kleinsten horizontalen Hauptnormalspannung in diese Richtung, das heißt quer zur Trogachse, was durch die Lage der Hauptkluftchar in Trogrichtung (SSW-NNE) auch bestätigt wird.

Wichtig für die zeitliche Stellung dieses Prozesses sind die Untersuchungen von PRICE (1966), nach denen im Anschluß an die epirogene Einsenkung, beginnend beim Wiederaufstieg der Sedimentationströge durch verzögerte Entwässerung der Sedimente infolge ihrer zunehmenden Zementation, erhebliche Porenwasserüberdrücke erzeugt werden können. Anzeichen für die frühzeitig begonnene Zementation sind u. a. die Calcitverheilung des bei der Diagenese gebildeten Kluftinventars (Haarrisse, Wellenstreifen) und die rupturengebundene Drucklösung auf diesen syndiagenetischen Flächen.

Der Porenwasserüberdruck vermindert die angreifenden Druckspannungen um den Anteil, der nicht auf das Porengerüst einwirkt und als hydrostatischer Anteil allseitig die Porenflüssigkeit erfaßt. Die verbleibende effektive, das heißt nur auf das Korngerüst wirkende Druckspannung kann nach HUBBERT und RUBEN (1959) dadurch so weit abgeschwächt werden, daß bis über 80% der Gesteinsauflast kompensiert werden und in einigen Fällen sogar negative Werte (= horizontale Zugspannungen) auftreten können.

Die Position von Sigma 3 wird damit entscheidend für die Orientierung des Kluftgitters, und die geringen Absolutbeträge der effektiven Spannungen erklären weiterhin den Trennbruchcharakter des fundamentalen Kluftsystems.

Für die Abschätzung der Bildungstiefe sind rezente Spannungsmessungen in situ (BROWN und HOEK 1978) zu beachten. Danach herrschen global in der obersten Erdkruste (bis in über 500 m Tiefe) Druckspannungszustände. Übertragen auf unser Beispiel der relativ flachgründigen Thüringischen Senke mit maximal 1700 m Deckgebirge, davon etwa 1000 m Trias, wären bezüglich des Muschelkalks erst nach Anhäufung des Keupers mit 400...500 m Mächtigkeit die optimalen Bedingungen für die Bildung eines fundamentalen Kluftsystems gegeben. Die stärkere Durchtrennung in SSW-NNE-Richtung belegt die generelle Lage der kleinsten horizontalen Hauptnormalspannung in WNW-ESE-Richtung, wobei die intermittierenden Altersverhältnisse zur Gegenrichtung zugleich geringe Betragsdifferenzen anzeigen. Der mit der Kluftbildung verbundene Spannungsabfall reicht damit zur wechselseitigen Bildung der Gegenrichtung aus. Wir folgern daraus weiterhin, daß für die Bildung des fundamentalen Kluftsystems eine von außen auf die Thüringische Senke einwirkende Kompression oder Dilatation nicht erforderlich ist und die Genese der Deckgebirgsklüftung in diesem Raum aus der Dynamik des triassischen Absenkungsprozesses (Hauptabsenkungsstadium nach G. SCHWAB, NÖLDEKE und TESCHKE 1980, Taphrogenese nach WEBER 1977) und den dabei ausgelösten Spannungsdifferenzierungen erklärt werden kann.

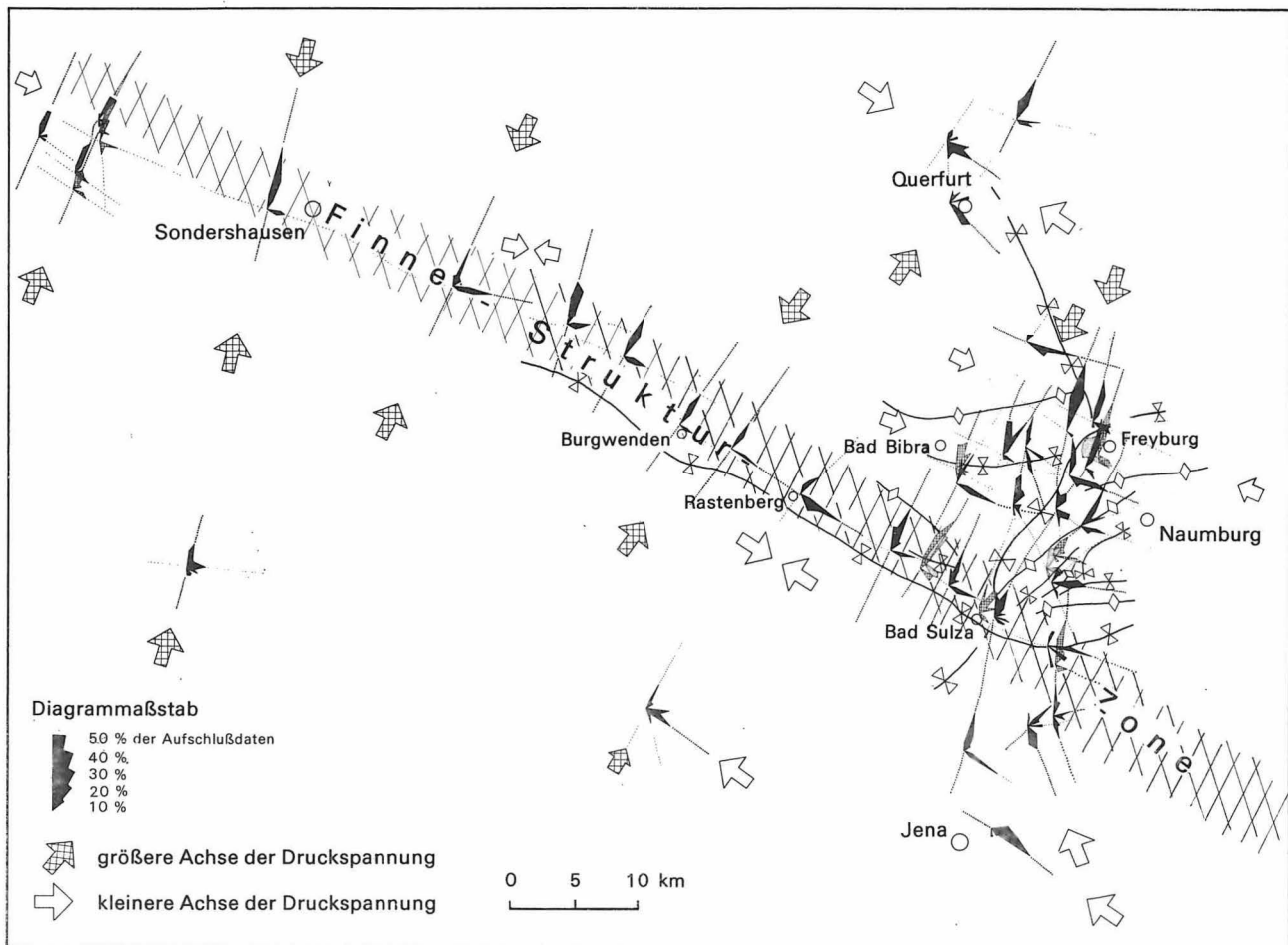


Abbildung 2
Übersichtskarte zur Anordnung der Drucklösung (= horizontale Hauptnormalspannung)

Nach der Paläopollage der Trias (KRS 1979) würden sowohl die Thüringische Senke als auch die mit der Beckendynamik im Zusammenhang stehende Deckgebirgsklüftung eine ursprüngliche meridionale Ausrichtung aufweisen, so daß für ihre Bildung auch die Beteiligung rotationsdynamischer Wirkungen des Erdkörpers in Erwägung zu ziehen sind.

2.3.

Drucklösung

Die Verwendbarkeit von Drucklösungsgefügen zur Deformationsanalyse, besonders in Karbonatgesteinen des Deckgebirges, ist durch zahlreiche methodische Arbeiten und Anwendungsbeispiele untersucht worden. Von einigen Autoren, z. B. WAGNER (1964), SCHRAMM (1967) und MEIER (1984), wurde bereits erkannt, daß sich die Drucklösung eng an den Bildungsprozeß der Kluff- und Störungsgefüge anlehnt bzw. zeitlich

darans anschließt und Flächenbildung die eigentliche Voraussetzung zur rupturengebundenen Drucklösung ist (FRANZKE und JANSSEN 1984, S. 249). Intergranulare Drucklösung wird hier nicht betrachtet.

Unsere Untersuchung zur Drucklösung zielte auf ihre zeitlich-genetische Stellung im Deformationsprozeß des Tafeldeckgebirges und ihren Aussagewert bezüglich der kinematischen Strukturanalyse hin. Die von HEISE (1966) entworfenen Karten der Richtungsverteilung der einzelnen Rupturensysteme wurden deshalb durch eine kartenmäßige Darstellung der Drucklösung ergänzt (Abbildungen 2 und 3). Detailstudien (Beispiele in Abbildung 4) konnten die Stellung der Drucklösung im rupturellen Deformationsablauf der Karbonatgesteine des Muschelkalkes weiter präzisieren.

Hinsichtlich der strukturanalytischen Verwendung der Drucklösungsgefüge sind folgende Beobachtungen wichtig (vgl. Diagramme Abbildung 4 A-E):

- Das während der Diagenese entstandene epirogene Kluftsystem (Wellenstreifen, Haarrisse und Querplattung) wird nachträglich durch Drucklösung suturiert. Auf Schichtfugen (V-Stylolithen) und an Intraklasten im Gestein setzt die Suturierung bereits früher ein.
 - Das epirogene Kluftgitter beeinflusst als intensive Anisotropisierung Anlage und Richtung weiterer Drucklösungsvorgänge.
 - Wesentlicher Träger der rupturgebundenen Drucklösung ist das fundamentale Kluftsystem, dem die Drucklösung ebenfalls nachträglich aufgeprägt wurde. Drucklösung ist damit ein langfristig wirkender Vorgang.
 - Die Intensität der Drucklösung (Zapfengröße und -häufigkeit) wird offensichtlich nicht durch die Intensität tangentialer Einengung, sondern durch Flächenhäufigkeit (Kluftdichte), deren Lösungstransparenz und durch die Lithologie bestimmt.
 - Es existieren keine signifikanten Altersunterschiede zwischen den Richtungsgruppen der H-Stylolithen.
 - Im Bereich der Finne-Störung ist keine Verstärkung der Drucklösung zu erkennen, so daß in ihrer Bildungszeit noch keine klufttektonische Vorprägung der Störungszone anzunehmen ist.
 - Die Ausrichtung der maximalen Drucklösung entspricht mit örtlich geringen Abweichungen der jeweils stärksten Ausbildung des fundamentalen Kluftsystems (meist in SSW-NNE-Richtung).
 - Die Aufrichtung der Schichtverbände in den Deckgebirgsstörungszonen verstellt die vordem subhorizontal orientierten H-Stylolithen.
 - Danach wird die Drucklösung in abgeschwächter Intensität fortgesetzt (H- und Schrägstylolithen, Nadelharnische).
- Obgleich die Drucklösung an sich eine tangentiale Einengung anzeigt, kann ihre Ausrichtung nicht ohne weiteres mit der Lage der Hauptspannungsachsen gleichgesetzt werden, da die starke präexistente Anisotropisierung eine erhebliche Schienung für die Drucklösung bedeutete. Die unterschiedliche Zerteilung des Muschelkalkes in den orthogonalen Hauptrichtungen des epirogenen und fundamentalen

Kluftmusters und die dadurch initiierten unterschiedlichen Zirkulations- und Lösungsbedingungen (NELSON 1981) trugen zur stärkeren Ausprägung der Drucklösung in SSW-NNE-Richtung bei.

Trotzdem ist festzuhalten, daß die geringen Druck- bzw. Zugspannungszustände, wie sie bei der Bildung des fundamentalen Kluftsystems herrschten, durch tangential wirkende Druckspannungen in der Größenordnung der Gesteinsauflast (bis ca. $2 \cdot 10^7$ Pa) ersetzt wurden, die zur horizontal angreifenden Drucklösung am vorhandenen Ruptureninventar führten.

Diese Überformung des Kluftinventars durch Drucklösung ist während des aufsteigenden Astes des epirogenen Zyklus anzusetzen, da hierdurch die Schichttafel angehoben und erodiert wurde und in den Bereich erhöhter Druckspannungszustände gelangte (BROWN und HOEK 1978).

Die Ausrichtung der H-Stylolithenachsen zum epirogenen und zum fundamentalen Kluftsystem zeigt trotz generell guter Übereinstimmung (Abbildung 3) in den Aufschlüssen Links- und Rechtsabweichungen von der senkrechten Lage zur Suturfläche, die beim orthogonalen Flächenpaar gewöhnlich $0...10^\circ$ nicht übersteigen (selten bis 30°), bei diagonalen Kluft- bzw. Suturflächenlagen aber bis über 70° (= Nadelharnische) erreichen können. Es muß also eine eigenständige Überprägung stattgefunden haben, die trotz der vorhandenen Anisotropisierung ihren strukturellen Ausdruck gefunden hat. In Abbildung 2 ist die hypothetische Lage der horizontalen Hauptnormalspannungen des Arbeitsgebietes auf der Grundlage der Drucklösung dargestellt. Die Vorzugsrichtungen der Drucklösung entsprechen generell denen der fundamentalen (und auch der epirogenen) Hauptkluftrichtungen, in der Detaildarstellung sind aber auch Abweichungen zum Kluftgitter erkennbar. Nach einem Modell von P. und E. BANKWITZ (1982) kann man die Detailanordnung der Drucklösungsmaxima als schlängelnden Verlauf der – gedachten – Spannungslinien interpretieren, der durch fazielle und lokale strukturelle Anisotropien bewirkt wurde.

Gemäß einer Vorstellung von LAUBSCHER (1979) erfolgt an diagonal zu angreifenden

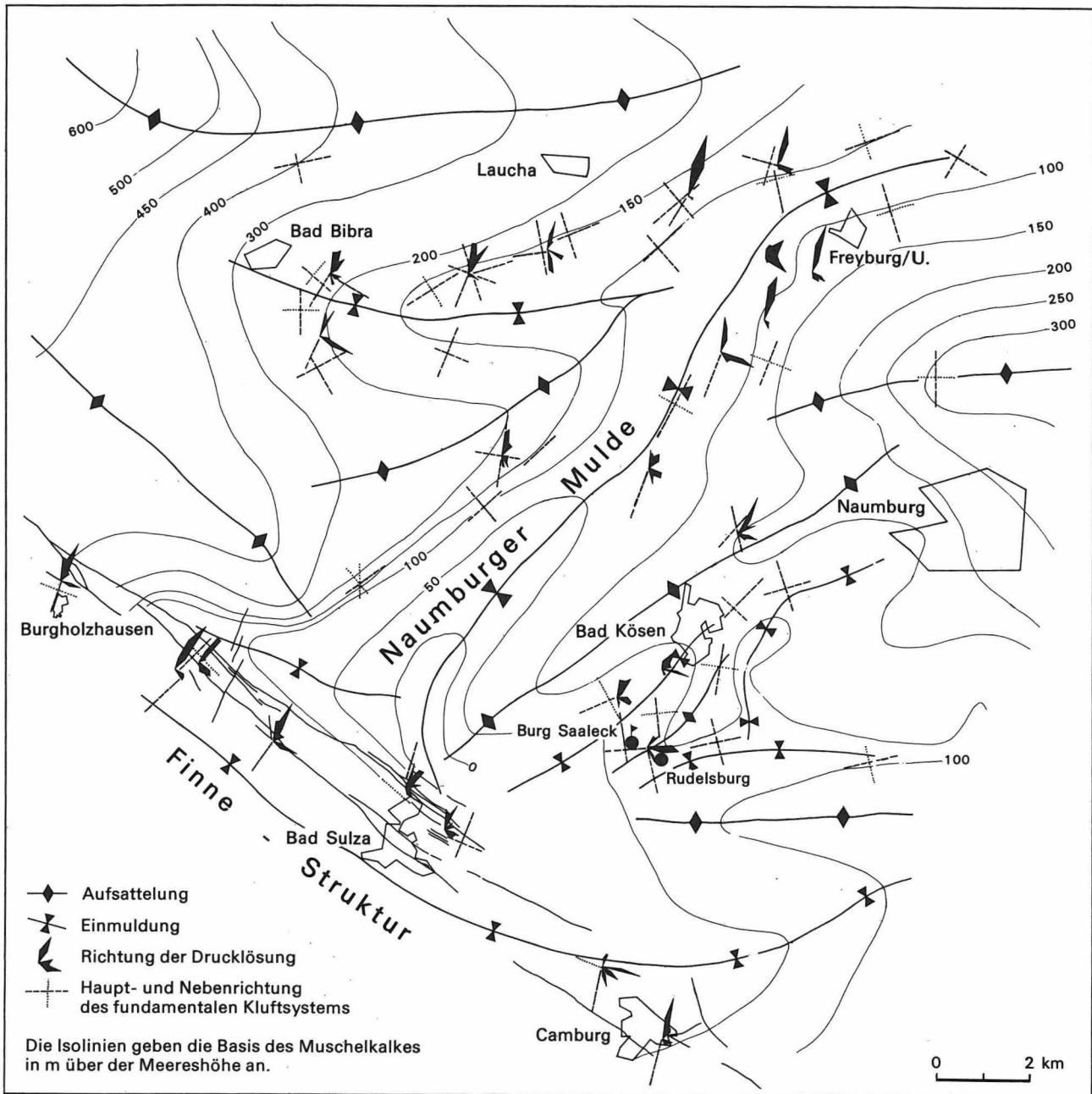


Abbildung 3
 Spezialkarte zur räumlichen Beziehung von fundamentaler Klüftung, Drucklösung und Strukturbau

Spannungen orientierten Rupturen (Klüften, besonders aber Störungen) eine Ablenkung des Spannungsfeldes, die eine weitere Erklärung für die Divergenz der Drucklösung an unterschiedlichen Klüftlagen, besonders den diagonal zum orthogonalen Gitter angeordneten, liefert.

Unsere Detailbeobachtungen zu den Drucklösungsgefügen belegen eine gleichzeitige, zweiseitig-kompressive Einspannung der Sedimenttafel nach der Bildung des fundamentalen Klufsystems und vor dem Einsetzen der ruptu-

rellen Phase der saxonischen Bruchtektonik. Dieser orthogonal-zweiachsige Druckspannungszustand, der sich auch bei regionalen Untersuchungen zeigte (FRANZKE und JANSSEN 1984), ist hinsichtlich seiner Dynamik problematisch.

Durch die Untersuchungen zahlreicher Autoren, u. a. HAST (1969), ist bekannt, daß die Erosionsprozesse bei der Heraushebung von Krustensegmenten, so auch von invertierten Sedimentationströgen, eine im Verhältnis zu den

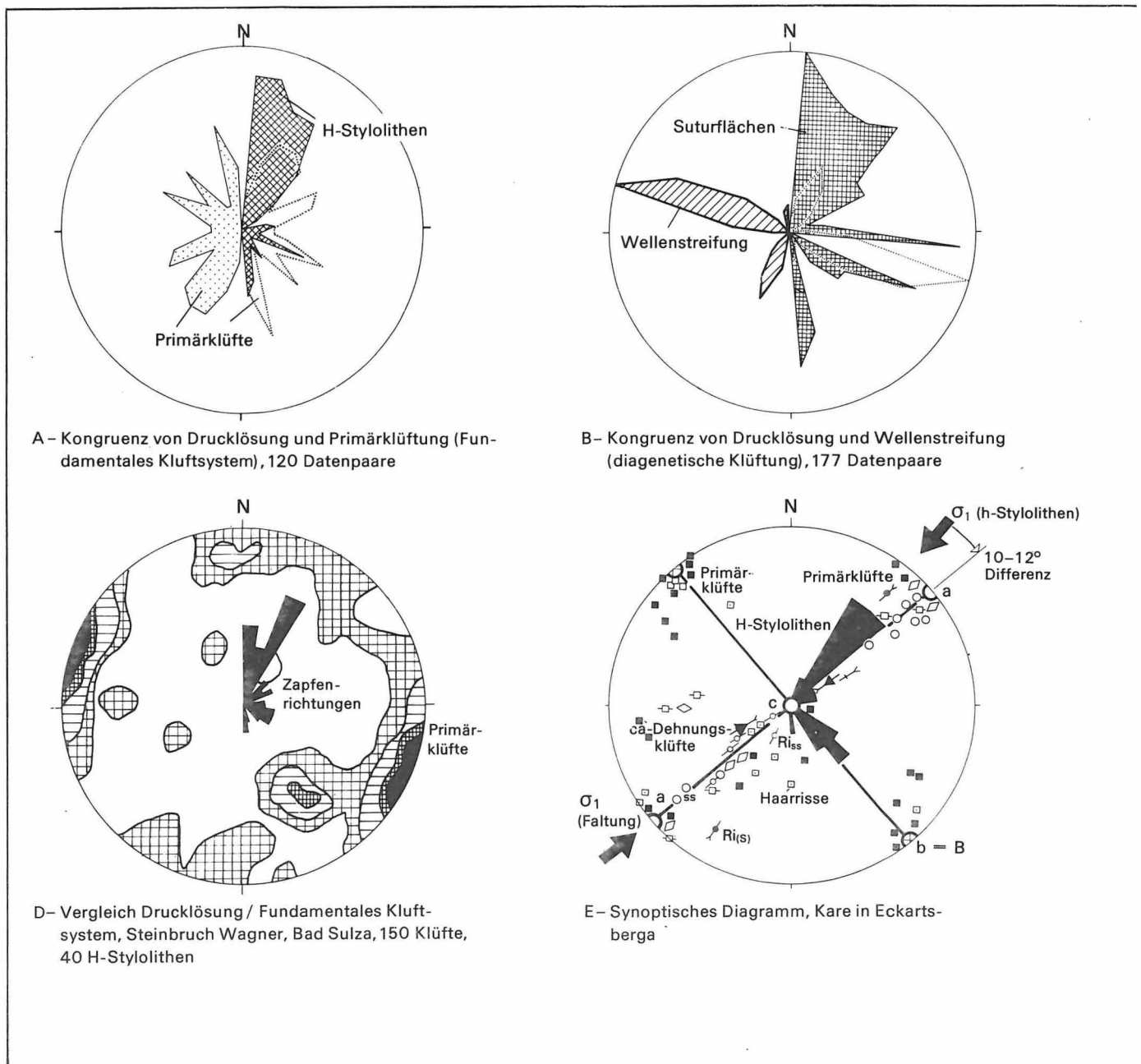


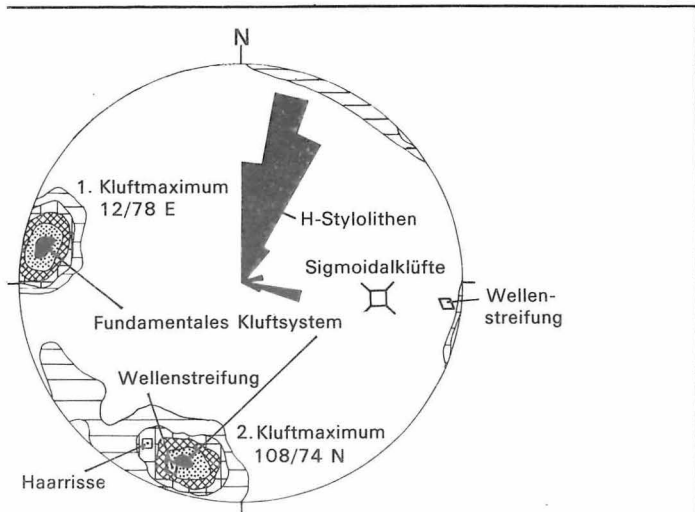
Abbildung 4
Gefügediagramme zur Entwicklung der Finne-Störung

Horizontalspannungen stärkere Abminderung des lithostatischen Auflastdruckes nach sich ziehen, wodurch sich die horizontale Krusteneinspannung in Oberflächennähe relativ vergrößert.

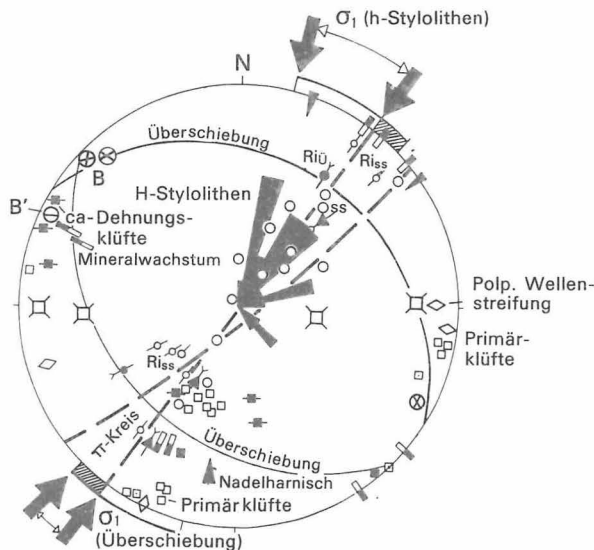
Bezogen auf unser Gebiet ist sogar eine absolute Vergrößerung der effektiven Horizontalspannungen dadurch zu erwarten, daß sich die Porenwasserüberdrücke durch das beim Klüftungsprozeß wachsende Klüftvolumen bereits wieder abbauen, indem dabei vor allem das ef-

fektive Porenvolumen entspannt wird. Damit wird seine den effektiven Druck mindernde, hydrostatische Gegenwirkung wenigstens teilweise aufgehoben. Außerdem führt der Klüftungsprozeß selbst durch den dabei eintretenden Kohäsionsverlust an den Klüftwandungen zu einer Volumenerweiterung und damit zur Druckerhöhung, so daß der Klüftungsprozeß im Ergebnis Druckspannungen aufbaut.

Weiterhin bedingt die lithostatische Entlastung beim epirogenen Aufstieg eine elastizi-



;- Vergleich Drucklösung / Fundamentales Kluftsystem, Sachsenburger Pforte bei Helderungen, 150 Klüfte, 34 H-Stylolithendaten



;- Synoptisches Diagramm, Sonnenburg bei Bad Sulza, Störungsfaltung. Nadelharnische und Gleitspuren auf Schicht- und Störungsflächen belegen Kompression senkrecht zur Finne-Störung. Sigma-1 Lage der epirogenen Drucklösung ist fast identisch.

tatsbedingte Zunahme des Gesteinsvolumens, die sich ebenfalls erhöhend auf die horizontale Einspannung auswirkt, da die Ausweichmöglichkeiten in horizontaler Richtung stärker beschränkt sind.

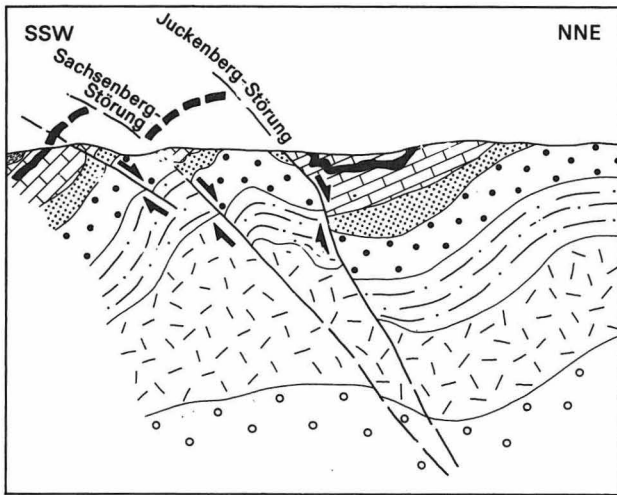
Die Temperaturverminderung bei der epirogenen Heraushebung wirkt diesen Vorgängen zwar entgegen, kann aber bei der niedrigen Temperaturspanne (20–30 K) nur geringen Einfluß erreicht haben. Als Resultat der skizzierten Vorgänge ist eine Erhöhung der hochkrustalen Horizontalspannungen zwischen der Erdober-

fläche und einigen hundert Metern Tiefe zu postulieren. Nach den skizzierten Bedingungen ist die Ausrichtung der horizontalen Hauptnormalspannung quer zu den beiden Scharen des Kluftgitters anzunehmen. Das stimmt mit den Geländedaten überein, wobei die auftretenden relativ geringen Streuungen der Drucklösungsmaxima als Spannungsbrechung im Bereich von inhomogenen Zonen (LAUBSCHER 1979, P. und E. BANKWITZ 1982) zu deuten sind.

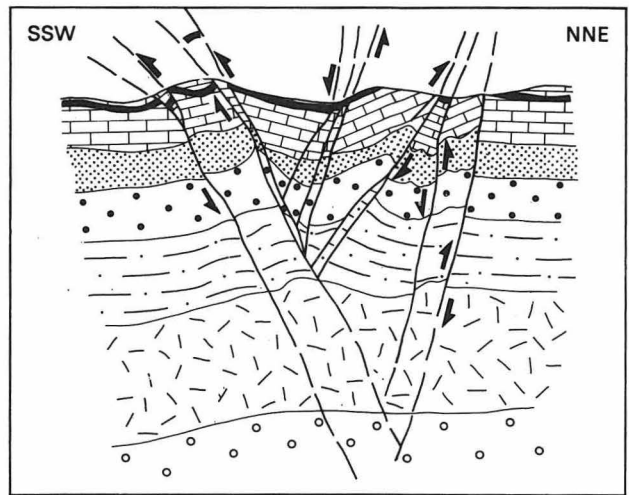
Nach Meinung der Autoren bietet die Bekkendynamik genügenden Raum, die Vorgänge der fundamentalen Deckgebirgszerklüftung und anschließenden Drucklösung als kontinuierlichen Prozeß ortsgebunden zu erklären. Die Beteiligung einer telekinetisch von außen auf das System einwirkenden, tangentialen Kompression (etwa durch Plattenkollision) kann damit zwar nicht ausgeschlossen werden, wird aber von uns nicht als wesentlicher Faktor zur Erklärung dieser Prozesse in der Thüringischen Senke eingeschätzt.

3. Bemerkungen zur Störungstektonik der Finne

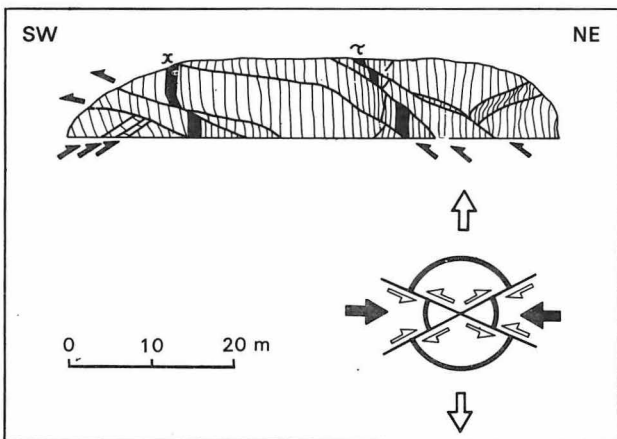
Die Finne-Störung ist die wohl bisher am häufigsten bearbeitete Struktur im Thüringer Becken. Eine umfangreiche Analyse nahm DOLEZALEK (1955) vor. Wie bereits KRZYWICKY (1937) für Südthüringen und MARTINI (1940) für das gesamte Thüringer Becken, kam DOLEZALEK (1955) auch für die Finne-Störung zur Vorstellung einer zweiaktigen Deformation mit anfänglicher Ausweitung in SW-NE-Richtung und anschließender Kompression in gleicher Richtung („überpreßte Zerrungen“). Dieses Konzept für die saxonische Bruchkinematik ist inzwischen weitgehend verlassen worden (u. a. SCHRÖDER 1976, WEBER 1977, ZIEGENHARDT 1979). Die durch Auf- und Überschiebungen gekennzeichnete Endphase der saxonischen Bruchtektonik wird nur noch als Begleiteffekt der vom Antriebsmechanismus her vertikal orientierten Aktivierung der NW-SE-Bruchsysteme gesehen. Bereits v. BUBNOFF (1955) hat in seiner Zusam-



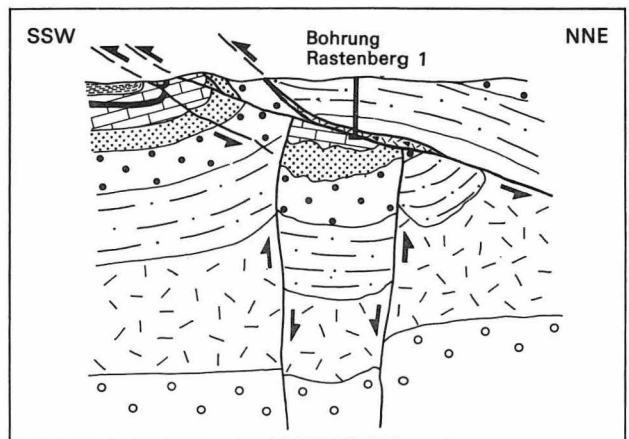
A Eckartsberga



B Bad Sulza

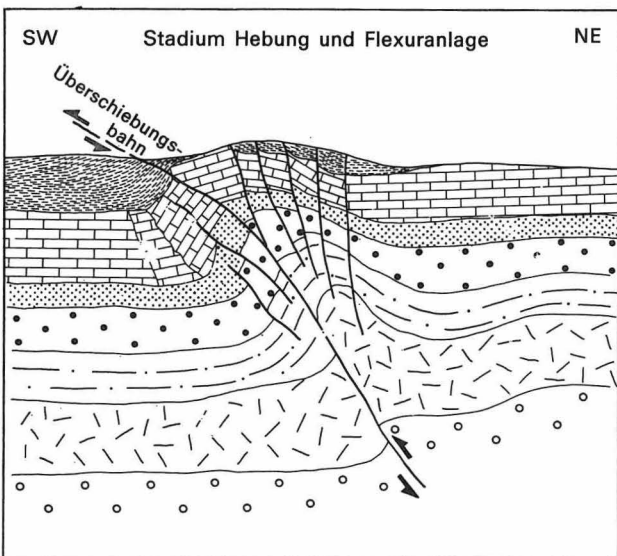


C Bachra

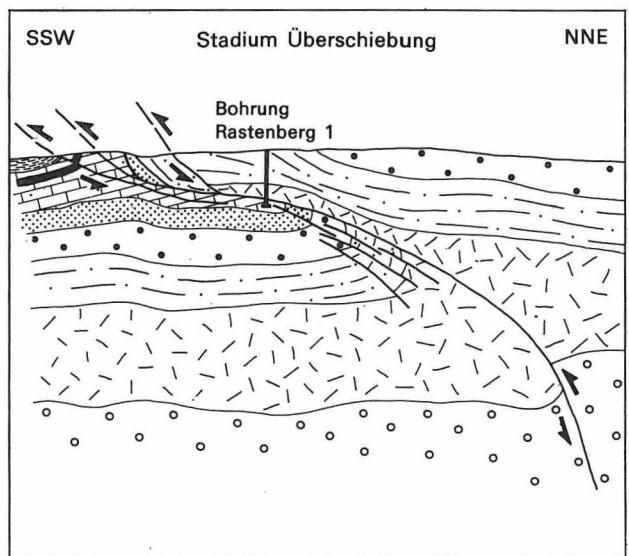


D Rastenberg, Variante 1
(τ - Terebratelzone, χ - Schaumkalkzone)

E Entwicklungsprinzip:



E 1 - Stadium der Hebung und Flexuranlage



E 2 - Stadium der Überschiebung
(entspricht Schnitt Rastenberg, Variante 2)

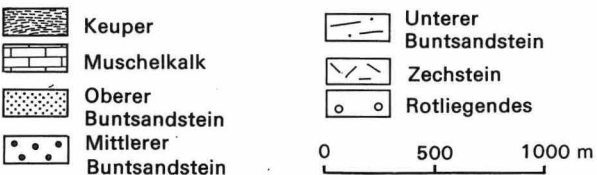


Abbildung 5
Typische Schnitte durch die Finne-Störung;
A, B und D nach DOLEZAL EK (1955), ergänzt

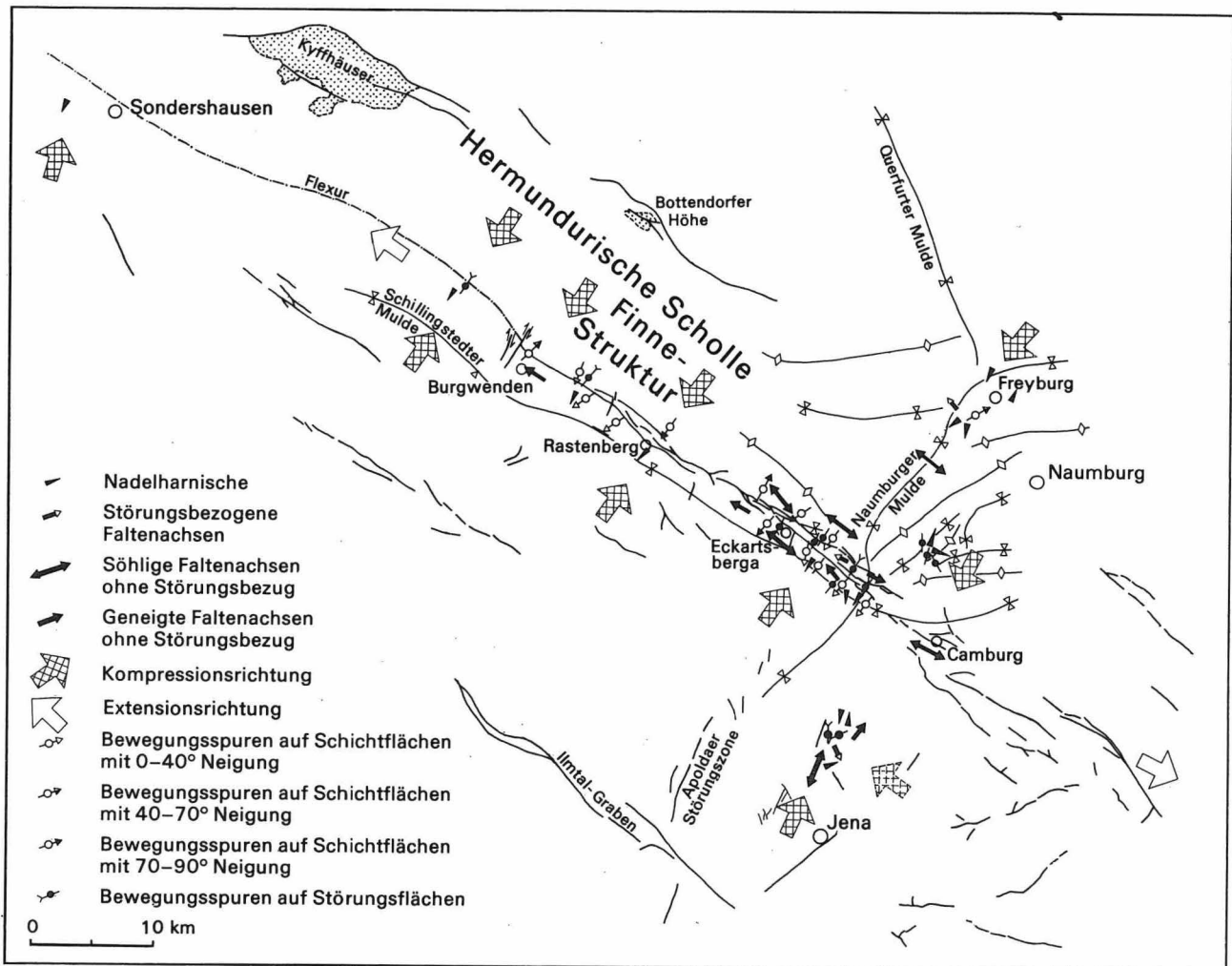


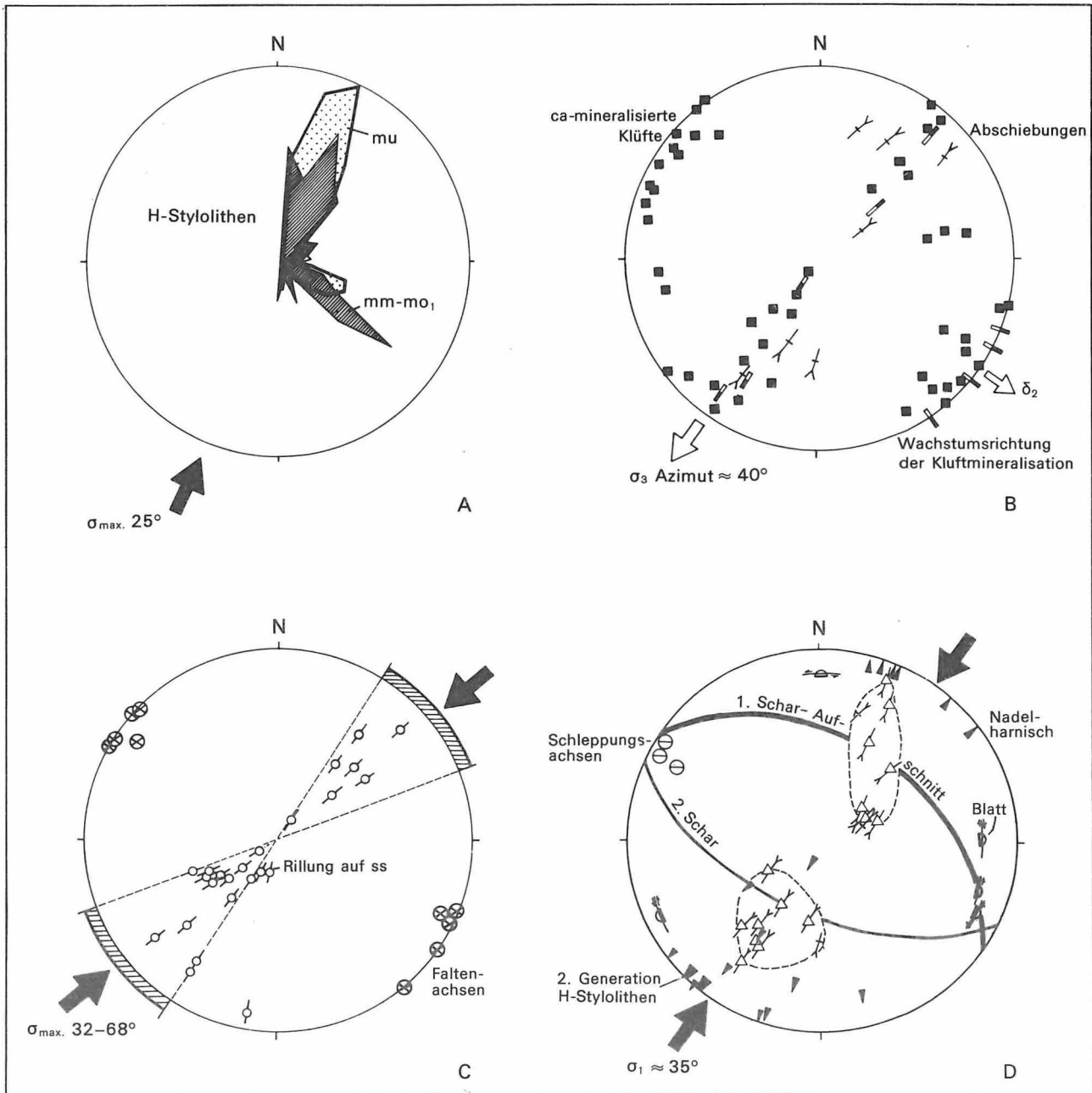
Abbildung 6
Karte der achsialen Strukturen

menfassung der Arbeiten über das Thüringer Becken durch den Hinweis auf den salinartektonisch nicht beeinflussten Schollenbau Schonens gezeigt, wie man sich die Kinematik der saxonischen Bruchtektonik im Präsalinar des Thüringer Beckens vorzustellen hat.

Welche Schlußfolgerungen ergeben sich aus unseren Aufnahmen zu dieser Fragestellung? In Abbildung 5 sind einige Querprofile durch die Finne-Störungszone dargestellt, von denen die Schnitte A bis C den Profillagen von DOLEZALEK (1955, Abbildung 8, Tafel 2, Schnitt 15, Tafel 1, Schnitt 1) folgen. Die Fortsetzungen der Profile nach NE (Naumburger Mulde) und SW (Zentralteil des Thüringer Beckens) zeigen dann sehr flache, ungestörte Lagerung, so daß zuerst festzustellen ist, daß sich intensive Verfaltung und rupturale Deformation auf die Stö-

rungszone konzentrieren. Räumliche Verknüpfung und gleiche Orientierung von Faltungs- und Störungsphänomenen lassen eine gegenseitige Bedingtheit annehmen. In Abbildung 6 sind das Bruchmuster und die linearen Strukturelemente dargestellt. Im Bereich der Finne-Störung ist eine straffe Regelung der Bewegungsspuren auf Schicht- und Störungsflächen senkrecht zum Verlauf der Finne und eine streichende Ausrichtung der Faltenachsen aller Dimensionen (Schleppfalten an Störungsbahnen im dm-...m-Bereich bis zu Verfaltungen mit Wellenlängen im km-Bereich, Abbildung 5) längs dieser Zone gegeben.

Durch den bogenförmig-listrischen Verlauf der Störungen und das jeweilige Anschmiegen der Faltenachsen tritt eine Streubreite der Achsenazimute auf, die der der Störungen ent-



A – Bildung des fundamentalen Klufsystems und der Drucklösungserscheinungen (Epirogen-/Taphrogenstadium)
 B – Hebung und Dehnung (Flexur- und Abschiebungsstadium)
 C – Einengung und Verfaltung in der Störungszone
 D – Fortgesetzte Einengung mit Überschiebungen, Nadelharnischen, 2. Generation H-Styloolithen und meridionalen Blattverschiebungen

Abbildung 7
 Entwicklungsphasen der Finne-Störung

spricht. Es ist nicht notwendig, dafür mehrere Deformationsakte anzunehmen, wie es DOLEZALEK (1955, Abbildung 2, Diagramm C) tut.

Die Konformität von Biegegleitung auf Schichtflächen (Bildung der Großflexur der Finne, interne Verfaltung) und Bewegungsvorgängen auf den Rupturen läßt uns gleiche Ursachen dieser Prozesse annehmen. Beide Gefüge-

formen sind einen nicht näher eingrenzbaeren Zeitraum ihrer Entwicklung gemeinsam gegangen, der in dem hier untersuchten sehr hohen Krustenniveau einer einengungsmodifizierten vertikalen Schollenverstellung entsprach.

Damit ist jedoch nur die Endphase der saxo-nischen Bruchtektonik charakterisiert. Die in der NW-Fortsetzung der Finne folgende Hain-

leite hat die Initialphase der saxonischen Tektonik konserviert. Hier ist eine von NW nach SE immer steiler werdende Flexur entwickelt, die mit wachsendem Hebungsbeitrag nach SE im Raum von Burgwenden schließlich überkippt und zerreißt. Bis zu Neigungen der Schichtfolge von 40...50° nach SW sind in der Flexurzone nur Dehnungsrupturen (Abschiebungen) entwickelt, die den über den plastischen Anteil der Deformation hinausgehenden rupturellen Anteil verkörpern. Hierbei ist die präexistente WNW-ESE-Schar des fundamentalen Kluftsystems, die zur Finne konform verläuft, durch den Verbiegungsvorgang zu Großkluftscharen (Sekundärklüfte bei HEISE 1966) und weiter zu Abschiebungen ausgeformt worden. Infolge der erhöhten Permeabilität dieser Zone und ihrer damit gewachsenen Zirkulationsfähigkeit erfolgte eine topomineralische Karbonatmineralisation des aufgeweiteten Kluft- und Störungsinventars (NW-SE, SSW-NNE). Diese Karbonatmineralisation erstreckte sich bis in die Phase der intensiven Verfaltungen in der Störungszone (Abbildung 7, Diagramm B). Nun wurden die WNW bis NW streichenden Klüfte des fundamentalen Kluftsystems in Sätteln und Mulden fächer- bzw. meilerförmig verstellt, dabei keilförmig geöffnet und mit Karbonat mineralisiert. Dabei wurden die epirogen entstandenen Drucklösungsformen (H-Stylolithen) überkrustet, so daß ihre Altersstellung zum saxonischen Störungsprozeß auch auf diese Weise klar abgegrenzt werden kann. In allen Aufschlüssen überformten die Schicht- und Störungsgleitspuren die Karbonatabsätze, so daß die Störungsaktivitäten den Mineralisationszeitraum überdauerten. Schicht- und Störungsgleitspuren (Nadelharnische bis störungsbedingte Gleitstreifung aus ss- und Störungsflächen) haben zwischen Burgwenden und Bad Sulza raumstete Azimute um 35° (= SW-NE, Abbildungen 4 und 7). Nadelharnische als Form der Drucklösung auf geneigt zur Kompression gerichteten Flächen weisen auf stattgefundenen Bewegungsblockierungen oder allgemein auf Etappen der Bewegungsstagnation und Spannungsakkumulation hin und weisen die Störungsentwicklung der Finne als diskontinuierlichen Prozeß aus. Analog dazu konnte in zwei Aufschlüssen (Rastenberg – im Liegenden des Trochitenkalkes; Bad

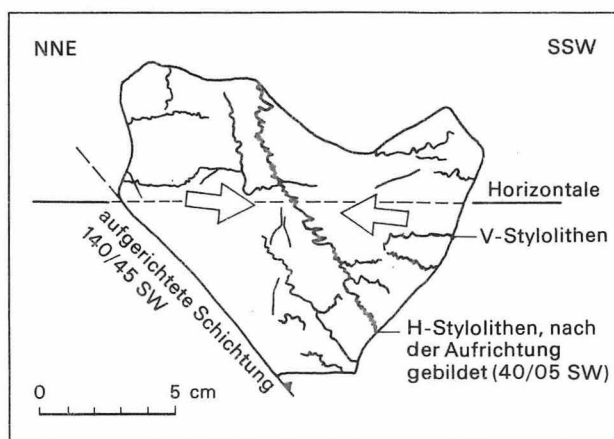


Abbildung 8
Nach der Schichtaufrichtung gebildete H-Stylolithen im Trochitenkalk, Steinbruch Wagner, Bad Sulza: Azimut ca. 40°, sählig

Sulza, Steinbruch Wagner – Trochitenkalk, Abbildung 8) eine Generation von H-Stylolithen nachgewiesen werden, die nach der Aufrichtung des Schichtverbandes gebildet wurde und ebenfalls quer zur Störungszone orientiert ist (Abbildung 7, Diagramm D).

Durch Übergänge zu Nadelharnischen und Gleitstreifen auf Schicht- und Störungsflächen der Finne und durch die einheitliche Ausrichtung und gleiche kinematische Aussage als Einengungsindikationen ist die genetische Verknüpfung dieser Elemente eine logische Konsequenz (ARTHAUD und MATTAUER 1969).

Diesem Bewegungsplan folgen auch die N-S bis NNE-SSW streichenden Störungen, die als links- und rechtsdrehende Blattverschiebungen (Abbildung 7, Diagramm D) die Finne-Störung queren und als laterale Bewegungsschienen bei der Heraushebung der Hermundurischen Scholle gegenüber dem zentralen Thüringer Becken fungierten. Es kam an diesen Querelementen auch zur Abgrenzung von Strukturabschnitten unterschiedlicher Bewegungsintensität und Kinematik, zum Beispiel westlich von Burgwenden als Flexur, östlich davon als Auf- bis Überschiebung, so daß auch ihre mit der Finne-Störung synchrone Aktivierung zu postulieren ist.

An allen Profilen durch die Finne-Störung (Abbildung 5) ist auch aus der Makrotektonik die starke Repräsentanz von Einengungsformen für den Abschnitt zwischen Burgwenden und Bad Sulza ablesbar. Das ist die Zone hoher Sa-

linarmächtigkeiten im Zechstein und in der Trias. Wenn man die Profile bis in das Präsalinar verlängert und die hohe Mobilität der Salinarserien einbezieht, ist die Annahme unterschiedlicher Störungsversätze im Prä- und Postsalinar wahrscheinlich. Insbesondere das Zechsteinsalinar ist dabei als plastisch beweglicher Ausgleichshorizont wirksam. Im Raum von Eckartsberga (zwischen Auerstedt und Burgholzhausen) ist sogar anzunehmen, daß eine der Finne folgende langgestreckte Salinauf-sattelung ohne größeren subsalinaren Störungsversatz der Ausgangspunkt für die Störungsentwicklung im Postsalinar war (Abbildung 5, Schnitt A). Im Raum südöstlich von Rastenberg bis Burgwenden ist ungeachtet der im speziellen mehrdeutigen Lagerungsverhältnisse (Abbildung 5, Schnitte E₁ und E₂) eine SW-vergente Überschiebung von mehreren hundert Metern Schubweite gesichert. Dem entspricht auch die deckenartige Auslappung der Finne-Störung in diesem Gebiet nach Süden. Ihre Entstehung muß analog zum Auf- und Überschiebungsstadium am Nordharzrand (aber mit entgegengesetzter Vergenz) gesehen werden, in dem auch die stärkste Ausprägung der NE-Schollengrenze der Hermundurischen Scholle (u. a. Kyffhäuser-Nordrandstörung) während der höheren Oberkreide erfolgte.

Im Zeitraum zwischen Oberkreide und Alttertiär herrschten nach den Untersuchungen von STEINMÜLLER (1982) im Gebiet der Finne penepainartige Verhältnisse, so daß reliefverursachte Gleitschollentektonik wie am Schimmerwaldvorsprung des Harzes (WUNDERLICH 1953) außer Frage steht. Auch die Neigung der Überschiebungsbahnen nach NE ist der bei gravitativer Gleitung zu erwartenden Gleitrichtung nach SW entgegengesetzt.

Die Entstehung dieser auf das salinare und postsalinare Deckgebirge beschränkten Überschiebungstektonik im mittleren Abschnitt der Finne ist nur unter Einbeziehung der Mobilität des in diesem Abschnitt bis 500 m mächtigen Zechsteinsalinars zu deuten. Analoge Erscheinungen sind von allen saxonischen Störungen beschrieben worden, die die Thüringische Senke in der Zone der hohen Salinarmächtigkeiten schneiden, einschließlich der NE-Randstörung des Thüringer Waldes bei Luisenthal

(GRUMBT 1959). Ausgangspunkt sind vertikale Bewegungen im Subsalinar, die anfangs zu flexurartigen Verbiegungen des hangenden Tafeldeckgebirges und zu Scheitelsprüngen und Abschiebungstrepfen mit Tendenz zur Grabenbildung führten (ZIEGENHARDT 1979). Das Zechsteinsalinar ist in diese Unterdruckzonen migriert, wodurch langgestreckte Salzsättel mit Neigung zur Diapirbildung entstanden. Dieser Prozeß brachte ferner eine wesentliche Erhöhung der Bewegungssensibilität mit sich und bedeutete einen starken geomechanischen Kontrast gegenüber der flach lagernden und ungestörten Schichttafel der Umgebung.

Das belegen auch die Untersuchungen von NACHSEL und FRANZ (1983) in der bisher wenig bekannten NW-Fortsetzung der Finne-Struktur an der Hainleite bei Sondershausen (Wippertalstörung). Hier hat sich durch vertikale Bewegungen der subsalinaren Schollenfelder, von additiv 40 m Versatz gesteuert, eine 600 bis 800 m breite, disharmonische Aufsattelung im Salinar gebildet. Sie glich durch größtenteils plastische Deformation den aus dem Subsalinar kommenden vertikalen Bewegungsimpuls aus, so daß das postsalinare Deckgebirge den geringen präsalinaren Versatz, durch das Salinar bereits gedämpft, noch mit einer leichten Flexur von der Hermundurischen Scholle in das Thüringer Becken hinein ausgleichen konnte.

Die stärkeren Schollenbewegungen im Zentralabschnitt der Finne führten demgegenüber zu intensiveren Mobilisationen des hier noch mächtigeren Zechsteinsalinars und zu seinem zungenförmig gestreckten Aufdringen in der Rupturzone. Durch den Störungsversatz bedingt, grenzt hier der Buntsandstein der Hermundurischen Scholle gegen inkompetenten Keuper der Tiefscholle. Die diapirartigen Salinareinschübe in der Störungszone waren hierbei Schmiermittel und gleichzeitig hydraulisches Medium zur Impulsübertragung zwischen den Schollen. Da die SW-Kante der Hermundurischen Scholle im Zentralteil der Finne-Störung nach NE einfällt, mußten nach dem Zerreißen der anfänglich gebildeten Flexur im postsalinaren Deckgebirge bei fortgesetzter Schollenhebung zwangsläufig Auf- und Überschiebungen mit Vergenz zur Tiefscholle hin entstehen. Infolge plastischer Reduktion beson-

ders des Keupers, von Teilen der übrigen Trias und des Zechsteins der liegenden Tiefscholle durch Auflast und Andruck der Hochscholle konnte die Neigung der Störungsbahnen zum Ausstrich hin schrittweise verringert werden. Diese Beziehung hat sich durch Detailstudien in der Erfurter Störungszone im Bereich der Herrenberge einwandfrei nachweisen lassen und kann auf die Zentralzone der Finne übertragen werden. Die Beteiligung von einengenden Fernimpulsen kann nicht ausgeschlossen werden. Die besprochenen Störungsphänomene sind aber befriedigend durch vertikale oder besser durch im Einfallen der Strukturzone orientierte Bewegungen zu deuten.

Literatur

- ARTHAUT, F., und M. MATTAUER:
 Exemples de stylolites d'origine tectonique dans le Languedoc, leurs relations avec la tectonique cassante. – In: Bull. Soc. geol. France. – Paris 11 (1969), 7, S. 738...744.
- BANKWITZ, P., und E. BANKWITZ:
 Rupturen IV – Praktische Anwendung der Bruchanalyse. – Exkursionsführer Gesellsch. f. Geol. Wiss. – Berlin, 1982.
 –: Die Symmetrie von Kluftoberflächen und ihre Nutzung für eine Paläospannungsanalyse. – In: Zeitschr. f. geol. Wiss. – Berlin 12 (1984), 3, S. 305...334.
- BOCK, H.:
 Einige Beobachtungen und Überlegungen zur Kluftentstehung in Sedimentgesteinen. – In: Geol. Rdsch. – Stuttgart 65 (1976), 1, S. 83...101.
 –: Das fundamentale Kluftsystem. – In: Zeitschr. d. Dt. Geol. Gesellsch. – Hannover 131 (1980), 3, S. 627...650.
- BROWN, E. T., und E. HOEK:
 Trends in relationships between measured in-situ stresses and depth. – In: Int. Journ. Rock. Mech. Sci. and Geochem. Abstr. – Oxford 15 (1978), S. 211...215.
- BUBNOFF, S. v.:
 Der geotektonische Charakter Thüringens. – In: Abh. d. Dt. Akad. d. Wiss., Kl. Math. u. Nat. Wiss. – Berlin 3 (1955), S. 7...28.
- DOLEZALEK, B.:
 Die Finnestörung bei Bad Sulza, Eckartsberga und Rastenberga. – In: Abh. d. Dt. Akad. d. Wiss., Geotektonik. – Berlin 5 (1955), S. 139...173.
- FRANZKE, H. J., und CH. JANSSEN:
 Geologische Interpretation von Druckspannungsmessungen im Tafeldeckgebirge.
 – In: Zeitschr. f. geol. Wiss. – Berlin 12 (1984), 2, S. 235...254.
- GRUMBT, E.:
 Der Nordostrand des Thüringer Waldes zwischen Ruhlaer Kristallin und Schwarzburger Sattel. – Berlin, 1959.
 – (Abh. d. Dt. Akad. d. Wiss., Kl. Chem., Geol. u. Biol.; 3/1959)
- HAST, N.:
 The state of stress in the upper part of the Earth's crust. – In: Tectonophysics. – Amsterdam 8 (1969), S. 169...211.
- HEISE, G.:
 Die Klüftung der Trias (Muschelkalk und Buntsandstein) in der Naumburger Mulde. – Halle (Diplomarbeit) 1966.
- HESSMANN, W.: Zur strukturellen Formung und Beanspruchung des postvaristischen Deckgebirges im Südwesten der DDR.
 – In: Zeitschr. f. geol. Wiss. – Berlin 11 (1983), 8, S. 955...971.
- HUBBERT, M. K., und W. W. RUBEY:
 Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. – I. Mechanics of fluid-filled porous solids and its application to overthrust faulting. – In: Bull. Geol. Soc. Amer. – New York 70 (1959), S. 115...166.
- KRS, M.:
 Implication of statistical evaluation of Eurasian and African Phanerozoic Palaeomagnetic Date. – In: Intern. Geodyn. Proj., Final Report of Czechoslovakia. – Prague (1979), S. 9...19.
- KRZYWICKY, E.:
 Die saxonische Tektonik im Randgebiet des mittleren Thüringer Waldes.
 – In: Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanst. – Berlin 58 (1937), S. 778...838.
- KURZE, M.:
 Zum Problem der Entstehung von Wellenstreifen und Querplattung im Muschelkalk. – In: Zeitschr. f. geol. Wiss. – Berlin 9 (1981), 5, S. 489...499.
- LAUBSCHER, H.:
 Elements of Jura kinematics and dynamics. – In: Eclogae geol. Helv. – Basel 72 (1979), S. 467...483.
- LOTZE, F.:
 Zur Erklärung der tektonischen Käfte. – In: Centralbl. Miner., Abt. B. – Stuttgart (1933), S. 193...199.
- MARTINI, H. J.:
 Saxonische Zerrungs- und Pressungsformen im Thüringer Becken. – In: Geotekt. Forsch. – Berlin 5 (1940), S. 125...133.

- MEIER, D.:
Zur Tektonik des Schweizerischen Tafel- und Faltenjura (regionale und lokale Strukturen, Klüftgenese, Bruch- und Falten tektonik, Drucklösung). – Clausthal-Zellerfeld, 1984. – (Clausth. Geowiss. Diss.; 14)
- NACHSEL, G., und E. FRANZ:
Zur Ausbildung der Wippertal-Störungszone im Bereich der Grubenfelder des Kaliwerkes „Glückauf“, Sondershausen. – In: Zeitschr. f. geol. Wiss. – Berlin 11 (1983), 8, S.1005...1021.
- NELSON, R.A.:
Significance of fracture sets associated with stylolite zones. – In: Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol. – Tulsa 11 (1981), S.2417...2425.
- NICKELSEN, R.P., und V.N.D.HOUGH:
Jointing in the Appalachian plateau of Pennsylvania. – In: Bull. Geol. Soc. Amer. – Boulder 53 (1980), S.381...408.
- PRICE, N.J.:
Fault and joint development in brittle and semi-brittle rocks. – London, 1966.
- SCHMITT, P.:
Zur Petrogenese des fränkischen Wellenkalkes. – In: Chemie d. Erde. – Jena 9 (1935), S.321...364.
- SCHRAMM, S.:
Klüfte und Horizontalstylolithen in der südlichen Frankenalb und ihre Stellung in der jüngeren Tektonik Süddeutschlands. – Würzburg (Diss.) 1967.
- SCHRÖDER, B.:
Saxonische Tektonik im Ostteil der Süddeutschen Großscholle. – In: Geol. Rdsch. – Stuttgart 65 (1976), 1, S.34...54.
- SCHWAB, G., W.NÖLDEKE und H.J.TESCHKE:
Zur Entwicklung der Spannungsverteilung im Tafeldeckgebirge der Mitteleuropäischen Senke. – In: Zeitschr. f. geol. Wiss. – Berlin 8 (1980), 3, S.315...332.
- SCHWAB, M.:
Tektonische Untersuchungen im Permokarbon nördlich von Halle/Saale. – Leipzig, 1965. – (Freiberger Forschungs-H.; C 139)
- SEIDEL, G.:
Zur geologischen Entwicklungsgeschichte des Thüringer Beckens. – Berlin, 1965. – (Geologie; Beiheft 14)
- STEINMÜLLER, A.:
Die präpleistozäne Morphogenese des östlichen Thüringer Schiefergebirges und der südöstlich angrenzenden Gebiete. – In: Zeitschr. f. geol. Wiss. – Berlin 10 (1982), 3, S.397...413.
- WAGNER, G.H.:
Kleintektonische Untersuchungen im Gebiet des Nördlinger Rieses. – In: Geol. Jahrb. – Hannover 81 (1964), S.519...600.
- WEBER, W.:
Tiefe Bruchstrukturen der postvaristischen Tafelentwicklung Mitteleuropas und ihre Bedeutung für Magmatismus und postmagmatogene Fluorit-Baryt-Mineralisation. – Leipzig, 1977. – (Freiberger Forschungs-H.; C 329)
- WUNDERLICH, H.G.:
Bau und Entwicklung des Harznordrandes bei Bad Harzburg. – In: Geol. Rdsch. – Stuttgart 41 (1953), S.200...224.
- ZIEGENHARDT, W.:
Zur Entwicklung einiger Vorstellungen über salinartektonisch geprägte germanotype Strukturen. – In: Zeitschr. f. angewandte Geol. – Berlin 25 (1979), 9, S.413...419.