

Ausgewählte Kapitel zur Oberrheingraben-Tektogenese

von

FRANK BUCHNER, WOLFGANG STUCKE & WOLFGANG WIESSNER

Inhalt

| | |
|---|----|
| Einleitung | 18 |
| 1. Der tektonische Formungsablauf des Wasselonner Horstes (F. BUCHNER) | 21 |
| 2. Harnische und ihr relativer Bewegungssinn (F. BUCHNER & W. STUCKE) | 25 |
| 3. Die Elmsteiner Verwerfung (W. STUCKE) | 28 |
| 3.1. Struktur und Aufbau der Elmsteiner Verwerfung | 28 |
| 3.2. Die Tektogenese der Elmsteiner Verwerfung | 30 |
| 4. Die Eisenerzgänge von Neuenbürg im Lichte der Oberrheingrabenbildung (W. STUCKE) | 31 |
| 4.1. Erzgänge und Klüfte | 31 |
| 4.2. Der tektonische Formungsablauf unter dem Einfluß des rotierten stress-Feldes | 35 |
| 5. Horizontal-Stylolithen im Kraichgau und angrenzenden Gebieten (F. BUCHNER) . . | 36 |
| 5.1. Über Stylolithen | 36 |
| 5.2. Horizontal-Stylolithen, Indikatoren von Druckspannungen | 38 |
| 6. Der Tuniberg, ein Beispiel für neotektonische Bewegungen im südlichen Grabenabschnitt (W. WIESSNER) | 42 |
| Schlußbetrachtung | 49 |
| Literatur | 49 |

Kurzfassung

Tektonische Einzeldarstellungen zur Oberrheingraben-Taphrogenese werden diskutiert und unter dem Aspekt eines im Neogen umorientierten Spannungsfeldes interpretiert. Das Streichrichtungsverhalten und das Verteilungsmuster der Horizontalharnische, Klüfte, Horizontal-Stylolithen und der Erzgänge beiderseits des Rheins stimmen gut mit dieser Vorstellung überein.

Résumé

Une image uniforme et congruente des phénomènes tectoniques lors de la formation de fossé tectonique est fournie par des analyses tectoniques du fossé rhénan supérieur et de ses zones limitrophes. Ces analyses sont discutées à l'aide d'exemples choisis. Les résultats d'importance régionale sont discutés dans le cadre d'un champ de paléostress du pré-miocène moyen et d'un champ de néostress du post-miocène inférieur. Pour le premier champ la plus importante tension normale principale σ_1 , agissant horizontalement, était orientée NNE, pour le deuxième champ, σ_1 avait une orientation NW.

Sont subordonnés aux champs de stress des stylolithes tectoniques (colonnes horizontales), des plans de faille horizontales, des failles et des filons minéralisés. Le sens de mouvement relatif des écartements latéraux a pu être déterminé à l'aide d'échantillons de plans de cisaillement produits artificiellement (entre autres par des Riedel-shears).

Summary

The tectonic pattern of the Upper Rhinegraben area is discussed by selected geological examples. Strike-slips, tectonic stylolites (horizontal columns), joints and ore veins may be the result of two different successive stress conditions, formed between Lower Tertiary period and present time.

The change of stress regime orientation, especially the change of horizontal maximum compressive stress direction, took place in the Neogene epoch, generated by Alpine plate tectonics.

Einleitung

Der Oberrheingraben gilt als der am besten erforschte tektonische Großgraben Europas. Eine Vielzahl von Wissenschaftlern hat sich mit seiner Genese und seinen Strukturen beschäftigt. Dadurch konnten seine Bodenschätze, Erdöl und Kalisalz, gewonnen werden. Neuerdings sind verstärkt Bestrebungen im Gange, die geothermische Energie des Oberrheingrabens nutzbar zu machen. Die endogenen Kräfte, welche diesen gewaltigen, ca. 300 km langen und ca. 40 km breiten Einbruch in der Erdkruste schufen, haben sich auch seinen Randzonen aufgeprägt. Daraus kann man nun Rückschlüsse auf die tektogenetischen Vorgänge der Grabenbildung ziehen. Aus vielen Einzeldarstellungen, die über Jahre hinweg erarbeitet wurden, ergab sich, einem Puzzlespiel gleich, ein Gesamtbild der tektonischen Entwicklung des Oberrheingrabens.

Metamorphes und magmatisches variskisches Grundgebirge bilden das Liegende des mesozoischen Deckgebirges im Gebiet des Oberrheingrabens. Ab dem unteren Mesozoikum erfolgte eine kontinuierliche Sedimentation bis zum Malm. Diese wird allerdings im Bathonien durch die Herausbildung von Schwellenregionen im Bereich von Schwarzwald und Vogesen erstmalig gestört. Vom Malm bis zum Eozän blieb das Oberrheingebiet Festland, bis im Mitteleozän lokale Senkungsfelder mit limnischen Sedimenten erfüllt wurden und so den Beginn der Oberrheingraben-Taphrogenese anzeigten. Das bereits variskisch angelegte rheinische Lineament erfuhr seine Rejuvenation (ILLIES 1962).

Mit der fortschreitenden Senkung des Grabens von Süden nach Norden ging gleichzeitig eine Hebung der Grabenflanken einher. Im Aquitan zerfiel der Grabeninhalt in ein Scherbenfeld antithetisch kippender Teilschollen. Verstärkte tektonische Bewegungen führten dann im Plio-Pleistozän nochmals zu einer Flankenhebung und einer Absenkung des Grabens. Doch ist festzuhalten, daß sich die Grabenbildung eher kontinuierlich als phasenhaft vollzog. Den jüngsten Bewegungen waren und sind im Oberrheingraben zusätzlich sinistrale Scherungsbewegungen übergeordnet.

Die prämittelmiozäne Abschiebungstektonik war auf ein Spannungsfeld zurückzuführen, dessen größte horizontale Hauptnormalspannung (σ_1 , Druck positiv gerechnet; siehe auch Abb. 1) parallel zum Rheingraben, also NNE orientiert war (ILLIES & GREINER 1976). Dieser Spannungszustand blieb bis ins Untermiozän erhalten. Ein derart orientiertes σ_1 erzeugte normal zum Oberrheingraben Dehnung und damit parallel zu ihm Vertikaltektonik. Basaltgänge in SW-Deutschland, die diesem Spannungsplan zeitlich entsprechen, streichen ebenfalls NNE (MÄUSSNEST, LIPPOLT, zit. bei ILLIES 1974:7). Post-Untermiozän baute sich dann ein neues Spannungsfeld auf.

So zeigen Untersuchungen der Herdflächenmechanismen von Erdbeben in Mitteleuropa (AHORNER 1975) und in situ Spannungsmessungen (ILLIES & GREINER 1976), daß σ_1 derzeit NW-SE ausgerichtet ist. Bedingt durch diese Umorientierung von σ_1 kam der Graben in den Bereich einer sinistralen Scherkomponente. Laterale Verschiebungen, bevorzugt im Graben selbst, waren und sind die Folge. Damit verknüpft ist auch die Bildung von NNW streichenden und en échelon angeordneten Bruchsystemen. Es ist dies eine Streichrichtung, die ne-

den einem NW-Streichen im Graben vorherrscht. Aufgrund der Herdflächenmechanismen von Erdbeben und aufgrund von Geländebeobachtungen kann angenommen werden, daß die NNW streichenden Bruchsysteme in den tieferen geologischen Stockwerken einer Scheuung (hier Riedel shear; siehe Kapitel 2 u. 6) und in den Deckschichten einer Dehnung (dort Fiederspalte im großen Maßstab) unterliegen.

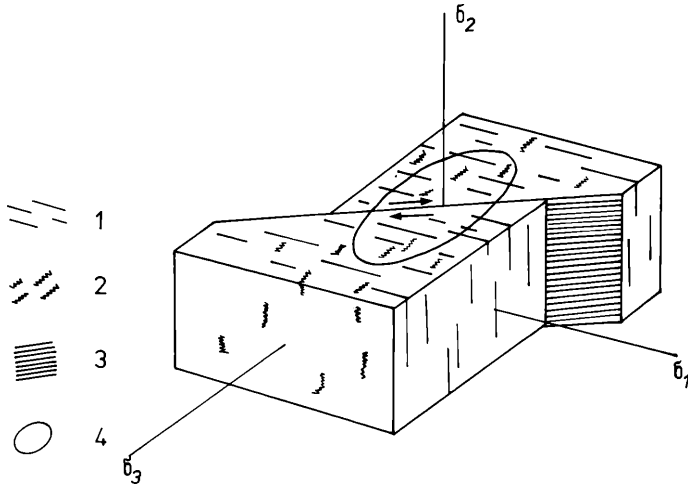


Abb. 1. Die Beziehung zwischen den drei Hauptnormalspannungen ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) und den Klüften (1), Horizontal-Stylolithen (2), Horizontalverschiebungen (3) und der daraus konstruierbaren strain-Ellipse 4).

In seine Randzonen setzt sich dagegen bevorzugt eine NNE-Richtung durch. Pleistozäne Sedimentationströge im Graben zeichnen gleichfalls eine NNE-Richtung nach. Dextrale Seitenverschiebungen finden sich entsprechend auf WNW orientierten Diskontinuitäten. Allerdings weist dieses überregionale stress-Feld im Gebiet des Oberrheingrabens auch lokale Eigenständigkeiten auf, welche u. a., wie in Kapitel 1 dargestellt, durch den abknickenden Verlauf des Oberrheingrabens erklärt werden können. So findet sich im Graben neben der sinistralen Scherung auch noch Abschiebungs- und sogar Aufschiebungstektonik. Man kann davon ausgehen, daß die Horizontalspannungen und das daraus abgeleitete stress-Feld im mitteleuropäischen Raum durch die Plattenkollision Afrikanische—Europäische Platte hervorgerufen werden.

Im weiteren soll nun an Hand von getrennt zu betrachtenden Einzeldarstellungen aus dem Gebiet des Oberrheingrabens und seinen Randzonen (Abb. 2) sowohl dessen komplexe Tektonik aufgezeigt als auch auf das den tektonischen Vorgängen dieser Region gemeinsame Spannungsfeld hingewiesen werden.

Darüber hinaus wird auf die Stylolithenfrage in Kapitel 5 ausführlicher eingegangen.

*Geologische Übersichtskarte
der bearbeiteten Gebiete*

-  Prätriadisches Grundgeb.
-  Buntsandstein
-  Muschelkalk
-  Keuper
-  Jura
-  Tertiär - Quartär
-  Verwerfung

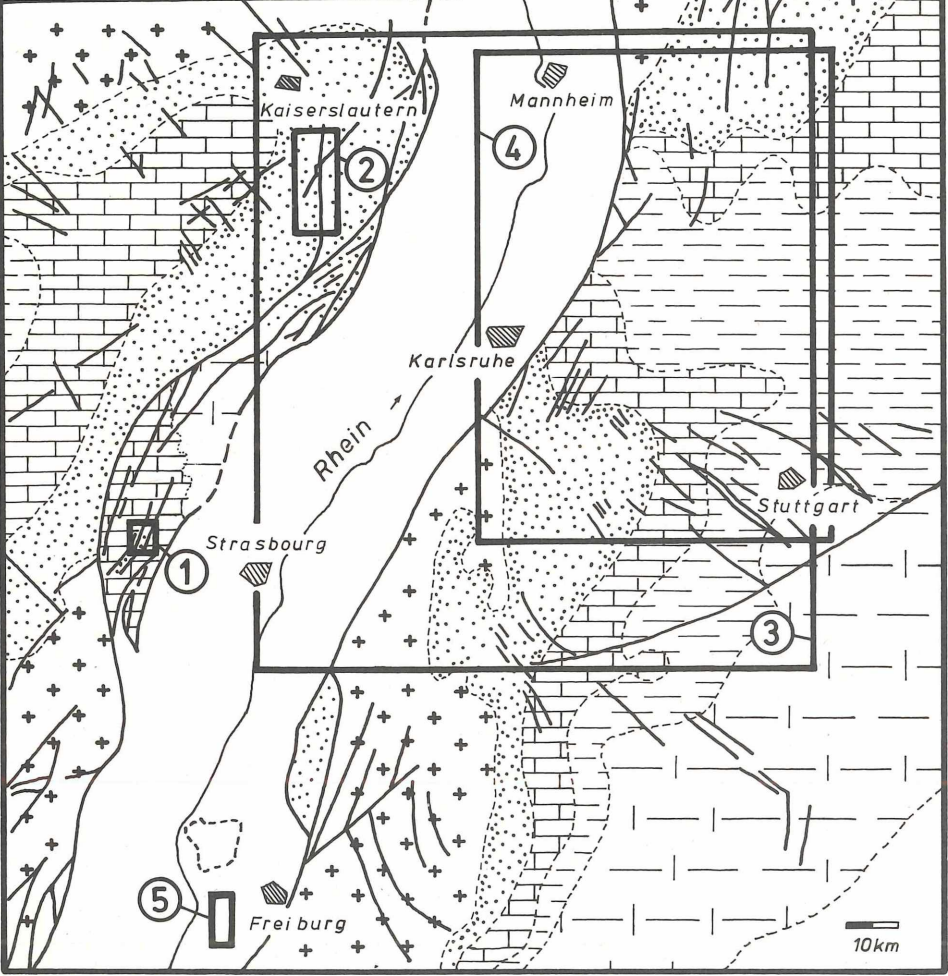


Abb. 2.

1. Der tektonische Formungsablauf des Wasselonner Horstes

Einen vorzüglichen Einblick in den tektogenetischen Ablauf der Oberrheingraben-Bildung gewährt auf engem Raum der im Zaberner Bruchfeld zwischen Straßburg und Zabern liegende Wasselonner Horst (Abb. 2 u. 3). Eindrucksvoll sind hier im Buntsandstein (Grès vosgien supérieur bis einschließlich Grès à Voltzia) eine überaus große Anzahl von Vertikal- und Horizontalharnischen unterschiedlichster Streichrichtung und mit unterschiedlichem Bewegungssinn aufgeschlossen; ihre Bewegungsspuren überlagern sich zudem sehr oft. Es zeigte sich, daß den NNE-NE streichenden Horizontalharnischen eine sinistrale, den NW streichenden eine dextrale Bewegungsrichtung übergeordnet ist (Abb. 3, Punkt C). Der relative Bewegungssinn konnte an Hand der unten beschriebenen Scherversuche eindeutig festgelegt werden. Die dextralen Harnischflächen setzen überwiegend an den sinistralen ab. Dies bedeutet, daß die Harnische mit dextralem Bewegungssinn älter oder aber, was wahrscheinlicher ist, zumindest gleichen Alters sind. Abschiebungen sind fast ausschließlich durch Vertikalharnische mit einer bevorzugten Streichrichtung in NNE-NE und untergeordnet in NW-Richtung vertreten. Sie unter- und überlagern Harnische mit horizontalem Bewegungssinn.

Klüfte unterliegen im Untersuchungsgebiet einer breiten Streuung. Jede Streichrichtung ist vertreten, doch hebt sich ein Maximum in NNE-Richtung ab. Das Einfallen der Klüfte liegt fast ausschließlich zwischen $61-90^\circ$ (Abb. 4 und 5).

Unter der Vielzahl lateraler Verschiebungen dominieren im Wasselonner Horst zwei Horizontalharnisch-Flächen großen Ausmaßes; ein mit 25° streichender sinistraler Horizontalharnisch, er ist Teil der Wackenthal-Blattverschiebung (Abb. 3, Punkt A u. Abb. 8), und ein zu ihm konjugierter, mit 134° streichender, dextraler Horizontalharnisch (Abb. 3, Punkt B). Die Untersuchungen ergaben, daß man diese beiden Harnischflächen als komplementäres Scherflächenpaar betrachten kann, ihre Bildung also unter ein und demselben Beanspruchungsplan erfolgte.

Aufgrund dieser Aussage und aufgrund der Streichrichtungen der Scherflächen kann man für diesen Beanspruchungsplan die Richtung der größten horizontalen Hauptnormalspannung, σ_1 , bestimmen. Diese liegt bzw. lag bei ca. 170° (Abb. 6a). Die übrigen Horizontalharnische lassen sich diesem Rahmen zwanglos anpassen. Durch die gefügekundliche Aufnahme und deren Interpretation gelang die Aufstellung eines Bewegungsmusters:

Erste Vertikalbewegungen auf NW streichenden Klüften werden durch Horizontalbewegungen mit dextralem Bewegungssinn abgelöst, solche auf NE streichenden Klüften durch Horizontalbewegungen mit sinistraler Bewegungssinn. Danach erfolgte ein erneutes Einsetzen von Vertikalbewegungen bevorzugt auf NNE-NE streichenden Klüften, ein Zeichen für die derzeitige Immobilität der Horizontalverschiebungen im Wasselonner Horst.

Die Interpretation der Herdflächen-Lösung eines ca. 3 km SE vom Arbeitsgebiet registrierten Erdbebens (Herdzeit 20 Uhr 28, 16. 12. 1977, M. 3,3) weist auf Vertikalbewegungen in NNE-Richtung, oder auf dextrale Horizontalbewegungen in NW-Richtung hin (mdl. Mitt. von Herrn K. P. BONJER, Inst. f. Geophysik, Univ. Karlsruhe).

Der aufgezeigte Bewegungsablauf ist der Oberrheingraben-Taphrogenese zugeordnet. Im Eozän lag σ_1 parallel zum Graben, daraus resultierte als erster Bewegungsakt seine Absenkung. Diese Abschiebungstektonik ist, wie aufgezeigt, im Wasselonner Horst vertreten.

Abb. 2. Die Lage der Arbeitsgebiete.

Die Kartenausschnitte entsprechen den Übersichtsabbildungen der einzelnen Untersuchungsgebiete. Es bedeutet: 1. Wasselonner Horst, 2. Elmsteiner Verwerfung, 3. Erzgänge bei Neuenbürg und im Pfälzer Wald, 4. Kraichgau und angrenzende Gebiete, 5. Tuniberg.

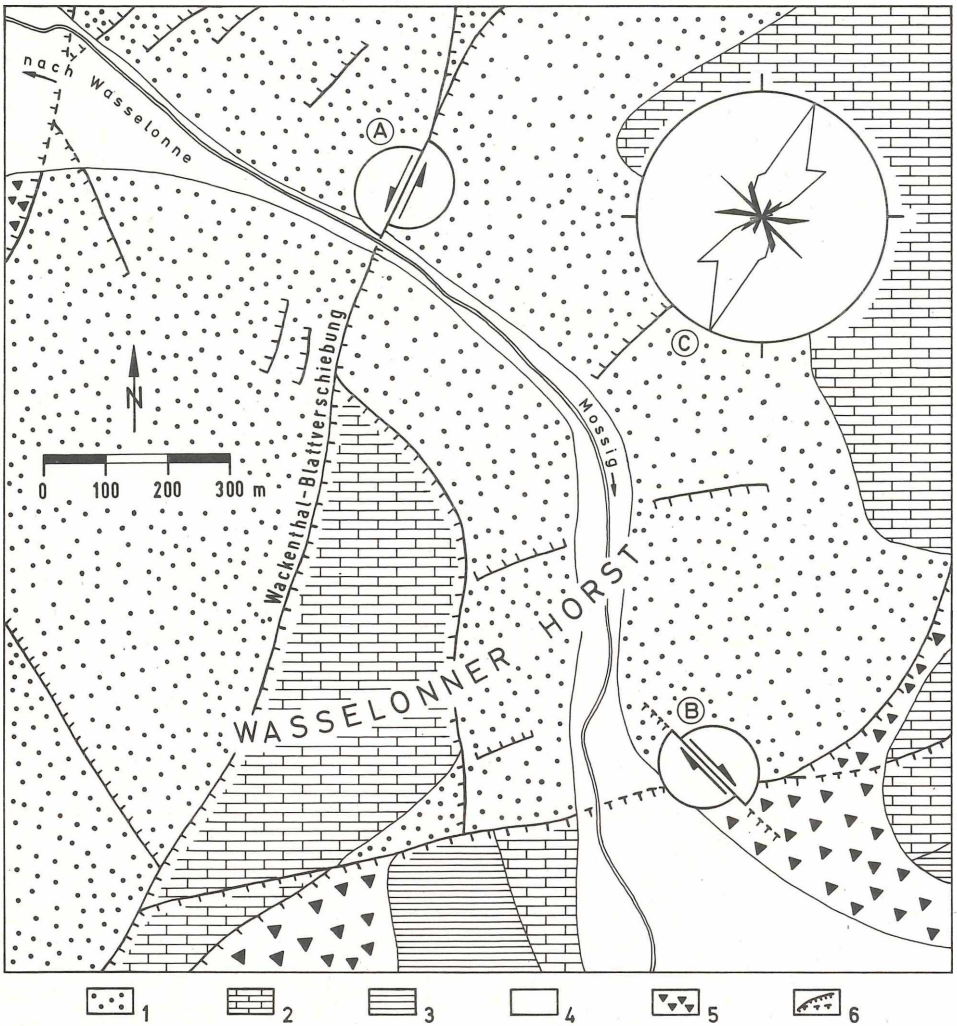


Abb. 3. Geologisch-tektonische Detailkarte vom Wasselonner Horst (Elsaß).

Der sinistrale Horizontalharnisch (A) und der dextrale Horizontalharnisch (B) stellen ein konjugiertes Scherflächenpaar dar. Der Mindestbetrag sinistraler Scherbewegung liegt bei etwa 2 Metern, der dextrale bei 0,80 Metern. Das Diagramm C gibt die Streichrichtungen aller im Wasselonner Horst eingemessenen Horizontalharnische wieder. Zur Darstellung kamen 457 Horizontalharnische. Weiß: Horizontalharnische mit sinistralen Bewegungssinn, Schwarz: Horizontalharnische mit dextralem Bewegungssinn. Der NNE-Richtung ist eine sinistrale, der NW-Richtung eine dextrale Bewegungsrichtung übergeordnet.

1: Buntsandstein, 2: Muschelkalk, 3: Keuper, 4: Alluvium, 5: Hangschutt, 6: Störung gesichert bzw. vermutet.

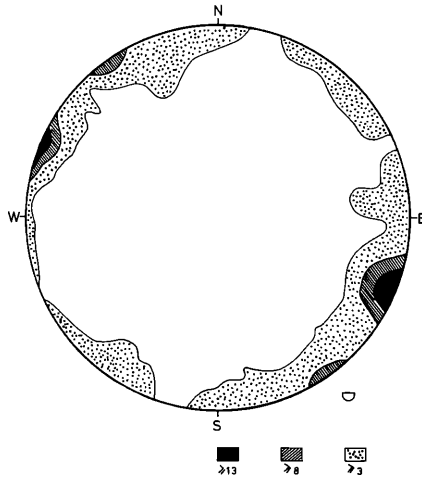


Abb. 4. Kluftdiagramm für den Bereich der dominanten Harnischfläche mit sinistralen Bewegungssinn, Punkt A der Abb. 3, bezogen auf 392 Klüfte.

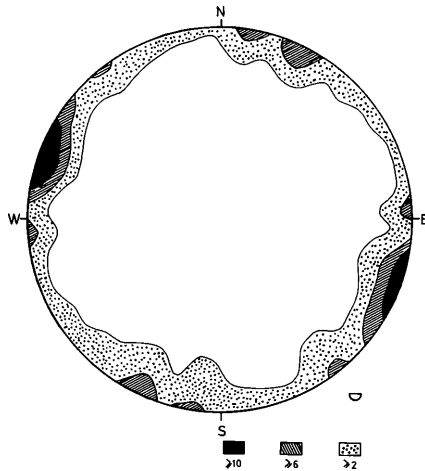


Abb. 5. Kluftdiagramm für den Bereich der dominanten Harnischfläche mit dextralem Bewegungssinn, Punkt B der Abb. 3, bezogen auf 489 Klüfte.

Doch liegt die Richtung von σ_1 des rezenten Spannungsfeldes im mitteleuropäischen Raum bei ca. 140° (Abb. 6 b). Dies bedingt, daß der Oberrheingraben zur Zeit einer sinistralen Scherkomponente des Spannungsfeldes unterliegt, sinistrale Schollenbewegungen sind die Folge. Als der Wasselonner Horst in den Bereich dieser Scherkomponente kam, übernahm er die lateralen Bewegungen nur kurzfristig. Dies zeigt das Einsetzen der zweiten Vertikaltektonik-Generation. Kontrolliert wird diese neotektonische Vertikaltektonik durch das rezente stress-Feld. Nach ILLIES & GREINER (1979:353) tritt im mittleren Grabenabschnitt, bedingt durch den abnickenden Verlauf des Rheingrabens, Kompression und eine Schollenheraushebung auf.

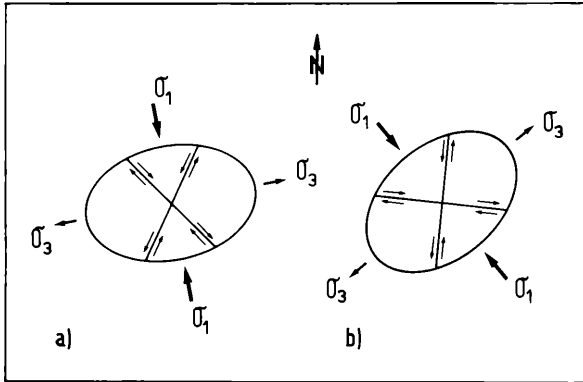


Abb. 6. Strain-Ellipsen für

a) das oberpliozäne bis altpleistozäne stress-Feld des Wasselonner Horstes, erstellt anhand gefügekundlicher Daten, unter Berücksichtigung von HARDING (1974) und ILLIES (1974).

b) das rezente stress-Feld in Mitteleuropa (nach AHORNER 1975 und ILLIES 1974)

ILLIES (1974) konnte nun u. a. aus der Verlagerung der Trogachsen der Sedimentationsbecken des Oberrheingrabens für dessen Bereich eine Drehung von σ_1 feststellen und die einzelnen Stadien zeitlich fixieren. Daraus kann für die Horizontalbewegungen im Wasselonner Horst ein etwa oberpliozänes bis altpleistozänes Alter abgeleitet werden. Ihre Mindestverschiebungsweiten liegen, berechnet für das komplementäre Scherflächenpaar, in NNE-Richtung bei 2 Metern und in NW-Richtung bei 0,80 Metern (BUCHNER 1977).

Eine zeitliche Abfolge der Bewegungsvorgänge läßt sich dann wie folgt aufstellen:

Auf vorgezeichneten Bahnen präaxonischer Tektonik findet im Eozän als erster Bewegungsakt Abschiebungstektonik statt, diese wird im Oberpliozän durch eine Horizontaltektonik mit sinistralen Bewegungssinn in NNE-NE-Richtung und durch eine dextrale in NW-Richtung abgelöst.

Ab dem frühen Pleistozän setzen neotektonische Vertikalbewegungen ein, die bis heute anhalten.

2. Harnische und ihr relativer Bewegungssinn

Von großem Interesse ist für den Geologen das Wissen über den relativen Bewegungssinn von Verschiebungen, da man dadurch z. B. vertikal oder horizontal zerscherte Teile eines Flözes oder eines Erzganges in eintönig aufgebauten Gesteinskomplexen wieder auffinden kann. Um den relativen Bewegungssinn festlegen zu können wurden Scherversuche durchgeführt. Die dabei gewonnenen Daten erlauben eine klare Aussage und dienen u. a. als Grundlage für die Erstellung der strain-Ellipsen in vorliegender Arbeit.



Abb. 7. Aufsicht auf eine künstliche Scherfläche im Annweiler Sandstein. Die Probe wurde mit einer Geschwindigkeit von 1,75 mm/min und mit einer aufgetragenen Normalspannung von 10–20 MPa dextral zerschert. Zu sehen sind die „ecarpments“ der ausstreichenden Riedel shears. Sie sind entgegen der Scherrichtung angelegt (vgl. Abb. 10). Die Größe der Scherfläche beträgt 7 × 7 cm.



Abb. 8



Abb. 9

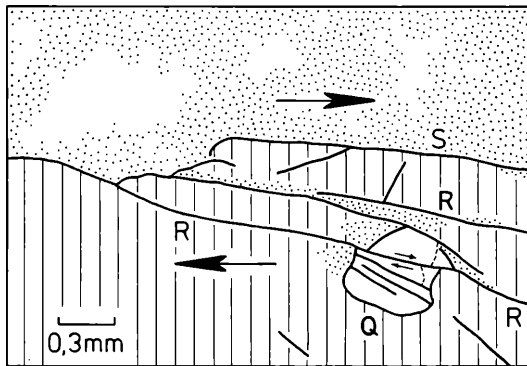
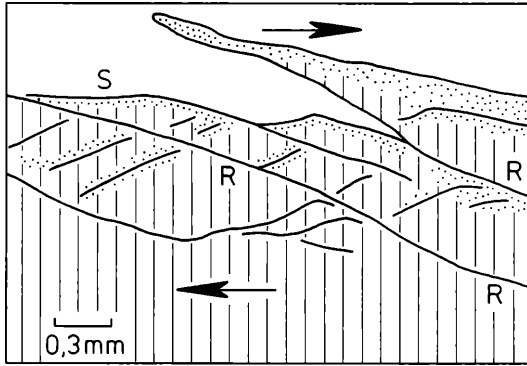


Abb. 10. Idealisierte Interpretation zu einem Dünnschliff, parallel und senkrecht zur Harnischstrie-
mung, mit Angabe der Scherrichtung.

Oben: Ausschnitt aus einer künstlichen Scherfläche im Annweiler Sandstein. Riedel shears (R) verlaufen, en échelon aufgereiht, im unbeanspruchten Gestein (schraffiert). S bedeutet Scherfläche. Punktiert: Mylonit.

Unten: Ausschnitt aus einer natürlichen Scherfläche im Rehberg Sandstein. Um das dextral zerschnittene Quarzkorn (Q) ist eine beginnende Mylonitisierung zu erkennen. Auch hier verlaufen die Riedel shears im unbeanspruchten Gestein.

Beschriftung wie im oberen Bild.

Abb. 8. Ausschnitt aus der mit 25° streichenden sinistralen Horizontalharnischfläche im Wackenthal (Wasselonner Horst).

Sie ist Teil der Wackenthal-Blattverschiebung (Abb. 3, Punkt A). Die sinistrale Verschiebungsweite liegt hier bei annähernd 2 Metern. Deutlich erkennt man die entgegen der Bewegungsrichtung angeordneten „escarpments“ Aufschlußhöhe ca. 4 m.

Abb. 9. Ein NE streichender sinistraler Horizontalharnisch im Buntsandstein südl. Pforzheim, unweit der Mündung der Würm in die Nagold.

Man erkennt, wie schon in Abb. 8, die entgegen der Bewegungsrichtung angeordneten „escarpments“. (Top.Karte L 7118, R: ³⁴77930 / ⁵⁴15500). Bildausschnitt 20 × 35 cm.

Es wurden mehrere Proben aus dem Buntsandstein des Wasselonner Horstes und des Pfälzer Waldes auf der Schermaschine des Institutes für Boden- und Felsmechanik der Univ. Karlsruhe mit einer Normalspannung von 10–20 MPa und bei einer Geschwindigkeit von 1,75 mm/min zerschert. Der Scherweg betrug 7 cm, die Versuchszeit je Versuch 40 Minuten. Hierbei wurde darauf geachtet, daß die Schichtung der Buntsandsteinprobe normal zur Scherfläche und parallel zum Scherweg zu liegen kam (BUCHNER & STUCKE 1977). Auf den Scherflächen kam es zur Ausbildung von Rutschflächen und Strömungen. Charakteristisch war bei allen Versuchen, daß sich kleine „escarpments“ bildeten, Stufen, deren Steilkanten stets entgegen der vorgegebenen Bewegungsrichtung angeordnet sind (Abb. 7). Gleiche Oberflächenstrukturen finden sich auch bei natürlichen Harnischflächen (Abb. 8 u. 9.)

Dünnschliffe parallel und normal zur Harnischfläche zeigen sowohl bei den Versuchskörpern wie auch an orientiert entnommenen natürlichen Proben Risse, die, von den kleinen „escarpments“ ausgehend, unter einem Winkel zwischen 10 und 25° in das Gestein hinein verlaufen (Abb. 7). Diese Risse ziehen unter die „escarpments“ und sind somit entgegen der Bewegungsrichtung angelegt (CLOOS 1928:614, RIEDEL 1929:362, WEISSBACH 1979:109), (Abb. 10). Es sind sekundäre Scherflächen (Riedel shears nach SKEMPTON 1966:330), die den gleichen Bewegungssinn wie die Hauptscherfläche aufweisen. Riedel shears finden sich aber nicht nur im mikroskopischen Bereich, sondern sie sind häufig auch ein wesentlicher Bestandteil großer Störungszonen.

Die klassische Methode, den Bewegungssinn eines Harnisches durch Beobachtung der Rauigkeiten der Harnischfläche zu bestimmen (METZ 1967:84), erwies sich somit bei Harnischen auf Sandstein als unrichtig.

Es haben nun die experimentellen Untersuchungen eindeutig bewiesen, daß der Bewegungssinn entgegen den Steilkanten der kleinen „escarpments“, also entgegen der Richtung größerer Rauigkeit verläuft. Damit ist es erstmals möglich, vor allem mit Hilfe von Dünnschliffen, den relativen Bewegungssinn von Verschiebungen in monotonen Sandsteinserien exakt und eindeutig zu bestimmen.

3. Die Elmsteiner Verwerfung

3.1. Struktur und Aufbau der Elmsteiner Verwerfung

Aus dem Schollenmosaik des Zaberner Bruchfeldes spaltet sich nach Norden ein Störungssystem, die Elmsteiner Verwerfung (LIEDKE 1967) ab (Abb. 13). Sie trennt zunächst die Bröckelschieferfolge gegen den Hauptbuntsandstein im Sinne der Pfälzer Gliederung, um dann weiter nördlich im Pfälzer Wald den Hauptbuntsandstein zu durchschneiden.

Die Elmsteiner Verwerfung wurde im Bereich zwischen Wilgartswiesen und dem 608 m hohen Eschkopf einer tektonischen Analyse unterzogen. Eine Schwierigkeit bildete hierbei die lithologisch eintönige Abfolge des Hauptbuntsandsteins. Morphologisch markant hervortretende Schichtglieder, wie etwa die Karlstal Felszone, oder die Oberkante der Trifelsschichten ermöglichten jedoch eine Bearbeitung. Struktur und Tektogenese des Verwerfungssystems konnten neu gefaßt werden.

Das Elmsteiner Verwerfungssystem besteht aus zwei Teilsystemen, die eine unterschiedliche Entwicklung erfahren haben. Ein Teilsystem streicht Nord-Süd (Abb. 12a). Es tritt morphologisch kaum in Erscheinung, besitzt aber Sprunghöhen bis zu 150 m. Im Detail baut es sich aus einer mehrere Meter mächtigen Zone auf, die sich aus zahlreichen NNE streichenden Horizontalharnischen zusammensetzt. Diese Harnischflächen müssen als Riedel shears dieses Nord-Süd-Systems aufgefaßt werden. Ihre um ca. 15–25° nach Osten abweichenden Streichrichtungen setzen einen dextralen Bewegungssinn voraus (SKEMPTON 1966). Entspre-

chend erweisen sich diese Riedel shears im Schriff ihrerseits auch als dextral (BUCHNER & STUCKE 1977). Die Verschiebungsweite des Nord-Süd-Systems kann mit wenigen Metern bis maximal 20 Meter angenommen werden. Die Verwerfung zeigt keine rezente tektonische Aktivität (BUCH 1938).

Das zweite System streicht nordöstlich und wird daher kurz Nord-Ost-System genannt. Es trifft von Südwesten kommend bei Hofstätten auf das Nord-Süd-System, schwenkt, den kleinen tektonischen Graben von Hofstätten formend, in die Nord-Süd-Richtung um und verläßt diese dann zwei Kilometer weiter nördlich wieder in nordöstlicher Richtung (Abb. 11). Im Gegensatz zum Nord-Süd-System zeigt sich hier bei nur etwa 60 m Sprunghöhe eine deutliche morphologische Stufe, welche parallel der Verwerfung die relativ gehobene Nord-scholle begleitet.

Bei keinem der Systeme konnten nennenswerte Vertikalharnische beobachtet werden, während Horizontalharnische vor allem beim Nord-Süd-System verbreitet auftreten. Klüfte und Verwerfungsflächen in der Nord-Ost-Richtung zeigen häufig Vererzungen mit Limonit, die teilweise mehrere Zentimeter Mächtigkeit erreichen. Im Nord-Süd-System und seinen Klüften finden sich nur spärliche Andeutungen von Vererzungen, und die Nordwest orientierten Klüfte sind gänzlich frei davon.

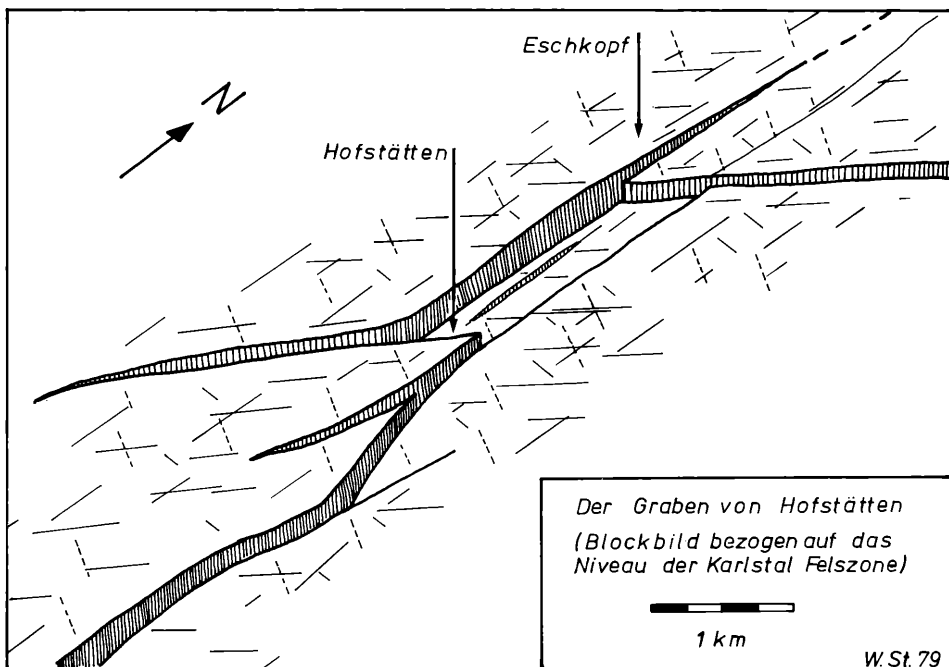


Abb.11. Blockbild des Grabens von Hofstätten.

Der allseitig von Verwerfungen begrenzte Graben von Hofstätten liegt im Durchkreuzungsbereich des Nord-Süd-Systems mit dem Nord-Ost-System der Elmsteiner Verwerfung.

3.2. Die Tektogenese der Elmsteiner Verwerfung

Es schält sich aus den im vorigen Abschnitt geschilderten und zahlreichen weiteren Beobachtungen (STUCKE 1977) folgender Formungsablauf im Bereich des Elmsteiner Verwerfungssystems heraus: Unter dem Einfluß des prämiocänen stress-Feldes mit seiner NNE gerichteten größten horizontalen Hauptnormalspannung (ILLIES & GREINER 1976), bildete sich im älteren Tertiär das NS-System als Abschiebung mit relativ gehobener Westscholle aus. Die Nord-Ost-Richtung kam hierbei in den Bereich der sinistralen Scherkompo-

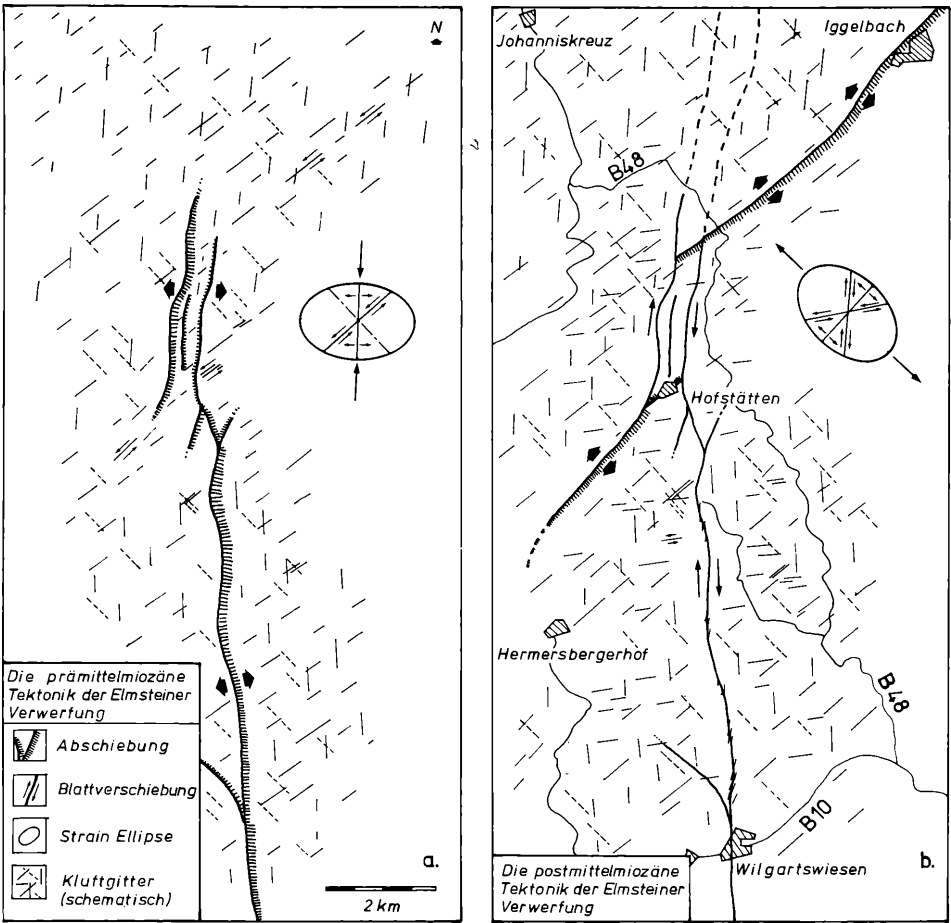


Abb. 12. Die Entwicklungsgeschichte der Elmsteiner Verwerfung.
 a) Die Anlage des Nord-Süd-Systems der Elmsteiner Verwerfung erfolgt unter einem Nord-Süd orientierten σ_1 . Nord-Süd streichenden Abschiebungen stehen Nord-Ost verlaufende sinistrale Scherzonen gegenüber.
 b) Unter dem Einfluß eines durch Spannungsumlagerung entstandenen postuntermiocänen stress-Feldes, mit einer Richtung stärkster Dehnung in der Nord-West-Richtung, werden die Nord-Ost streichenden sinistralen Scherzonen zu jungen Abschiebungen umfunktioniert, während sich auf dem Nord-Süd-System dextrale Scherung vollzieht.

nente dieses stress-Feldes zu liegen, wobei auf vorgezeichneten Bahnen intensive Horizontalharnische zur Ausbildung kamen. Die relative Verschiebungsweite dürfte hierbei pro betroffener Fläche nur wenige Dezimeter betragen haben (Abb. 12a).

Das jüngere stress-Feld der Süddeutschen Scholle (AHORNER 1975, ILLIES & GREINER 1976), prägte postuntermiozän durch Spannungsumlenkung über die Rheinische Masse die vorgezeichnete sinistrale Scherzone des Nord-Ost-Systems in eine Abschiebung mit relativ gehobener Nordscholle um. Gleichzeitig gelangte nun das Nord-Süd-System in die Richtung dextraler Scherspannung und erfuhr geringfügige dextrale Scherbewegung, die ihren Ausdruck in den NNE streichenden Riedel shears fand (Abb. 12b).

Die hierbei normal zur Nord-Ost-Richtung erfolgte Dehnung gab auf dem Nord-Ost-System den Limonitvererzungen Raum. Auch die viele Meter mächtigen Vererzungen, im wenig südlich des Arbeitsgebietes gelegenen Bergzaberner Bergbauggebiet, streichen im wesentlichen nordöstlich und dürften dem gleichen Formungsakt zuzuschreiben sein (Abb. 13).

Einem anderen stress-Regime gehorchen die analogen Gänge im Buntsandstein der Nord-schwarzwälder Erzreviere, die im folgenden Kapitel angesprochen werden sollen.

4. Die Eisenerzgänge von Neuenbürg im Lichte der Oberrheingraben-Bildung

4.1. Erzgänge und Klüfte

Südöstlich des Ortes Neuenbürg im Nordschwarzwald treten im Buntsandstein zahlreiche Eisenerzgänge auf (Abb. 14). Sie entstanden als hydatogene Gänge bei niedrigerer Temperatur (wahrscheinlich unter 100° C), wobei zufließende sauerstoffreiche Oberflächenwässer bei der Abscheidung der Erze eine Rolle gespielt haben könnten (METZ 1977). Die Paragenese der Gänge ist nach den wenigen bisher vorliegenden Untersuchungen einfach (RÖHRER 1924, METZ 1977). Die Hauptgangart ist Baryt, untergeordnet treten Quarz und Siderit auf. Der Siderit ist allerdings in Brauneisen umgewandelt. Das dominante Erzmineral ist der Limonit. Er liegt überwiegend als Goethit (METZ 1977) vor und ist meist glaskopfförmig ausgebildet (Abb. 15). Seltener finden sich Hämatit, Pyrolusit und Manganit. Sulfidische Erze sind auf diesen Gängen bislang noch nicht beobachtet worden; diese kommen vereinzelt in dem benachbarten Quarz-Fluoritgang der Grube Käfersteige bei Pforzheim vor.

Nach RÖHRER (1916/17) befinden sich die Neuenbürger Gänge in einem Scharungsbereich, wo die letzten in NW-Richtung streichenden Ausläufer des Fildergrabens sich mit NNE streichenden Elementen treffen. Über 50% aller bekannten Gänge im Neuenbürger Revier streichen nordwestlich. Die Streichrichtung der restlichen Gänge liegt Ost-West (siehe Abb. 16).

Tektonische Aufnahmen bei Neuenbürg ergaben zwei Klüftmaxima (Abb. 17). Eines liegt in der NW-Richtung; ihm sind glatte Klüftflächen mit Horizontalharnischen eigen, die aufgrund ihrer Riedel shears als dextral angesprochen werden müssen (STUCKE 1977, BUCHNER & STUCKE 1977). Diese Harnische sind teilweise von Limonitkrusten bedeckt, die von der Horizontaltektonik nicht mehr betroffen wurden. Das zweite Maximum streicht NE und zeigt Horizontalharnische mit sinistraler Bewegungssinn. Die rheinische NNE-Richtung ist nur untergeordnet vertreten. Klüfte dieser Richtung sind rau und zeigen keine Bewegungsspuren. Eine ähnliche Klüftverteilung, allerdings ohne eindeutige Bewegungsspuren, ergaben Messungen im nahegelegenen Nagoldtal (Abb. 18). Hier zeigten die NW streichenden Klüfte häufig bis 15 cm mächtige Lettenbestege. Die wenige Kilometer von Neuenbürg entfernte Würmtalstörung streicht ebenfalls nordwestlich und soll um 1 km dextral verschoben worden sein (BRILL 1933).

Die klassische Beobachtung von BAUER (1866, zit. bei RÖHRER 1916/17:82) in der Grube Hummelrain bei Neuenbürg zeigt, daß ein NW streichender Erzgang durch eine wahrscheinlich NNE streichende Blattverschiebung um 12 m sinistral zerschert wurde. NW streichende gangparallele Horizontalharnische konnten vor einigen Jahren am Salband des Hummelrainanges noch untertage beobachtet werden. Ferner war mehrfach eine sinistrale Zerschерung des Ganges um einige Meter festzustellen.

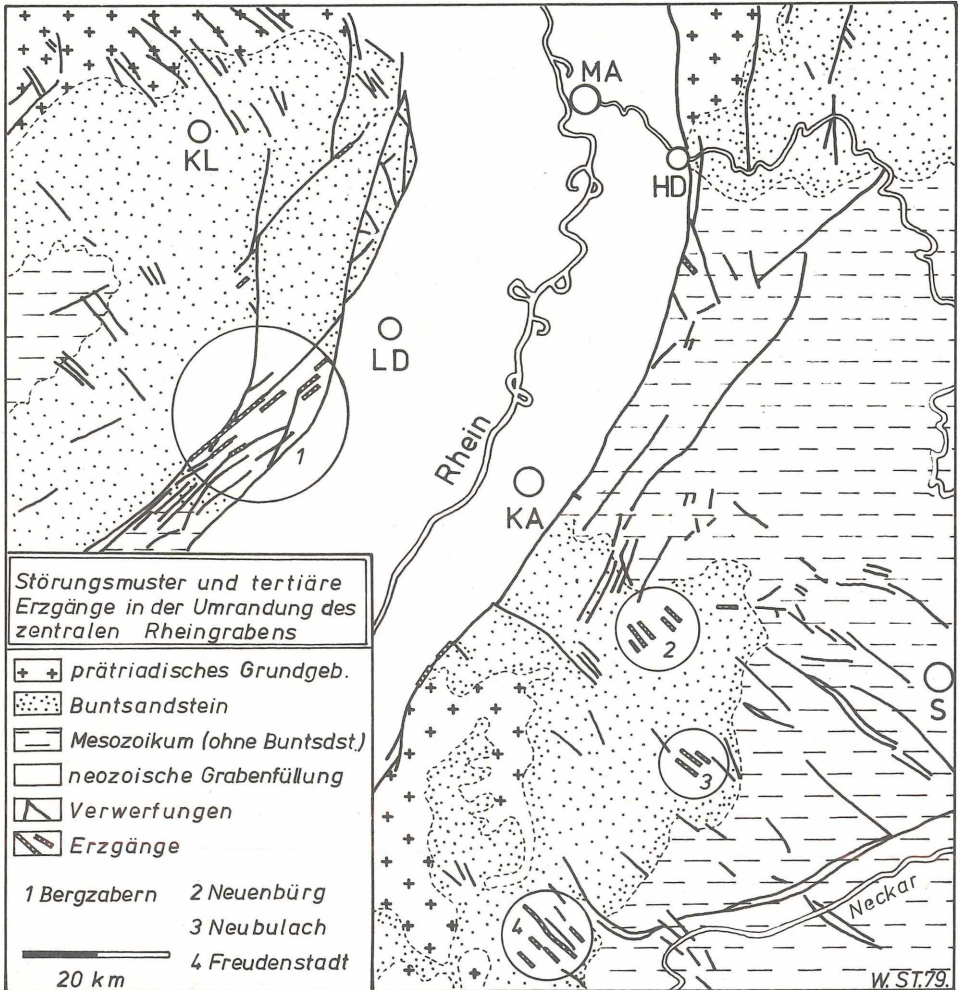


Abb. 13. Die tertiären Mineralisationen von Schwarzwald und Pfälzer Wald zeigen verschiedene Streichrichtungen. Im Nordschwarzwald dominiert das Nord-West-Streichen der Erzgänge. Dies läßt auf einen Spannungsplan mit Nord-West orientiertem σ_1 schließen. Die Pfälzer Erzgänge streichen bevorzugt nordöstlich und sind damit, bei gleichem geologischem Alter, auf ein Nord-Ost gerichtetes σ_1 zurückzuführen.



Abb. 14. Altes Mundloch im Bereich der Grube Christian im Schnaizteich/Neuenbürg. Breite des Mundlochs 60 cm. Fotografiert im Mai 1979.



Abb. 15. Brauner Glaskopf (Limonit) von der Grube Hummelrain/Neuenbürg.
Foto: HECKEL.

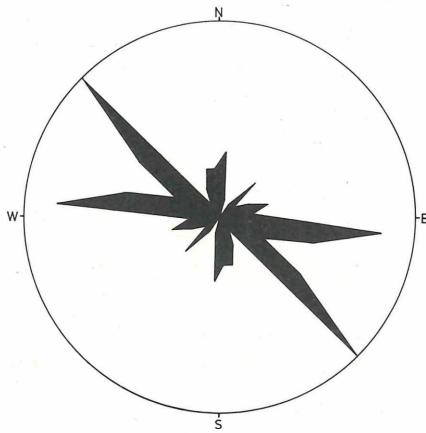


Abb. 16. Streichrichtungsrose von 53 Erzgängen des Neuenbürger Reviers (Streichwerte nach METZ 1977).

Deutlich tritt die Dominanz der Nord-West orientierten Erzgänge in Erscheinung. Daneben findet sich noch verbreitet eine WNW Richtung, deren Öffnungsmechanismus möglicherweise dextralen Scherbewegungen zuzuordnen ist.

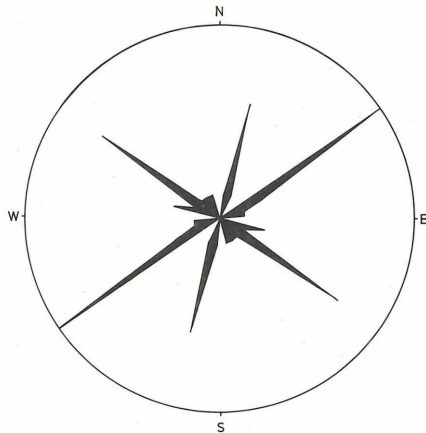


Abb. 17. Kluftrose, konstruiert aus den Streichrichtungen von 35 Klüften.

Die Mehrzahl der Klüfte mit NW- und NE-Streichen besitzen Harnischstriemung. Die Klüfte dieser Richtungen sind als konjungiertes Scherflächenpaar aufzufassen. Die Nord-West-Klüfte zeigen dextrale, die Nord-Ost-Klüfte hingegen sinistrale Scherung.

Localität: Straßenkehre NE Neuenbürg (Top.Karte L 7116, R: 3470340 / H: 5412710).

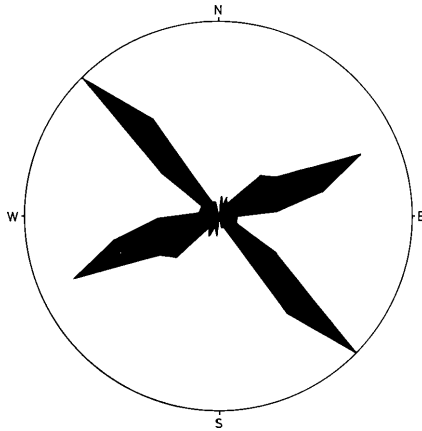


Abb. 18. Kluftröse, konstruiert aus den Streichrichtungen von 158 Klüften. Es treten 2 Maxima in der Nord-West- und in der Nord-Ost-Richtung auf. Hier findet sich auf keiner Kluffläche Harnischstriemung. Die Klüfte der Nord-West-Richtung zeigen verbreitete mächtige Lettenbestege. Lokalität: Nagoldtal zwischen Unterreichenbach u. Dill-Weisenstein (Top.Karte L 7118, R: ³⁴77000 / ⁵⁴13200).

4.2. Der tektonische Formungsablauf unter dem Einfluß des rotierten stress-Feldes

Folgt man dem nun schon mehrfach zitierten Konzept eines nach dem Untermiozän rotierten horizontalen Spannungsfeldes, lassen sich obige Beobachtungen zwanglos mit dieser Hypothese verstehen:

Unter dem Einfluß des prämittelmiozänen Spannungsfeldes, mit einem NNE orientierten σ_1 , bildete sich der Oberrheingraben und eine Reihe weiterer parallel zum Graben streichender Abschiebungen. Im Neuenbürger Revier kam es hierbei zur Ausbildung einiger NNE streichender Klüfte sowie eines dazugehörigen konjugierten Scherflächenpaares mit sinistraler Bewegung in der NE-Richtung und einer dextralen in der NW-Richtung.

Ab dem Mittelmiozän erfolgte dann die Rotation des Spannungsfeldes im Gegenuhrzeigersinn. Nach in situ Spannungsmessungen (ILLIES & GREINER 1976) nimmt σ_1 derzeit eine NW orientierte Richtung ein. Dies bedeutet, daß nunmehr die bisherigen dextralen Scherflächen der NW-Richtung zu klaffenden Spalten wurden und der Haupterbildung Raum gaben. Diese Richtung findet sich auch in den anderen tertiären Lagerstätten im Buntsandstein des Nordschwarzwaldes wieder (Revier Neubulach, Revier Freudenstadt), wo die Gänge sklavisch der NW-Richtung folgen (Abb. 13).

Die NNE-Richtung gelangt unter dem Einfluß des postuntermiozänen Spannungsplanes in den Wirkungsbereich sinistraler Scherung. Diese ist überwiegend im Bereich der östlichen Randverwerfung des Oberrheingrabens wirksam. Der sinistral zerscherte Erzgang des Hummelraines zeigt aber, daß solche Scherbewegungen auch im Neuenbürger Revier eine Rolle spielten, wenngleich nicht alle NNE streichenden Elemente von dieser neuen Tendenz betroffen wurden. Analog dazu zeigen EW bis WNW streichende Frakturen dextrale Bewegungen, wie sich an der Bernbacher Störung und im Bergbaurevier Wiesloch zeigen läßt (ILLIES 1978).

Damit wird deutlich, daß die Nord-West streichenden Gänge des Nordschwarzwaldes einen anderen Spannungsplan abbilden, als er bei den zeitlich und paragenetisch sonst so ähnlichen Vorkommen im Buntsandstein des Pfälzer Waldes mit seinen Nord-Ost streichenden Vererzungszonen zum Ausdruck kommt (Abb. 13). Im Gegensatz hierzu steht das Streichrichtungsverhalten der Horizontalstylolithen in der Muschelkalkplatte des Kraichgaues im Einklang mit den tektonischen Verhältnissen im Buntsandstein des Neuenbürger Revieres.

5. Horizontal-Stylolithen im Kraichgau und angrenzenden Gebieten

5.1. Über Stylolithen

Stylolithen (von gr. *stýlos* = Zapfen, *líthos* = Stein) sind kegel- und zapfenförmige Strukturen (Abb. 19, oben), die durch Drucklösung gebildet werden. Im Idealfall sitzen die einzelnen Stylolithenzapfen der Stylolithenfläche mehr oder weniger senkrecht auf. Wird der Winkel um einiges kleiner, spricht man von Schrägstylolithen (Abb. 19, unten). Ein Schnitt parallel den Stylolithenzapfen ergibt das Bild einer Suture. Diese bildet durch die Umrisslinie der Kegel und Zapfen eine gezackte Linie im Gestein. Ein Stylolith tritt nicht solitär auf, sondern es kommt immer zur Ausbildung einer Suture. Die Stylolithenbildung wird ausgelöst durch Spannungskonzentrationen an Diskontinuitäten im Gestein, wie Klüften oder Schichtgrenzen. Aber auch an Korn-zu-Korn-Kontakten können Spannungsspitzen auftreten, die dann zur Stylolithisierung führen. Bei diesem Vorgang entwickeln sich aus den anfänglichen Drucklösungskontakten, bei gleichzeitiger Auflösung des Gesteins und gegenseitigem Verzahnen der Trennflächen, in der Regel zuerst kegelförmige, dann zapfenförmige Stylolithen. Nach MEINHOLD (1977:14) sollen als auslösender Faktor der Stylolithenbildung auch biochemische Prozesse eine Rolle spielen.

Initialflächen (Diskontinuitäten) sind identisch mit den Stylolithenflächen, sie sind im Anfangsstadium der Stylolithenbildung gleich der Drucklösungsfläche. Doch wird diese im weiteren Verlauf der Stylolithengenesen zerhackt und durch die Stirnfläche von Stylolith und Gegenstylolith gebildet. Beide bilden den Drucklösungsbereich. Damit Drucklösung überhaupt stattfinden kann, muß eine Stoffabfuhr der gelösten Substanzen gewährleistet sein, sonst setzt diese aus. Das Transportmedium resp. das Lösungsmittel wird im einfachsten Fall CO₂-haltiges und in Bewegung befindliches ungesättigtes meteorisches Wasser sein. Die Rolle, die hierbei das konnate Wasser spielt, ist noch nicht geklärt.

Als Lösungsbahnen dienen Klüfte bzw. feine Risse oder Porenkanäle. Die gelösten Substanzen werden sich nach wenigen Millimetern bis mehreren Metern Transportweg im Druckschatten ablagern. Da dadurch letztlich eine Kompaktion des Gesteins herbeigeführt wird, ein Lösungstransport aber auch in dichten Kalken vor sich geht, muß u. a. ein Abtransport der Lösungen durch Diffusion über die Drucklösungsfläche in Betracht gezogen werden.

Abb. 19. Oben: Horizontal-Stylolithen in kegel- und zapfenförmiger Ausbildung im „Treuchtlinger Marmor“.

Als Beispiel eine Fußbodenplatte aus den Landessammlungen für Naturkunde, Karlsruhe. Die Streichrichtung der Drucklösungszapfen zeigt die Orientierung von σ_1 an.

Foto: HECKEL.

Unten: Schrägstylolithen, ibidem.

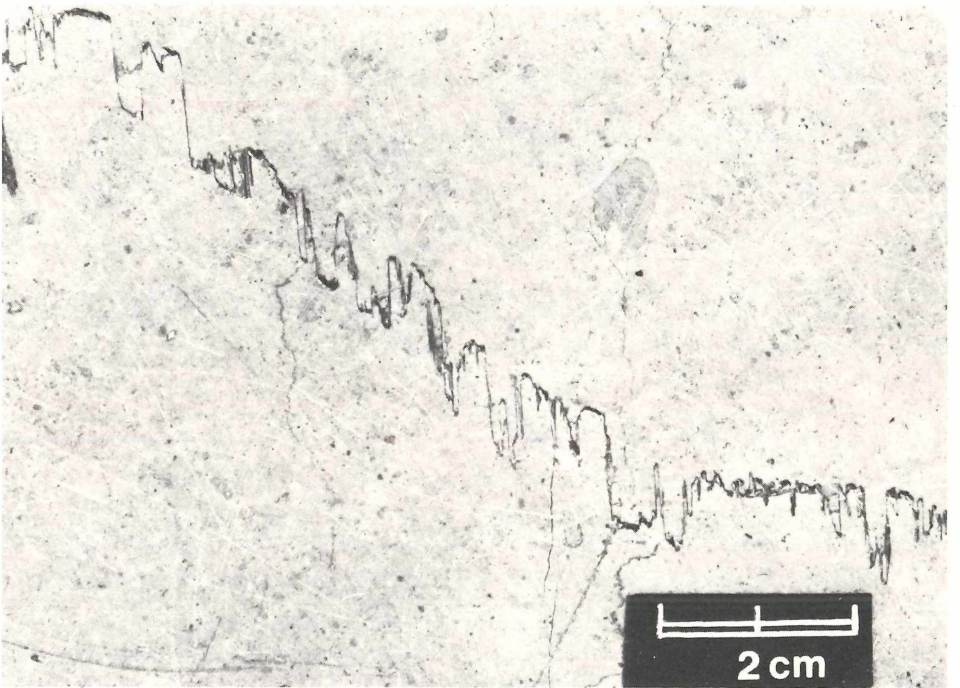
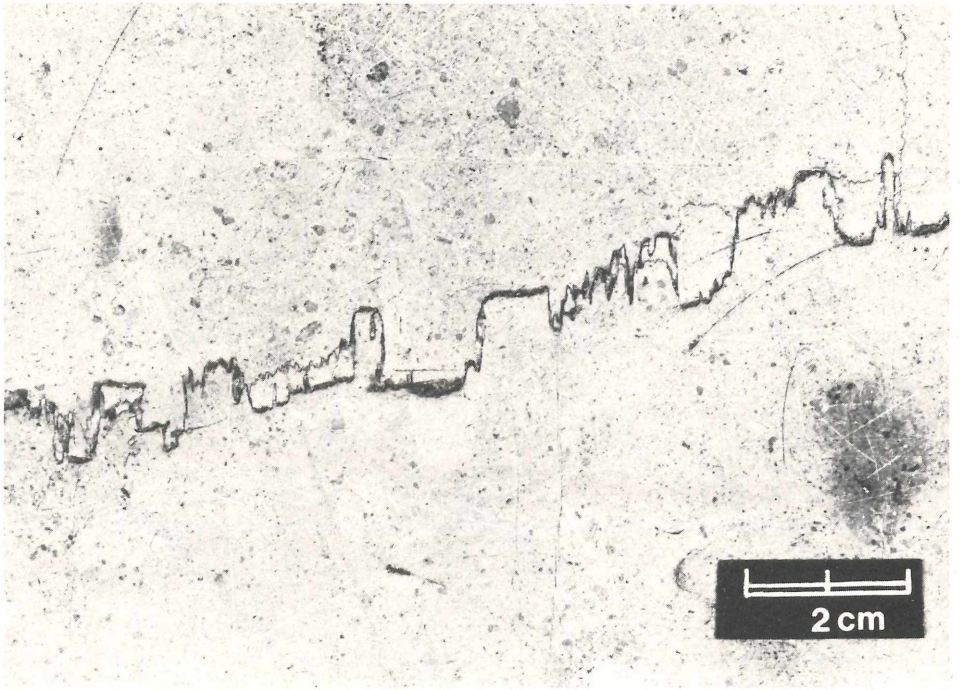


Abb. 19.

Zapfenförmige Stylolithen sind im Regelfall allseitig von Lösungsrückstand umgeben, dessen Hauptbestandteile Tonminerale und organische Substanzen sind; kegelförmige sind meist frei davon. Die Achsenlänge eines Stylolithen entspricht einer Mindestauflösung des unmittelbar betroffenen Gesteins. Doch muß auch berücksichtigt werden, daß ein Abbau der Stylolithen bis hin zu glatten Trennfugen eintreten kann.

Man unterscheidet Vertikal-Stylolithen (Zapfen sind vertikal orientiert) von Horizontal-Stylolithen (Zapfen sind horizontal orientiert, bisweilen auch tektonische Stylolithen genannt). Verwirrend ist, daß in der englischsprachigen Literatur teilweise noch unter einem Vertikal-Stylolithen die Stylolithenfläche eines Horizontal-Stylolithen verstanden wird.

Die Horizontal-Stylolithen erreichen meist nicht die Zapfenlänge der Vertikal-Stylolithen, dabei besteht zwischen ihnen kein morphologischer Unterschied. Vertikal-Stylolithen werden jedoch durch den Überlagerungsdruck, Horizontal-Stylolithen durch tektonische Spannungen gebildet. Hierbei kann die Altersabfolge unterschiedlich sein (BEIERSDORF 1969:224).

Im Handstück kann man sie an Hand ihrer Lage zur Schichtung unterscheiden. Dies gilt aber streng genommen nur für Stylolithenvorkommen in flach lagernden Sedimenttafeln. Stylolithen findet man bei geeigneten Aufschlußverhältnissen vor allem in Karbonaten aufgrund deren hohen Drucklöslichkeit. Doch treten sie auch in quarzhaltigen Gesteinen auf, wie in Sandsteinen, Quarziten und Rhyolithen (zit. bei G. H. WAGNER 1964:532).

Im Kraichgauer Muschelkalk erreichen Horizontal-Stylolithen eine Achsenlänge zwischen 0,5–6 mm, wobei diese im Mittel unter 3 mm liegt. Bis 2 mm sind sie kegelförmig, darüber zapfenförmig. Vertikal-Stylolithen sind aber durchweg länger, Zapfenlängen von 10 cm und darüber sind keine Seltenheit. Der Habitus der Stylolithen ist u. a. von den herrschenden Druckverhältnissen, von der Permeabilität, der Löslichkeit, der Korngröße und der Zusammensetzung des Gesteins abhängig, ferner von Chemismus des Lösungsmittels und dessen freier Zirkulation sowie von dessen Temperatur. Nach FÜCHTBAUER (1978:1005) zeigen in Sandsteinen die Zapfenlängen der Vertikal-Stylolithen eine Beziehung zur Teufe auf. Andererseits sind Stylolithen in den Weißjura-Kalken durchweg vorzüglicher als im Muschelkalk ausgebildet. Im Kraichgauer Muschelkalk wurde beobachtet, daß die Stylolithen-Konfiguration in Kalklutiten sich durchaus von der in Kalksiltiten unterscheiden kann (vgl. PLESSMANN 1972:337). Allerdings sind charakteristische Stylolithenhorizonte, wie sie G. WAGNER (1913:125) für das Kocher-Jagst-Gebiet beschrieb oder HOFFMANN (1967:24) für den Mittleren Muschelkalk um Würzburg, im Kraichgau nicht anzutreffen. Vielmehr finden sich Stylolithen ohne deutliche Häufung in allen stratigraphischen Horizonten, doch ist der Untere Muschelkalk im allgemeinen stylolithenreicher als der Obere Muschelkalk. Aus dem Mittleren Muschelkalk liegen für das Untersuchungsgebiet vom Bearbeiter jedoch keine Beobachtungen vor.

Vertikal-Stylolithen, i. e. S. suturierte Kontakte, können sich in Kalken bereits ab einer Versenkungstiefe von weniger als 100 m bilden (zit. bei BATHURST 1975:473), bei Sandsteinen erst ab 1000 m (zit. bei TRURNIT 1967:II, 64).

5.2. Horizontal-Stylolithen, Indikatoren von Druckspannungen

Horizontal-Stylolithen weisen über weite Gebiete eine Richtungskonstanz auf; ihre Zapfen liegen parallel σ_1 , daher kann man sie zur Interpretation eines regionalen stress-Feldes heranziehen. Eingemessen wird dabei die Streichrichtung von mehreren Zapfen einer Suture. Das statistische Mittel daraus ergibt dann einen Meßwert für die jeweilige Streichrichtungsrose (Abb. 20). Horizontal-Stylolithen sind aufgrund ihrer leichten Zerstörbarkeit schlecht auffindbar. Doch ist evident, daß im Untersuchungsgebiet kaum eine Streuung derselben vorliegt. Ganz im Gegenteil, zwei klare Horizontal-Stylolithenmaxima in NNE- und NW-Richtung sind ausgebildet (Abb. 21). Die Streichrichtung je eines Maximums entspricht

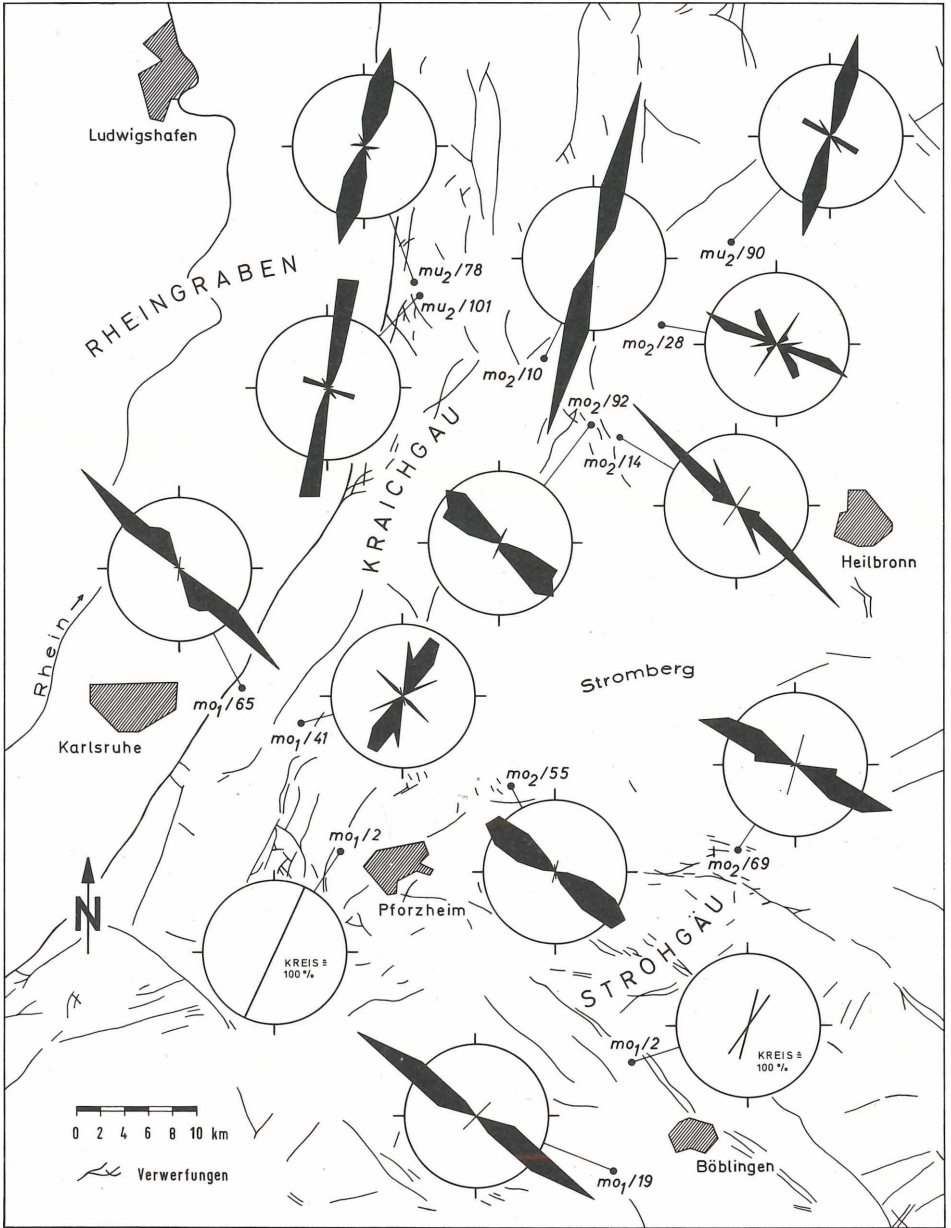


Abb. 20. Streichrichtungsrosen der Horizontal-Stylolithen des Kraichgaus und angrenzender Gebiete. Angegeben ist die Lage der Meßpunkte, die Anzahl der eingemessenen Horizontal-Stylolithen und die stratigraphische Einheit in welcher die Horizontal-Stylolithen gefunden wurden. Deutlich hebt sich eine ältere, prämittelmiozäne NNE-Richtung von einer jüngeren, postuntermiozänen NW-Richtung ab. Die Kreise entsprechen mit zwei Ausnahmen 20%. Abgebildet ist das Zapfenstreichen der Horizontal-Stylolithen.

für die Dauer des Bildungszeitraumes einem zugehörigen tektonischen Beanspruchungsplan.

Zur Altersfeststellung kann man die im Kraichgau vorkommenden Basaltgänge heranziehen, denn die Platznahme von Magma kann nur auf Klüften erfolgen, die einer Dehnung unterliegen. Dies setzt eine Orientierung von σ_1 parallel der Klüfte voraus. Die Basaltgänge im Kraichgau streichen NNE, ihr Alter ist 52–65 my (LIPPOLT et al. 1974).

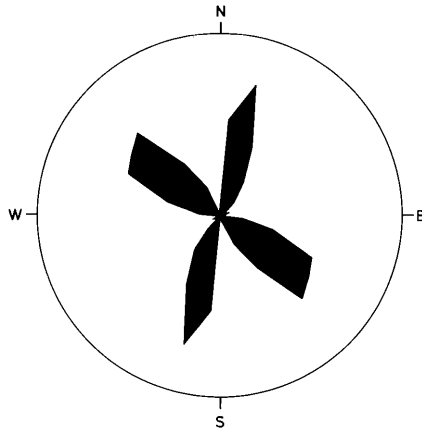


Abb. 21. Sammeldiagramm für die Horizontal-Stylolithen der Streichrichtungsrosen aus der Abb. 20. Prämittelmiozän gebildete Horizontal-Stylolithen streichen NNE, Horizontal-Stylolithen postuntermiozänen Alters streichen NW. Eine Streichrichtungskonstanz ist evident. Zur Darstellung kamen 666 Horizontal-Stylolithen. Der Kreis entspricht 20%. Abgebildet ist das Zapfenstreichen der Horizontal-Stylolithen.

Dies wiederum fordert ein stress-Feld, dessen σ_1 im Paläozän NNE ausgerichtet war. Hierbei mußten auch die Horizontal-Stylolithen in NNE-Richtung gebildet worden sein (1. Horizontal-Stylolithengeneration). Doch ist σ_1 des rezenten Spannungsfeldes NW-SE gerichtet (ILLIES & GREINER 1976). Dies bedeutet, daß die NW streichenden Horizontal-Stylolithen einem jüngeren, und zwar einem postuntermiozänen Bildungsplan zuzurechnen sind (2. Horizontal-Stylolithengeneration). Wie vorangehend aufgezeigt, gehören die mineralisierten Gänge des Neuenbürger Erzrevieres dem gleichen Spannungsfeld an.

Feldgeologisch läßt sich eine relative Altersdatierung der Horizontal-Stylolithengenerationen bei geeigneten Aufschlußverhältnissen bisweilen durch den Verlauf der Suturen nachweisen: Suturen mit NW streichenden Horizontal-Stylolithen setzen nämlich nicht selten an Suturen mit NNE streichenden Horizontal-Stylolithen ab, d. h., letztere sind älter. Ein solches Absetzen ist z. B. im Muschelkalkbruch bei Wöschbach/Karlsruhe (Top.-Karte L 7116, R: ³⁴9160/H: ⁵⁴8560) zu beobachten.

Für den Bereich des Hohenzollerngrabens konnte HOFFERS (1974:68) aufzeigen, daß die NNE streichenden Horizontal-Stylolithen älter als die NW streichenden sind.

Um das Absetzen der Suturen modellhaft verdeutlichen zu können wurde hierzu, wie schon

in Abb. 19, auf eine Fußbodenplatte der Landessammlungen für Naturkunde, Karlsruhe, zurückgegriffen (siehe Abb. 22). Beziehungen zur Altersabfolge der Horizontal-Stylolithen im Untersuchungsgebiet bestehen hierbei natürlich nicht.

Den Sedimenttafeln werden im Bannbereich größerer präexistenter Brüche, durch welche die Orientierung von σ_1 eine Ablenkung erfahren mag, Horizontal-Stylolithen selbständiger Streichrichtung aufgezwungen. Bei der statistischen Auswertung zeigte sich, daß die Streichrichtungen der Horizontal-Stylolithen im südlichen Kraichgau im Mittel bei 25° resp. 135° liegen, dagegen im nördlichen Kraichgau bei 15° resp. 105° (Abb. 20). Betrachtet man die Streichrichtungsänderung des Oberrheingrabens zwischen Karlsruhe und Heidelberg, so fällt auf, daß der Oberrheingraben bei Karlsruhe NNE streicht, bei Heidelberg aber N-S. Dieses Streichrichtungsverhalten weisen auch die ihn begleitenden Störungszonen auf. Horizontal-Stylolithen zeichnen diese Streichrichtungsänderungen nach.

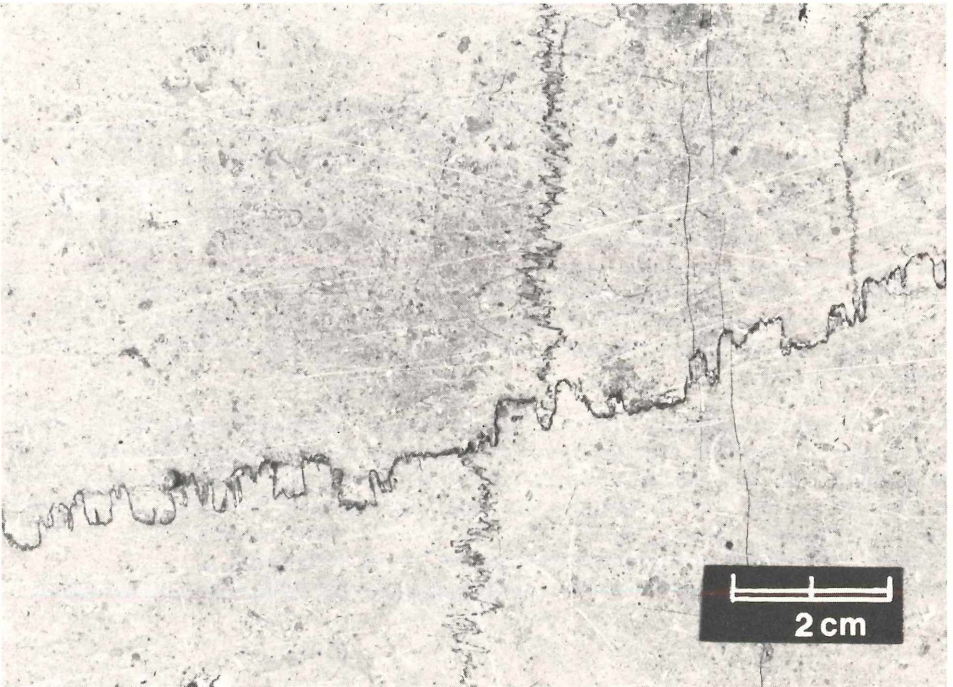


Abb. 22. Beispiel für das Absetzen der Suturen.

Eine jüngere Stylolithengeneration, senkrecht verlaufende Suture, setzt an einer älteren, waagrecht verlaufenden Suture ab. Beziehungen zur Altersabfolge der Horizontal-Stylolithen im Untersuchungsgebiet bestehen hierbei nicht.

Bodenplatte aus den Landessammlungen für Naturkunde, Karlsruhe.

Foto: HECKEL.

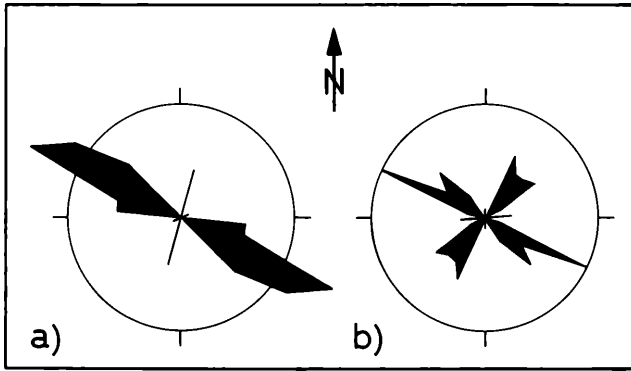


Abb. 23. Beispiel für die Übereinstimmung der dominanten Streichrichtungen zwischen Horizontal-Stylolithen und Klüften. Hier vor allem in NW-SE-Richtung.

a) Streichrichtungsrose bezogen auf das Zapfenstreichen von 69 Horizontal-Stylolithen.

b) Kluftrose bezogen auf 156 Klüfte.

Das Maximum beider Streichrichtungsrosen liegt jeweils bei 115° bzw. bei $15-25^\circ$. Die Kreise entsprechen 20 %. Steinbruch im Hauptmuschelkalk, Obere Mühle, Markgröningen (Top. Karte, L 7120, R: 3505020 / H: 5417800).

Auffallend ist ebenso das Streichrichtungsverhalten der Horizontal-Stylolithen im nördlichen Bereich des Fildergrabens bei Markgröningen, wo ein Bündel von Parallelstörungen ca. 115° streicht. Diese Richtung kommt auch im Klufftstreichen zum Ausdruck (Abb. 23). Entgegen einem in der weiteren Umgebung vorherrschenden NW-Streichen der Horizontal-Stylolithen, weisen diese hier im Mittel die gleiche Streichrichtung wie die Störungen auf (Abb. 20 u. 23). Außerhalb dieser individuellen Spannungseinseln stellt sich wieder ein großräumiges stress-Feld ein. Daher sollte man regional gewonnene Gesetzmäßigkeiten nicht unbedingt auf größere Bereiche übertragen. Auffallend ist jedoch eine in ganz Europa und Nordafrika vorherrschende NNE-Richtung. Eine übersichtliche Darstellung des Verteilungsmusters der Horizontal-Stylolithen gaben hierzu zuletzt SCHÄFER (1978) und KURZE & NECKE (1979).

Horizontal-Stylolithenbildung und Klufftbildung sind im allgemeinen genetisch eng miteinander verknüpft. So kann man den dominanten Horizontal-Stylolithenmaxima je ein Klufftmaximum der gleichen Genese zuordnen (BUCHNER 1978). Dies verdeutlicht sehr gut Abb. 23. Da sich nun die Achsenlängen der Horizontal-Stylolithen in NNE- und NW-Richtung nicht unterscheiden, vermag man für beide Horizontal-Stylolithengenerationen, zumindest für deren Bildungszeit, den gleichen tektonischen Druck postulieren.

Allerdings kann die Entstehungsdauer beider Generationen noch nicht erfaßt werden.

6. Der Tuniberg, ein Beispiel für neotektonische Bewegungen im südlichen Grabenabschnitt

Im südlichen Grabenabschnitt heben sich aus den randlichen Bruchzonen zwei Bruchfelder besonders stark hervor. Das eine ist das Zaberner Bruchfeld, ein Element der Pfalzburger Kraichgau-Mulde, das andere ist die Freiburger Bucht mit dem Tuniberg. Das geologische Bild der Freiburger Bucht (Abb. 24) wird durch das komplexe Zusammenspiel von tektoni-

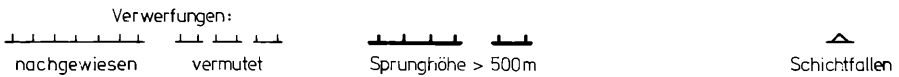
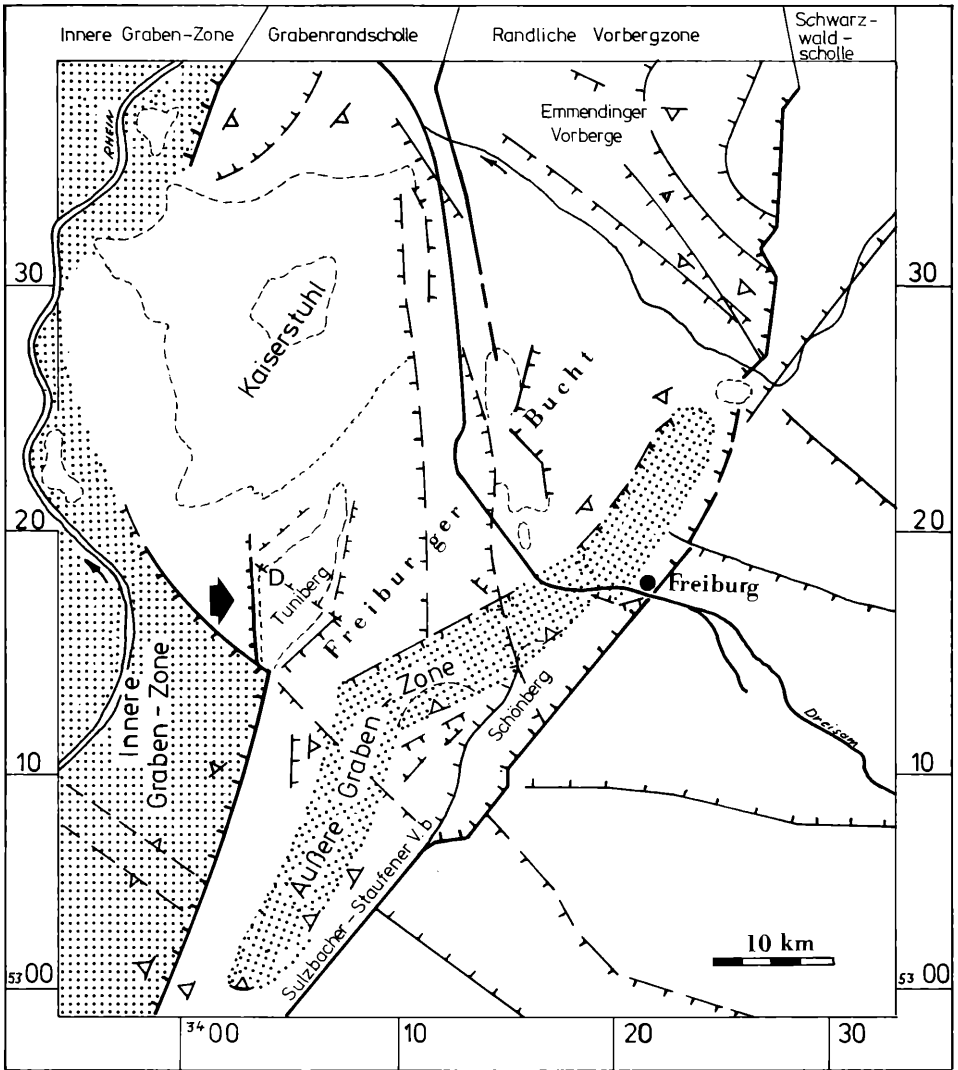


Abb. 24. Tektonische Übersichtskarte der Freiburger Bucht.

Der Verlauf der Tunibergerverwerfung nördlich des Dimberges (D) ist nicht gesichert; vermutet wird, daß sie durch den Kaiserstuhl hindurchzieht, dabei ist jedoch auch ihre Streichrichtung unbekannt. Der dicke Pfeil zeigt auf die Tunibergerverwerfung. Gestrichelt die Umrandung des Kaiserstuhls und einzelner Sedimentschollen.

Die Übersichtskarte wurde nach HÜTTNER & SCHREINER (1977) umgezeichnet.

schen Bewegungen und dem damit verknüpften Vulkanismus geprägt. Gegeneinander verstellte Schollen sowie der Kaiserstuhlvulkanismus und die mit ihm genetisch verbundenen Tuffschlote und vulkanischen Gänge der weiteren Umgebung sind Folgeerscheinungen eines „rifting“-Prozesses (ILLIES 1974:14).

Der Tuniberg, als eine der isolierten Schollen der Freiburger Bucht, ragt von Westen gesehen, wie ein steiler Wall unmittelbar aus der Rheinebene auf, wobei der Höhenunterschied des Tunibergrückens gegenüber der Rheinebene ca. 100 m beträgt (Abb. 27). Modellhaft sind an dieser Steilstufe Profile innerhalb der jurassischen Schichtenfolge (Murchisonae-schichten bis Haupttrogenstein) aufgeschlossen, die schon recht früh einer Bearbeitung unterzogen wurden (STEINMANN & GRAEFF 1897, SARDESON 1899).

Der westliche Tunibergrand zeichnet morphologisch eine NNW streichende Abschiebung nach. Es ist dies die Tunibergrandverwerfung. Sie weist eine Sprunghöhe von mehr als 1000 m auf (SEISMOS (GmbH) 1952, HÜTTNER & SCHREINER 1977:238). Am Süden des Tunibergeres setzt sie an der NW streichenden inneren Grabenrandverwerfung ab (Abb. 24); an dieser sind die äquivalenten Schichten des Grabens gegenüber der Tunibergscholle an die 2000 m abgesunken (BREYER 1974).

Die Bruchstufe des Tunibergeres streicht etwa NNW (170°) und folgt damit dem Trend der maximalen Kompressionsspannung des rezenten Spannungsfeldes (ILLIES 1976:8). Es kann diese, wie eingangs erwähnt, als ein en échelon aufgerissenes Bruchsystem aufgefaßt werden. Von diesem kann man aufgrund der Herdflächenmechanismen von Erdbeben und aufgrund der Geländebeobachtungen annehmen, daß es in tieferen geologischen Stockwerken einer Scherung (Riedel shear) und in den Deckschichten einer Extension (Fiederspalt im großen Maßstab) unterliegt. Zeigen doch die Herdflächenlösungen der in diesem Gebiet registrierten Erdbeben, daß neben den überwiegend stattfindenden sinistralen Horizontalbewegungen eine systematische Abschiebungstendenz zusätzlich auftritt (mdl. Mitt. von Herrn K. P. BONJER, Inst. f. Geophysik, Univ. Karlsruhe und BONJER & GELBKE 1979). Rezente Abschiebungstektonik an diesem Lineament wurde auch durch die geodätischen Messungen von MÄLZER & SCHLEMMER (1975) nachgewiesen. Diese Absenkungstendenz dokumentiert sich ebenfalls in dem mit pleistozänen Schottern gefüllten Sedimentationstrog westlich vom Kaiserstuhl und Tuniberg. Die Mächtigkeit des Pleistozäns wird mit über 200 m angegeben; die Troglängsachse streicht auch NNW (BARTZ 1974).

Abb. 25. Geologisch-tektonische Detailkarte entlang der Tunibergrandverwerfung mit den Lagepunkten der Kluffrosen und Anzahl der eingemessenen Klüfte. Der Radius der Kluffrosen entspricht 10%. Eine Ausnahme bildet die Kluffrose links unten mit 170 Klüften, bei ihr entspricht der Radius 20%.

ZEICHENERKLÄRUNG

| | | | |
|--|---|---|--|
|  | LÖSS UND LÖSSLEHM, UNGEGLIEDERT |  | DOGGERBRECCIE |
|  | dg ₅ HAUPTTROGENSTEIN |  | TRAVERTINÖSE UND BRECCIOSE GESTEINE MIT EINGESCHALTENEM TUFF |
|  | dg ₄ BLAGDENI- UND HUMPHRIESISCHICHTEN |  | TUFFE |
|  | dg ₃ SAUZEI- UND SOWERBYISCHICHTEN |  | VERMUTETER SPRENGTRICHTER (n. ILLIES 1958) |
|  | dg ₂ MURCHISONAESCHICHTEN |  | VERWERFUNGEN |

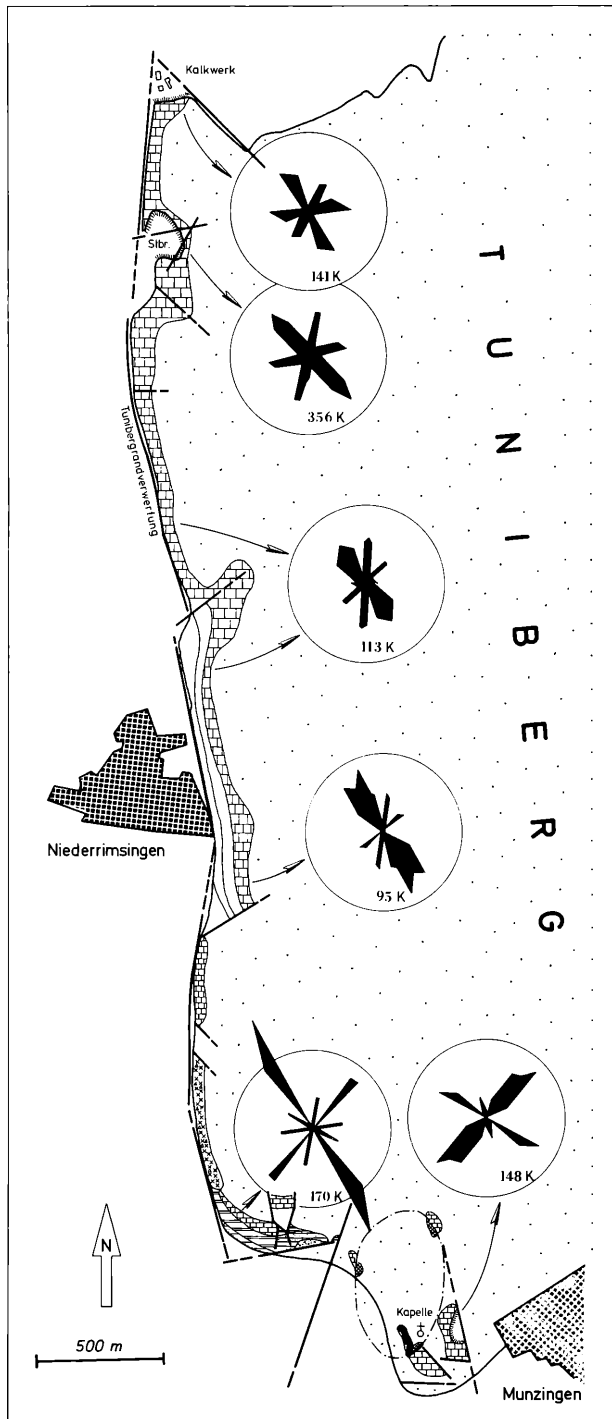


Abb. 25

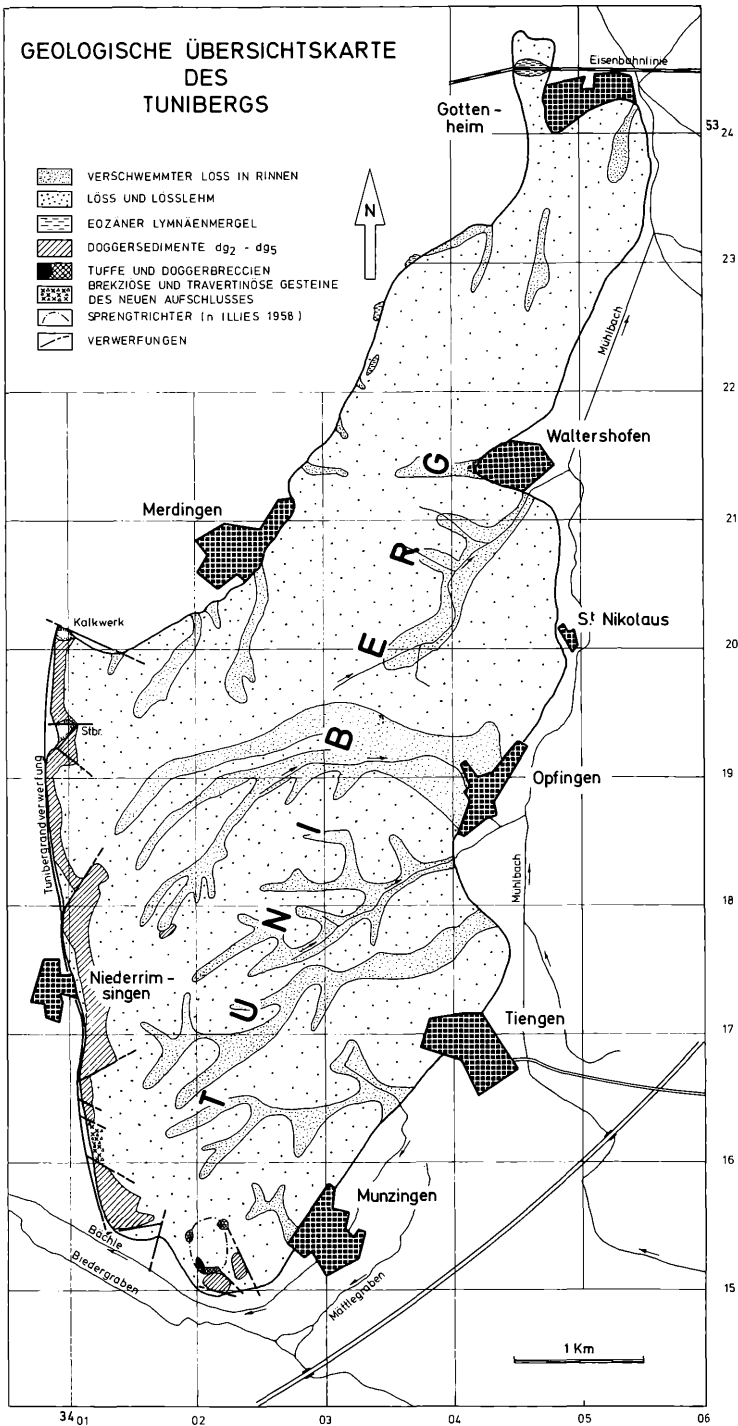


Abb. 26

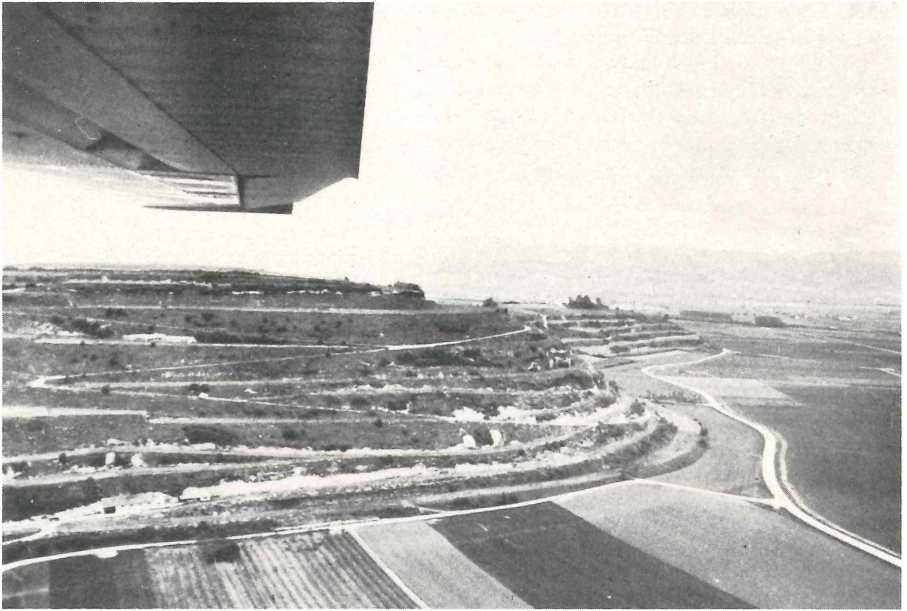


Abb. 27. Blick auf das escarpment des südlichen Tuniberges mit Blickrichtung von West nach Ost. Der Weg am Fuß des escarpments verläuft in etwa auf der NNW streichenden Tunibergrandverwerfung. Im Hintergrund rechts, die um ca. 50 m abgesunkene Teilscholle des Kapellenberges mit der Ehrentrudiskapelle. Der Schichtkomplex der Travertine, travertinösen Kalke und Brekzien mit den Tufflagen ist wenig oberhalb des erwähnten Weges auf der Länge des ganzen Abhanges aufgeschlossen. Luftbild freig. Reg.Präs. Freiburg: 9975, 28. 06. 77.

Kluftmessungen in Steinbrüchen und Aufschlüssen am escarpment des Tuniberges heben ebenso eine NNW-Richtung als deutliches Maximum hervor. Klüfte mit jungen Öffnungsbewegungen zeichnen diese Richtung nach. Zusätzlich ist am südlichen Tuniberg ein zweites Maximum in der NE-Richtung ausgeprägt (Abb. 25).

Die Tunibergrandverwerfung, an der sich eine aktive Absenkung vollzieht, ist eine Stelle des Oberrheingrabens, an welcher der Zusammenhang zwischen Tektonik und Vulkanismus deutlich wird. Ein von ILLIES & WIMMENAUER (1958) erstmals beschriebener vulkanischer Sprengtrichter an der Ehrentrudiskapelle (Abb. 25 u. 26) tritt an einer tektonischen Schwächestelle auf, und zwar dort, wo die NNE streichende innere Grabenrandverwerfung in die NW-Richtung umknickt (Abb. 24). Darauf zurückzuführen ist auch die Absenkung der Teilscholle des Kapellenberges mit der Ehrentrudiskapelle um ca. 50 m (Abb. 27 u. 28). Das Alter der Eruption wird mit Pliozän angegeben.

Abb. 26. Geologische Übersichtskarte des Tuniberges, zusammengestellt aus der geol. Karte 1:25 000, Bl. Hartheim-Ehrenstetten (Nr. 115/116), der geol. Exkursionskarte des Kaiserstuhls 1:25 000 und der geol. Karte Freiburg i.Br. 1:50 000 sowie eigenen Aufnahmen.

Es wurden nun durch die Flurbereinigung der letzten Jahre neue Aufschlüsse am südlichen Tuniberg geschaffen, die Gesteine freilegten, welche bis dato vom Tuniberg noch nicht beschrieben worden waren. Dabei handelt es sich um einen Schichtkomplex von Travertinen, travertinösen Kalken und Brekzien unterschiedlicher Zusammensetzung. Stellenweise eingeschaltet in die Brekzien finden sich eingeschwemmte Tufflagen. Die Altersdatierung des Schichtkomplexes konnte anhand der Travertine vorgenommen werden, denn diese führen eine pleistozäne Mulluskenfauna (Abb. 29). Auffallend ist hierbei, daß die aufgefundenen

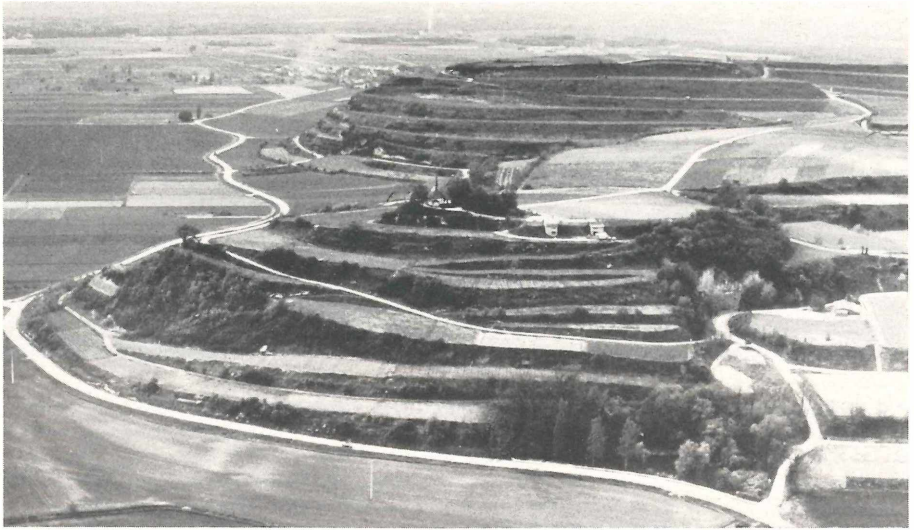


Abb. 28. Blick auf den südlichen Tuniberg mit dem Kapellenberg und der Ehrentrudiskapelle im Vordergrund. Blickrichtung von SW nach NE.

Im Bildmitte, in der störungsbedingten Einkerbung der Geländekante hinter der Kapelle, befindet sich der erwähnte Tuffschlot. Luftbild freig. Reg.Präs. Freiburg: 9972, 28. 06. 77.



Abb. 29. Travertinöser Kalk mit der pleistozänen Lößschnecke *Aegopinella nitens*. (Best. durch Herrn R. HUCKRIEDE, Inst. f. Geol. u. Paläont., Univ. Marburg).

Vorkommen an der Tunibergrandverwerfung auftreten. Vermutlich sind an dieser Störungszone, die ja aufgrund der Abschiebungstektonik Öffnungsbewegungen unterliegen muß, CO₂-haltige Mineralwässer aufgestiegen, wodurch es zur Abscheidung der Travertine gekommen ist. Aufgrund der niederen geothermischen Tiefenstufe dieser Region wird es sich wahrscheinlich um Thermalwässer gehandelt haben.

Schlußbetrachtung

Bei den vorgestellten Beispielen aus dem Oberrheingraben und seinen Randzonen vermeint man zunächst keinen gemeinsamen Rahmen feststellen zu können. Scheinen doch die tektonischen Vorgänge zu verschiedenartig zu sein. Betrachtet man jedoch diese unter der Hypothese eines einheitlichen Spannungsfeldes und dessen Umorientierung im Neogen, so vermag man doch die Vielgestaltigkeit der Rheingraben-Tektonik zu entwirren.

Prämittelmiozän finden wir vor allem Abschiebungstektonik und Dehnung in der NNE-Richtung. Dies setzt ein parallel zum Graben ausgerichtetes σ_1 voraus. Die Kraichgauer Basaltgänge und die Horizontal-Stylolithen der ersten Generation sind beredete Zeugen hiervon.

Durch die postuntermiozäne Drehung des Spannungsfeldes kam dann der Graben in den Bereich einer sinistralen Scherkomponente; die hierzu konjugierten Scherflächen mit dextralem Bewegungssinn streichen bevorzugt WNW. Im Graben selbst wurden gleichzeitig NNW streichende und en échelon angeordnete Bruchsysteme, wie z. B. die Tunibergrandverwerfung, gebildet. Dieses Spannungsfeld setzt nun ein NW-SE ausgerichtetes σ_1 voraus. Die Neuenbürger Erzgänge und die Horizontal-Stylolithen der zweiten Generation zeichnen diese Richtung nach. Selbst die Elmsteiner Verwerfung gehorcht auch in ihrer letzten Bewegungsphase, trotz ihres abweichenden Formungsablaufes, dem gleichen Spannungsplan.

Die Richtung von σ_1 kann man vor allem aus in situ Spannungsmessungen und durch die Interpretation der Herdflächenlösungen von Erdbeben bestimmen. Durch die Kenntnis seiner Lage ist es dann mit Hilfe gefügekundlicher Aufnahmen, wie z. B. im Wasselonner Horst, möglich, Rückschlüsse auf ältere tektonische Vorgänge zu ziehen. So kontrolliert letzten Endes ein einheitliches und überregionales Spannungsfeld die tektonischen Abläufe im südwestdeutschen Raum.

Herrn Prof. Dr. H. ILLIES danken wir für förderliche Diskussionen.

Literatur

- AHORNER, L. (1975): Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault zones in Central Europe. — *Tectonophysics*, **29**: 233—249; Amsterdam.
- BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingraben. — In: ILLIES, H. & FUCHS, K., (eds.): *Approaches to Taphrogenesis*: 78—87; Stuttgart (Schweizerbart).
- BATHURST, R. G. C. (1975): Carbonate sediments and their diagenesis. — In: *Developments in sedimentology*, **12**: 658 S.; Amsterdam (Elsevier).
- BEIERSDORF, H. (1969): Druckspannungsindizien in Karbonatgesteinen Süd-Niedersachsens, Ost-Westfalens und Nord-Hessens. — *Geol. Mitt.*, **8**: 217—262; Aachen.
- BONJER, K. P. & GELBKE, C. (1979): Seismicity and dynamics of the Upper Rhinegraben region. — (To be submitted to *J. Geophys.*; Berlin).

- BREYER, F. (1974): Die Entstehungsgeschichte des Südtails des Rheingrabens nach reflexionsseismischen Messungen, geologischen Kartierungen und Tiefbohrungen. — *Geol. Jb.*, A **20**: 3—64; Hannover.
- BRILL, R. (1933): Geologische Spezialkarte von Baden. — Erläut. Bl. Pforzheim (Nr. 64) 1:25000: 80 S.; Freiburg i. Br.
- BUCH, W. (1938): Junge Krustenbewegungen im Landschaftsbild der Buntsandstein-Pfalz. — *Frankf. geogr. H.*, **12**: 1—77; Frankfurt.
- BUCHNER, F. (1977): Tektonische Studien am Rande des Oberrheingrabens bei Wasselonne (Westl. Strasbourg). — *Oberrhein. geol. Abh.*, **26**: 11—21; Karlsruhe.
- BUCHNER, F. & STUCKE, W. (1977): Experimentell erzeugte und natürliche Scherflächen. — *Oberrhein. geol. Abh.*, **26**: 1—9; Karlsruhe.
- BUCHNER, F. (1978): Über Horizontal-Styloolithen im Muschelkalk des Kraichgaus (SW-Deutschland) und ihr tektonischer Rahmen. — *Oberrhein. geol. Abh.*, **27**: 1—9; Karlsruhe.
- CLOOS, H. (1928): Experimente zur Inneren Tektonik. — *Centralbl. Min. Geol. u. Paläont., Abt. B: Geol. u. Paläont.*: 609—621; Stuttgart.
- FÜCHTBAUER, H. (1978): Zur Herkunft des Quarzements. Abschätzung der Quarzauflösung in Silt- und Sandsteinen. — *Geol. Rdsch.*, **67**: 991—1008; Stuttgart.
- HARDING, T. P. (1974): Petroleum traps associated with wrench faults. — *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, **58**: 1290—1304; Tulsa.
- HOFFERS, B. (1974): Horizontalstyloolithen, Abschiebungen, Klüfte und Harnische im Gebiet des Hohenzollerngrabens und ihre Altersverhältnisse. — *Oberrhein. geol. Abh.*, **23**: 65—73; Karlsruhe.
- HOFFMANN, U. (1967): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000. — *Bl. Nr. 6125, Würzburg Nord*: 94 S.; München.
- HÜTTNER, R. & SCHREINER, A. (1977): Tektonik. — In: Erläut. Geol. Karte Freiburg i. Br. 1:50 000: 199—249; Stuttgart.
- ILLIES, H. & WIMMENAUER, W. (1958): Ein neues Tuffvorkommen am Tuniberg bei Freiburg i. Br. — *Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg*: 195—211; Freiburg i. Br.
- ILLIES, H. (1962): Prinzipien der Entwicklung des Rheingrabens, dargestellt am Grabenabschnitt von Karlsruhe. — *Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg*, **31**: 58—121; Hamburg.
- ILLIES, H. (1974): Intra-Plattentektonik in Mitteleuropa und der Rheingraben. — *Oberrhein. geol. Abh.*, **23**: 1—24; Karlsruhe.
- ILLIES, H. & GREINER, G. (1976): Regionales stress-Feld und Neotektonik in Mitteleuropa. — *Oberrhein. geol. Abh.*, **25**: 1—40; Karlsruhe.
- ILLIES, H. (1978): Neotektonik, geothermale Anomalie und Seismizität im Vorfeld der Alpen. — *Oberrhein. geol. Abh.*, **27**: 11—31; Karlsruhe.
- ILLIES, H. & GREINER, G. (1979): Holocene movements and state of stress in the Rhinegraben rift system. — *Tectonophysics*, **52**: 349—359; Amsterdam.
- KURZE, M. & NECKE, G. (1979): Horizontalstyloolithen als regionalgeologische Druckspannungsindizien. — *Z. geol. Wiss.*, **7**: 633—639; Berlin.
- LIEDKE, H. (1967): Grundzüge der geomorphologischen Entwicklung des Pfälzer Waldes. — *Z. f. Geomorph., N. F.*, **11**: 332—351; Berlin.
- LIPPOLT, H. J., TODT, W. & HORN, P. (1974): Apparent potassium-argon ages of Lower Tertiary Rhinegraben volcanics. — In: ILLIES, H. & FUCHS, K., (eds.): *Approaches to Taphrogenesis*: 213—221; Stuttgart.
- MÄLZER, H. & SCHLEMMER, H. (1975): Geodetic measurements and recent crustal movements in the southern Upper Rhinegraben. — *Tectonophysics*, **29**: 275—282; Amsterdam.
- MEINHOLD, R. (1977): Neue Erkenntnisse über die Diagenese disperser organischer Gesteinssubstanzen. — *Z. angew. Geol.*, **23**: 9—16; Berlin.
- METZ, K. (1967): Lehrbuch der tektonischen Geologie. — 2. Aufl., 357 S.; Stuttgart (Enke).
- METZ, R. (1977): Mineralogisch-landeskundliche Wanderungen im Nordschwarzwald. — 2. Auflage, 632 S.; Lahr (Schauenburg).
- PLESSMANN, W. (1972): Horizontal-Styloolithen im französisch-schweizerischen Tafel- und Faltenjura und ihre Einpassung in den regionalen Rahmen. — *Geol. Rdsch.*, **61**: 332—347; Stuttgart.
- RIEDEL, W. (1929): Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. — *Centralbl. Min. Geol. Paläont., Abt. B: Geol. u. Paläont.*, **1929**: 354—368; Stuttgart.
- RÖHRER, F. (1916/17): Geologische Untersuchungen der Beziehungen zwischen den Gesteinsspalten, der Tektonik und dem hydrographischen Netz im nördlichen Schwarzwald und südlichen Kraichgau. — *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F.*, **6**: 8—86; Stuttgart.

- RÖHRER, F. (1924): Das Ganggebiet von Neuenbürg und Pforzheim. — In: HENGLEIN, M.: Erz- und Minerallagerstätten des Schwarzwaldes: 121—139; Stuttgart (Schweizerbart).
- SARDESON, F. (1899): Die Gliederung des Dogger am Tuniberge. — Mitt. Bad. Geol. Landesanst., 3: 108—117; Heidelberg.
- SCHÄFER, K. (1978): Geodynamik an Europas Plattengrenzen. — *Fridericiana*, 23: 30—46; Karlsruhe.
- SEISMOS (GmbH) (1952): Bericht über die reflexionsseismischen Untersuchungen im Meißgebiet Südbaden-Tuniberg der Deutschen Erdöl AG., Hamburg; Hannover.
- SKEMPTON, A. W. (1966): Some observations on tectonic shear zones. — *Proc. First Cong. Int. Soc. Rock Mechanics*, 1: 329—335; Lissabon.
- STEINMANN, G. & GRAEFF FR. (1897): Geolog. Spezialkarte des Grossherzogtums Baden. — Erläut. Bl. Hartheim-Ehrenstetten (Nr. 115/116), 1:25 000: 83 S.; Heidelberg.
- STUCKE, W. (1977): Geologie und Tektonik im Bereich der Elmsteiner Störung zwischen Wilgartswiesen und Eschkopf (Pfälzerwald). — Masch.-schriftl. Diss., 198 S.; Karlsruhe.
- TRURNIT, P. (1967): Morphologie und Entstehung von Druck-Lösungserscheinungen während der Diagenese. — Diss.; Heidelberg.
- WAGNER, G. (1913): Stylolithen und Drucksuturen. — *Geol. Paläont. Abh.*, N. F., XI: 101—128; Jena.
- WAGNER, G. H. (1964): Kleintektonische Untersuchungen im Gebiet des Nördlinger Rieses. — *Geol. Jb.*, 81: 519—600; Hannover.
- WEISSBACH, G. (1979): Die Veränderlichkeit des Restscherwiderstandes von Gesteinstrennflächen. — *Bochumer geol. u. geotechn. Arb.*, 1: 184 S.; Bochum.

Anschrift der Verfasser: Dipl.-Geol. F. BUCHNER, Giesen GmbH — Brunnenbau, Tiefbohrungen — Heidelberger Str. 7, D-6901 Nußloch b. Heidelberg;
 Dipl.-Geol. Dr. W. STUCKE, Landessammlungen für Naturkunde, Postfach 4045, D-7500 Karlsruhe 1;
 Dipl.-Geol. W. WIESSNER, Geologisches Institut, Kaiserstr. 12, D — 7500 Karlsruhe 1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [38](#)

Autor(en)/Author(s): Buchner Frank, Stucke Wolfgang, Wiessner Wolfgang

Artikel/Article: [Ausgewählte Kapitel zur Oberrheingraben-Tektogenese 17-51](#)