

**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae  
**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft  
**Band:** 80 (1987)  
**Heft:** 2: Beiträge zur Geologie der Nordschweiz : Symposium "Geologie der Nordschweiz"  
  
**Artikel:** Die Kataklaste im kristallinen Untergrund der Nordschweiz  
**Autor:** Meyer, Jürg  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-165998>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Die Kataklase im kristallinen Untergrund der Nordschweiz

Von JÜRG MEYER<sup>1)</sup>

## ZUSAMMENFASSUNG

Im kristallinen Untergrund der Nordschweiz können zwei Hauptphasen kataklastischer Verformung beobachtet werden, nämlich eine «Kataklase 1» unter höher temperierten hydrothermalen Bedingungen, die eine Folge tektonischer und magmatisch-hydrothermaler Prozesse im Oberkarbon ist, und eine tiefer temperierte hydrothermale «Kataklase 2», die mit der permischen Tektonik am Nordrand des paläozoischen Konstanz–Frick-Troges in Zusammenhang gebracht werden kann. Die Kataklasen in diesen Gesteinen werden als Ergebnis eines länger andauernden komplexen Verformungsprozesses in seichten Krustenniveaus interpretiert.

## ABSTRACT

In the crystalline basement of northern Switzerland two main phases of cataclastic deformation can be distinguished: a “cataclasis 1” in a higher temperature hydrothermal regime, as a consequence of tectonic and magmatic-hydrothermal events in Upper Carboniferous time and a lower temperature “cataclasis 2”, which can be related to Permian tectonics at the northern margin of the Paleozoic Konstanz–Frick trough. These cataclases are interpreted as a result of longlasting and complex tectonic processes at shallow crustal levels.

## 1. Einleitung

Das bis noch vor wenigen Jahren vorherrschende Bild eines mehr oder weniger regelmässig vom Schwarzwald flach nach Süden einfallenden, ungestörten kristallinen Untergrundes der Nordschweiz wurde durch die Resultate der sechs Nagra-Tiefbohrungen sowie durch die verschiedenen Seismik-Kampagnen der Nagra gründlich widerlegt. Es zeigte sich, dass dieses Grundgebirge in äusserst komplexer Weise tektonisch und hydrothermal überprägt wurde (PETERS et al. 1985, 1987a, 1987b, MATTER et al. 1987a, 1987c, PETERS 1987, dieser Band, SPRECHER & MÜLLER 1986, LAUBSCHER 1986).

Die angetroffene Vielfalt von Deformationsstrukturen lässt sich folgendermassen zuordnen:

1. Deformationen der hochgradigen Metamorphose in den Gneisen
2. Kataklastische Deformationen in den Gneisen und Graniten
3. Klüftungen in den Gneisen und Graniten

In diesem Beitrag wird nur auf die kataklastischen Deformationen eingegangen, da die für die Interpretation der metamorphen Deformationsstrukturen sowie der Klüftun-

---

<sup>1)</sup> Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität Bern, Baltzerstrasse 1, CH–3012 Bern.

gen notwendigen statistischen Auswertungen der Messdaten aus den Bohrungen noch nicht weit genug vorangeschritten sind.

Aus dem Schwarzwald wurden kataklastische Deformationen bis in jüngste Zeit wenig beschrieben. Erst im Rahmen der Voruntersuchungen für das KTB-Programm wurde der Kataklase im Kristallin die nötige Beachtung geschenkt (z. B. FLÖTTMANN et al. 1986). Es soll deshalb in dieser Arbeit primär eine Beschreibung der kataklastischen Störungszonen gegeben werden, an zweiter Stelle werden vorläufige Überlegungen zur zeitlichen Stellung und Genese angestellt. Für tektonische Interpretationen ist der Zeitpunkt wegen des Mangels an ausgewerteten Strukturdaten noch verfrüht.

Die Darlegungen stützen sich vorwiegend auf die fünf Bohrungen Böttstein (BOE), Weiach (WEI), Schafisheim (SHA), Kaisten (KAI), Leuggern (LEU) sowie auf Beobachtungen im Schwarzwald und in älteren Bohrungen aus dem Raum Nordschweiz, die den kristallinen Untergrund anbohrten. Für die Nomenklatur der tektonisch gestörten Gesteine wurde auf die Arbeiten von WISE et al. (1984) und HEITZMANN (1985) abgestellt.

## 2. Der geologisch-tektonische Rahmen

Kataklastische Deformationen sind im Kristallin aller Bohrungen der Nordschweiz von Bedeutung, wie die in Figur 2 dargestellten prozentualen Anteile kataklastisch

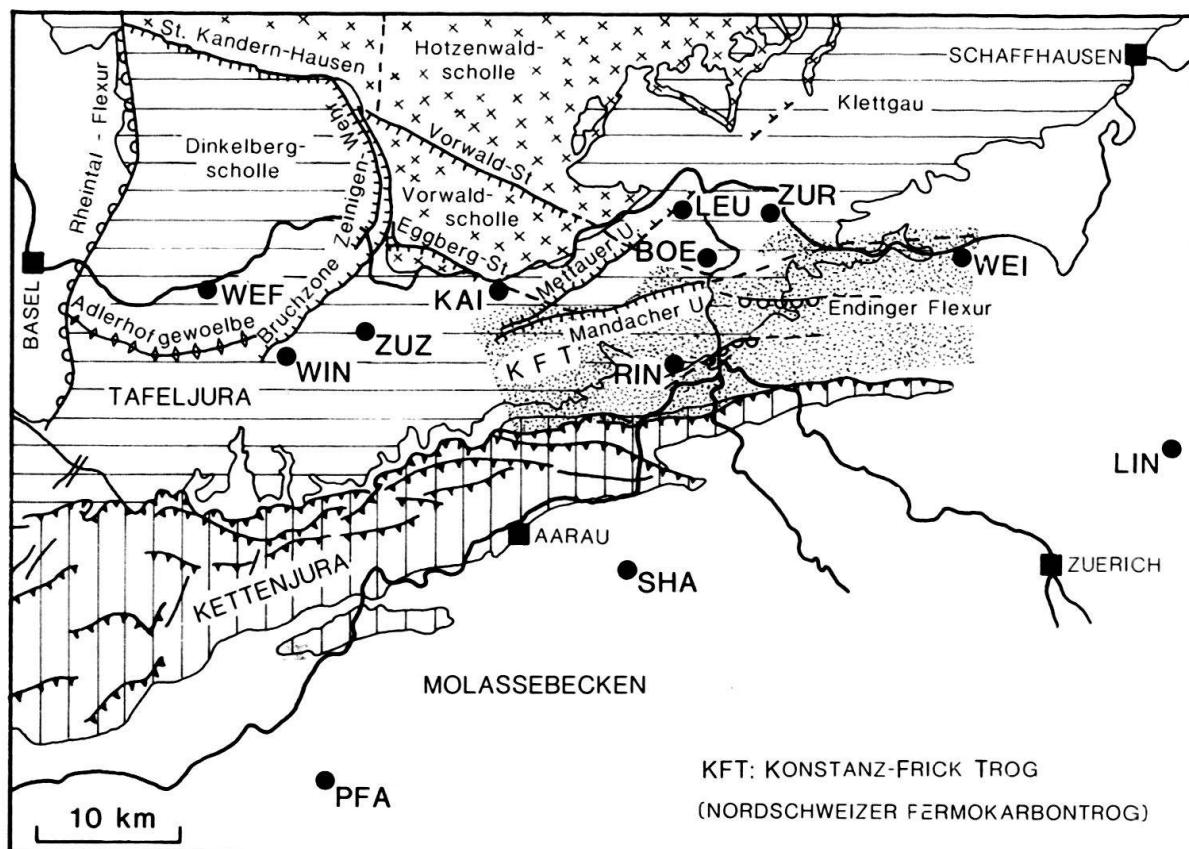


Fig. 1. Tektonische Skizze der Nordschweiz mit Lage der in dieser Arbeit berücksichtigten Bohrungen. Kompiliert aus MÜLLER et al. (1984) und SPRECHER & MÜLLER (1986).

BOE: Böttstein, KAI: Kaisten, LIN: Lindau, PFA: Pfaffnau, RIN: Riniken, SHA: Schafisheim, WEF: Weierfeld, WEI: Weiach, WIN: Wintersingen, ZUR: Zurzach, ZUZ: Zuzgen.

beeinflusster Bohrstrecken zeigen. Allerdings fallen dort sofort die grossen Unterschiede zwischen den einzelnen Bohrungen auf. Eine eindeutige Zuordnung einzelner erbohrter Störungszonen zu bekannten tektonischen Strukturen ist bisher nicht möglich; man kann aufgrund von Extrapolationen solcher Strukturen lediglich Vermutungen anstellen: So könnte beispielsweise in der Bohrung Kaisten die Störungszone von 1245–1270 m der

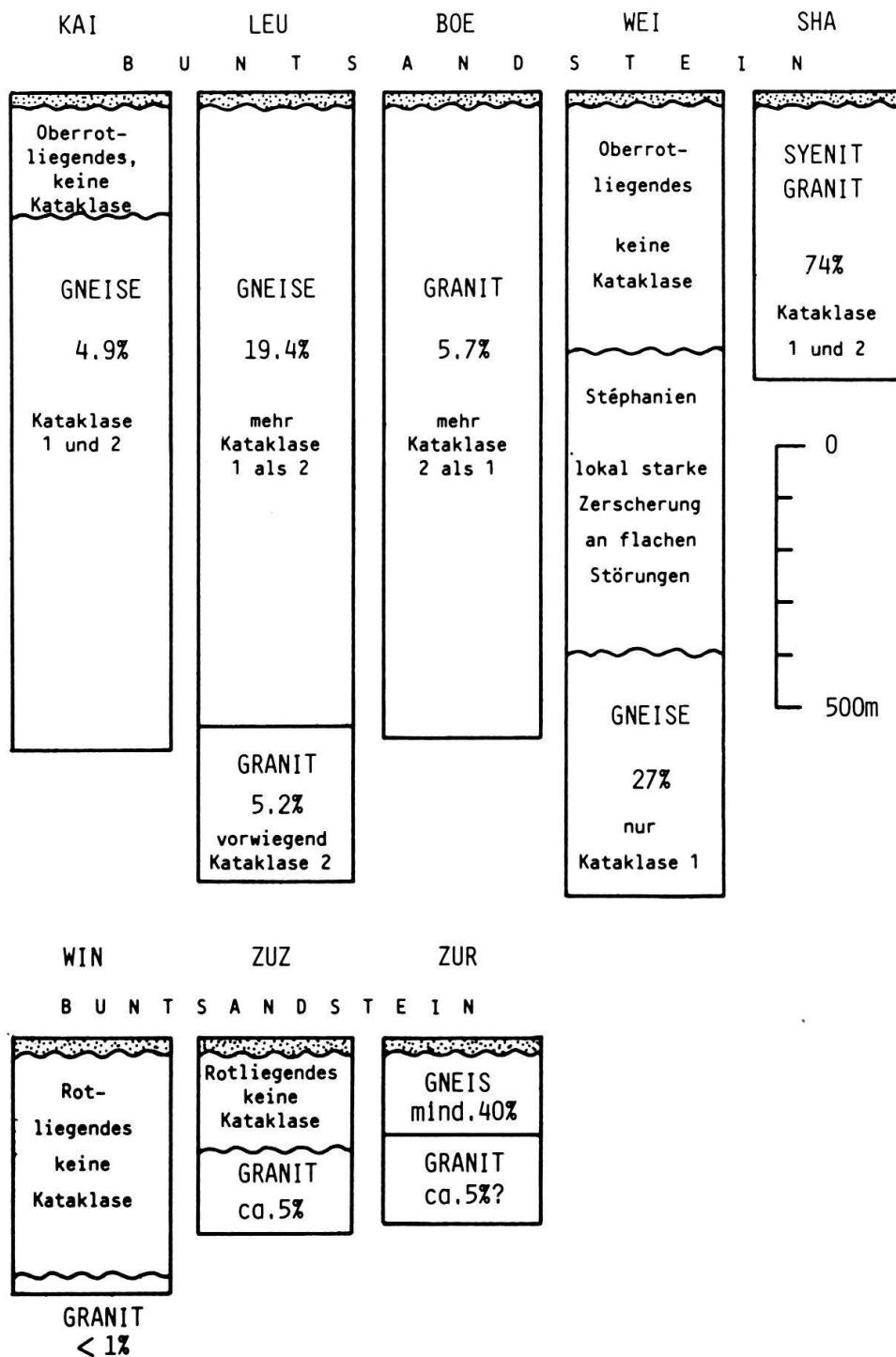


Fig. 2. Schematische Profile durch das Kristallin und das Paläozoikum einiger Bohrungen der Nordschweiz, mit Angaben zum prozentualen Anteil an durchbohrten kataklastischen Gesteinen. Abkürzungen siehe Figur 1.

Eggberg-Verwerfung entsprechen, und die Störungszonen im Böttstein-Granit könnten mit der Vorwaldstörung in Zusammenhang stehen (vgl. Fig. 1). Auch der Verlauf des Nordschweizer Permokarbon-Troges (Konstanz-Frick-Trog) kann nicht direkt in Beziehung gebracht werden mit der Intensität der Kataklase; so weisen die Gneise von Kaisten und der Granit von Böttstein, beide sehr nahe am Graben-Nordrand gelegen, eine weit geringere Kataklase auf als die weiter nördlich erbohrten Gneise von Leuggern oder die 10 km südlich des Graben-Südrandes gelegenen Gesteine von Schafisheim (Fig. 1 und 2). Andererseits zeigen die Gneise von Weiach, im nördlichen Randbereich des Troges, wo die Interpretation der geophysikalischen Resultate auf eine komplexe Tektonik hindeutet (LAUBSCHER 1986), einen sehr hohen Grad kataklastischer Überprägung. In der Bohrung Leuggern wird ein markanter Unterschied im Anteil der Kataklase zwischen Gneisserie (19,4%) und darunterliegendem Granit (5,2%) beobachtet; dies kann darauf hinweisen, dass die Kataklase zumindest teilweise im Zusammenhang mit der Intrusion der oberkarbonischen Granite stehen könnte.

Solche Beobachtungen machen es wahrscheinlich, dass die kataklastische Überprägung nicht auf ein einzelnes geologisches Ereignis, sondern auf ein langandauerndes komplexes Zusammenspiel verschiedener tektonischer Prozesse wie Granittektonik, Graben-tektonik, grossräumige Horizontalverschiebungen, wie sie alle während der herzynischen Orogenese im Untersuchungsgebiet abliefen (LAUBSCHER 1986), zurückzuführen sind.

### 3. Erscheinungsbild der kataklastischen Störungszonen

*Allgemeines:* Stets ist eine enge Kopplung von Kataklase und hydrothermaler Umwandlung zu beobachten. Die Ursache der Kataklase waren somit *tektono-hydrothermale Ereignisse*, bei denen auf den Bewegungsbahnen hydrothermale Fluids zirkulierten. Dabei können zwei verschiedene mit einer Kataklase verbundene hydrothermale Umwandlungen beobachtet werden:

1. Eine höher temperierte hydrothermale Umwandlung, mit Neubildung von Chlorit, Sericit, Kalifeldspat und Albit ( $\pm$  Prehnit, Pumpellyit, Epidot/Klinozoisit, Ti-Phasen u.a.m.).
2. Eine tiefer temperierte hydrothermale Umwandlung, mit Neubildung von Tonmineralien (hauptsächlich Illit), Quarz und Albit.

Es werden deshalb eine Kataklase 1 (höher temperiert) und eine Kataklase 2 (tiefer temperiert) unterschieden, wobei die Übergänge zwischen diesen beiden Haupttypen auch fließend sein können. Die hydrothermalen Neubildungen treten entweder als Pseudomorphosen nach magmatischen/metamorphen Mineralien (z. B. Chlorit nach Biotit) oder als Neusprossungen in der kataklastischen Matrix auf, z. T. in drusen- oder aderartiger Ausbildung (Fig. 4f). Die hydrothermalen Umwandlungen können weit bis ins ungehörte Gestein hinein reichen (cm- bis max. m-Bereich). Die Kataklasite 1 sind grünlich-grau, die Kataklasite 2 durch feindispersen Hämatit meist rötlich bis rotbraun gefärbt. In den Gneisen ist der Hauptanteil der Kataklase mit der höher temperierten Umwandlung verbunden, in den Graniten mit der tiefer temperierten. In den Gneisen, vorab in jenen der Bohrung Leuggern, sind postmetamorphe, jedoch prägranitische Scherzonen vorhanden, die älter als die Kataklase 1 sind und nicht mit dieser verwechselt werden dürfen. In diesen duktilen Scherzonen zeigt der Quarz ausgeprägte dynamische Rekristallisation.

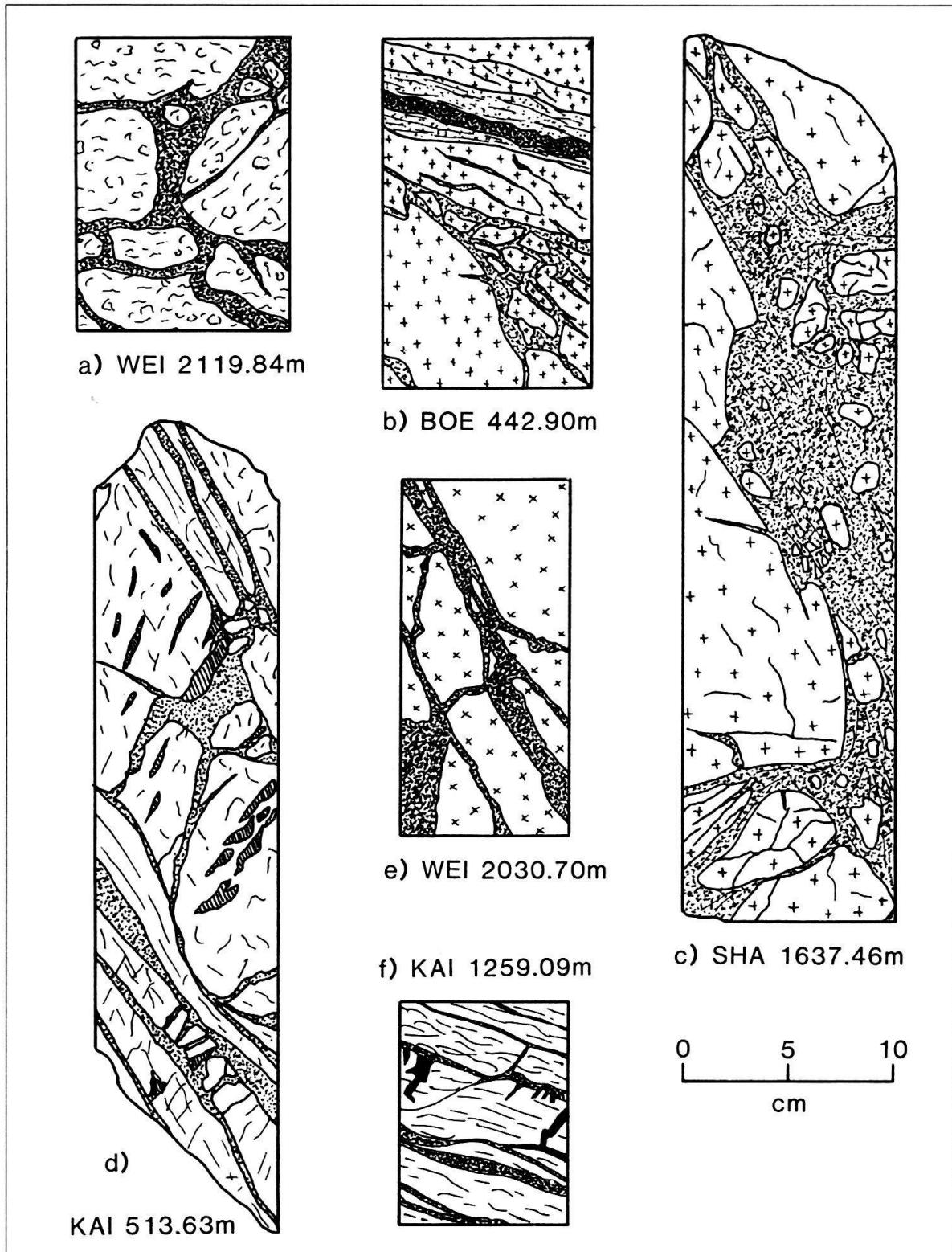


Fig. 3. Makroskopische Aspekte kataklastischer Störungszonen. Dunkel punktiert: kataklastische bis ultrakataklastische, feinkörnige Matrix, a: Vernetzte ultrakataklastische Störungszonen in massig-metablastischem Biotit-Plagioklas-Gneis. b: Vernetzte Störungszonen im Granit mit ultrakataklastischer, ziemlich planarer Hauptbewegungszone. c: Chaotische Störungszone im Granit. d: Störungszone mit deutlich erkennbarer Richtung und späten Lösungsdrusen (schraffiert) in granitischem Gneis. e: Ultrakataklastische Gneismatrix (biotit- und chloritreich) als «Intrusion» in Spalten eines zerborstenen Aplits. f: Ultrakataklastische Bewegungsbahnen in kataklastischem Metapelit mit Pseudotachylit-Abzweigern (schwarz).

Die Biotite wurden deformiert und zerschert, aber nicht chloritisiert; ebenso blieben die Feldspäte stabil. Es handelt sich um eigentliche *protomylonitische* Scherbahnen, die auf eine ältere, präkataklastische Deformationsphase zurückzuführen sind.

*Makroskopischer Aspekt:* Kataklastisch beeinflusste Gesteine treten in Form von häufig steilstehenden, meist komplex aufgebauten *Störungszonen* auf, deren Mächtigkeit von einigen cm bis mehrere m reicht. Häufig sind Übergänge über einige cm bis dm hinweg von ungestörtem Gestein über protokataklastische und kataklastische Bereiche bis in eine meist nur wenige cm breite ultrakataklastische Hauptbewegungsbahn zu beobachten (Fig. 3b). Bei den Kataklasiten 1 fehlen allerdings planare Bewegungsbahnen häufig (Fig. 3a, c, e). Sehr charakteristisch ist das *weitgehende Fehlen von gerichteten Gefügen*; es überwiegen vielmehr *chaotische Texturen*, mit völlig *heterogenen Größenverteilungen* der Gesteinsbruchstücke, mit *Vernetzungen* sowie lokalen Verdickungen und Anhäufungen ultrakataklastischer Matrix (Fig. 3). Ganz deutlich kommt dies in den Bohrungen Weiach und Schafisheim zum Ausdruck, wo weite Bohrstrecken aus chaotischen Kataklasiten mit nur vereinzelten undefinierten Gesteinspartien bestehen (Fig. 3a, c). Nur die ultrakataklastischen Hauptbewegungsbahnen zeigen oft eine klare Raumlage und z. T. sogar makroskopisch erkennbare gerichtete Gefüge (Fig. 3b, f). Häufig wurden vorbestehende Inhomogenitäten wie Aplit/Pegmatit-Gänge, ältere Störungszonen oder Quarz-Turmalin-Adern als Bewegungszonen aktiviert. So folgen Deformationen der Kataklase 2 vor allem in den Gneisen häufig Störungszonen der Kataklase 1. In der Bohrung Leuggern konnte festgestellt werden, dass die vor der Intrusion des Leuggern-Böttstein-Granits in die Gneise eingedrungenen Lamprophyre ebenfalls kataklastischen Bewegungszonen folgten.

Als Ausdruck spätester Bewegungen werden entlang Störungszonen der Kataklase 2 häufig spiegelglatte Bruchflächen mit Rutschharnischen oder Striemungen beobachtet.

Es ist sehr schwierig, an den Bohrkernen etwas über *Versetzungsbeträge* auszusagen. Auffällig ist jedoch, dass bei kleineren, maximal einigen cm mächtigen Störungen oft *keine oder nur sehr geringe Versetzungen* beobachtet werden. Dies gilt vor allem für die Kataklase 1. An grösseren Störungszonen, vor allem denjenigen mit ausgeprägten Hauptbewegungsbahnen, ist aber durchaus mit bedeutenden Verschiebungen zu rechnen, da an solchen Bahnen durch die extreme Korngrößenreduktion Übergänge zu pseudoduktilem Verhalten und hohen Verformungsbeträgen möglich sind (MITRA 1984). Einige Beispiele zeigen, dass die kataklastische Matrix *hochmobil* und *intrusionsfähig* sein konnte; so etwa an kataklastisch gestörten Gneis-Aplit-Grenzen, wo zerriebene Gneismatrix in Spalten des vollkommen spröd reagierenden Aplits eindringen konnte (Fig. 3e). In der Bohrung Kaisten werden innerhalb der Störungszone 1245–1270 m feinstkörnige, dichte schwarze Gängchen angetroffen, die als *Pseudotachylite* interpretiert werden (Fig. 3f).

*Mikroskopischer Aspekt:* Im *mikroskopischen Bereich* herrschen ebenfalls *chaotisch-brekziöse Texturen* vor (Fig. 4), wo *eckige oder gerundete* Gesteins- oder Mineraltrümmer (Klasten) in einer äusserst feinkörnigen, optisch meist nicht mehr auflösbarer *Matrix aus zerriebenem Gesteinsmaterial* schwimmen. Die Schichtsilikate (Biotit, Muskovit) wurden bei der Kataklase durch Zerscherung parallel zu den Basisflächen sowie durch Knickung zerkleinert (Fig. 4a). Die Quarze zerbrachen in der Regel spröd (Fig. 4a), wurden aber häufig vor dem Zerbrechen intern mehr oder weniger stark duktil verformt (Subkornbil-

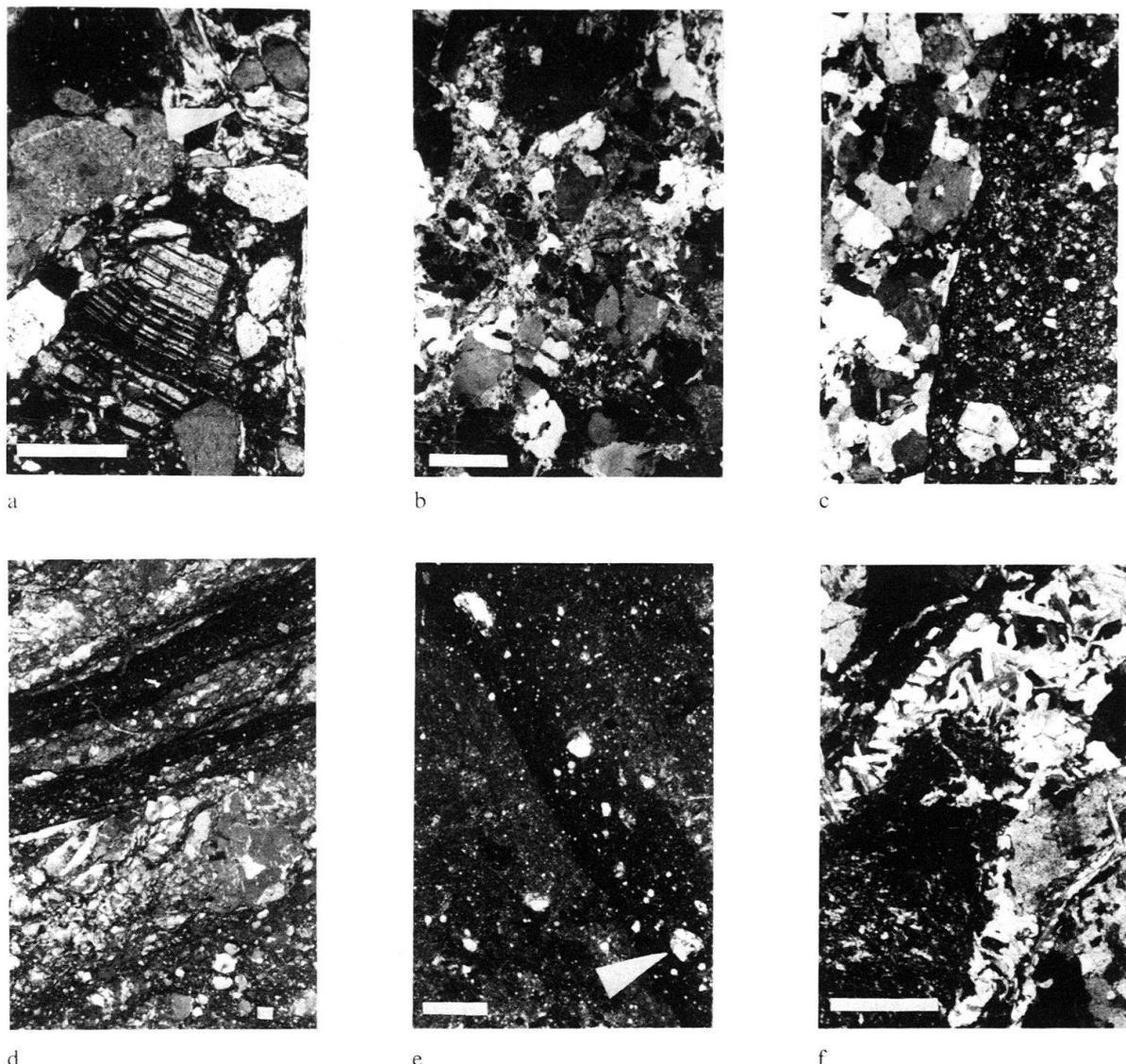


Fig. 4. Mikroskopische Aspekte der kataklastischen Störungszonen. Masslinie = 1 mm. a: Wei 2262,54 m, Biotit-Plagioklas-Gneis. Protokataklasit mit Zerscherung von Biotit (Pfeil) und spröder Quarz- und Plagioklas-Deformation. b: Sha 1495,15 m, Granit. Protokataklasit mit vernetzter Struktur der Mikro-Störungszonen. c: Leu 582,41 m, Aplit. Ungerichtete kataklastische Störung mit scharfem Kontakt zum undeformierten Gestein. d: Wei 2191,98 m, Biotit-Plagioklas-Gneis. Ultrakataklastische Hauptbewegungsbahnen in kataklastischem Gneis. e: Boe 484,09 m, Granit. Zweifache Kataklase. Klasten von älterem Protokataklasit (Pfeile) schwimmen in Ultrakataklasit. f: Wei 2209,24 m, Hornblende-Biotit-Plagioklas-Gneis. Beispiel für syn/post-kataklastische hydrothermale Neubildungen: Idiomorphe Prehnit-Kristalle in drusenartiger Ausbildung entlang kataklastischem Gängchen.

dung bis dynamische Rekristallisation). Duktile Quarzdeformationen sind in den Gneisen wesentlich häufiger anzutreffen. Es können eckige und angerundete Quarzklasten direkt nebeneinander vorkommen. Die Feldspäte reagierten spröd durch Zerbrechen, oft entlang Spaltflächen. Sehr häufig sind Phänomene zu beobachten, die durch *repetierte Bewegungen* und *Reaktivierung* älterer Störungszonen durch jüngere Deformationen entstanden sind (Fig. 4e).

Die Kataklase erfolgte vorwiegend im Bereich der spröden Deformation, vereinzelt auch im spröd/duktilem Übergangsbereich (Quarze mit teilweiser dynamischer Rekristallisation). Das Vorkommen von duktil deformierten und praktisch verformungsfreien

Quarzklosten direkt nebeneinander deutet darauf hin, dass die Quarze beim Spannungsaufbau an der potentiellen Störungszone in Bereichen hoher Spannungsdichte duktil reagieren konnten, während sie bei der Hauptbewegung infolge hoher Verformungsrate spröd zerbrachen. Lediglich die oben erwähnten Protomylonite in den Gneisen zeigen eindeutig duktile Charakter.

Vor allem bei den höher temperiert angelegten Störungszonen können hie und da *Planartexturen* durch *Einregelung* von Biotitklosten beobachtet werden (Fig. 4d).

#### 4. Die zeitliche Stellung der Kataklase

Für die zeitliche Einordnung der Kataklasen werden *relative* und *absolute* Altersbestimmungen zur Argumentation herangezogen. Die aus dem Schwarzwald beschriebene Kataklase, die die fröhrogen intrudierten Granitkörper erfasst (z. B. Granit von Hauenstein) und im mittleren Schwarzwald als «D5» auch aus den Gneisen beschrieben wird (VON GEHLEN et al. 1986), ist mit den nur kurz erwähnten duktilen Scherzonen in den Gneisen (v. a. Bohrung Leuggern) zu parallelisieren, da die Phänomenologie und die relative zeitliche Stellung identisch sind (durchgreifende dynamische Quarzrekristallisation, Biotit-Stabilität, Alter prä-Böttstein–Leuggern-Granit). Im Schwarzwald wird diese Deformation als unterkarbonisch datiert (etwa 340 Ma, BREWER & LIPPOLT 1974b; VON GEHLEN et al. 1986); aus den Bohrungen der Nordschweiz liegen bisher keine Datierungen dieses Ereignisses vor.

In den Gneisen der Bohrung Weiach ist nur die Kataklase 1 vorhanden (viel Prehnit und Chlorit), mit sehr starken Deformationen bis direkt unter den Kontakt zu den oberkarbonischen Sedimenten (Stéphanien). Die Sedimente zeigen zwar ebenfalls recht bedeutende Zerscherungen, die sich jedoch sowohl bezüglich Strukturen (nur flachliegende Rutschharnische) als auch Umwandlung (keine hydrothermale Beeinflussung) von der Kataklase im Kristallin deutlich unterscheiden. Bei der Kataklase der Weiacher Gneise wurden in den Gesteinsquarzen charakteristische Einschlussebahnen mit einem relativ salzarmen, z. T. unter Sieden eingeschlossenen  $H_2O$ –NaCl-Fluid gebildet (vgl. STALDER & MULLIS 1986; MULLIS 1987, dieser Band). Identische Einschlussebahnen finden sich in den detritischen Quarzen der darüberliegenden oberkarbonischen Sedimente ebenfalls, und zwar ohne jeden Bezug zu Einschlüssen in autogenem Quarz; sie wurden demnach schon *vor* der Sedimentation angelegt. Die Kataklase in den Weiacher Gneisen ist also älter als Stéphanien (älter als etwa 290 Ma). K/Ar-Alter an teilweise chloritisierten Biotiten ergaben, unabhängig vom Chloritisierungsgrad, Abkühlalter von 320 bis 300 Ma (vgl. HUNZIKER & MEYER 1987), ganz analog übrigens zu den Resultaten in der Forschungsbohrung Urach III (HAMMERSCHMIDT & WAGNER 1983). Da die Kataklase 1 teilweise auch in den oberkarbonischen Graniten (Alter um 320 Ma) ausgebildet ist (z. B. Bohrungen Schafisheim, Böttstein), dürften diese Biotit-Abkühlalter gerade etwa das Alter der Kataklase widerspiegeln.

Mit gleichartiger relativer Datierung wie oben kann in der Bohrung Kaisten die gesamte Kataklase (1 und 2) als prä-Oberrotliegendes (älter als etwa 260 Ma), in den Bohrungen Böttstein, Leuggern und Schafisheim als prä-Untertrias (älter als ungefähr 230 Ma) festgesetzt werden. In den Oberrotliegend-Sedimenten von Riniken wurden als Gerölle hydrothermal gebildete Quarzite gefunden, wie sie in den Graniten von Böttstein und Leuggern im Zusammenhang mit der Kataklase 2 auftreten. Zudem wurden in den

detritischen Quarzen in den Untertrias- und/oder den Oberrotliegend-Sedimenten aller Bohrungen die obenerwähnten transportierten, relativ salzarmen Fluid-Einschlüsse gefunden. Die mit der K/Ar-Methode datierten hydrothermal neugebildeten Illite aus den Bohrungen Böttstein und Leuggern (meist 2M1-Typen) zeigen eine Häufung von Altern bei 260–280 Ma (HUNZIKER & PETERS 1985, HUNZIKER & PETERS 1987); allerdings ist die Streuung der Alter zu jüngeren Werten (bis Perm/Trias-Wende) beträchtlich, was eventuell als eine Fortsetzung der tektono-hydrothermalen Aktivität im ganzen Perm gedeutet werden muss. Eine Rb/Sr-Gesamtgesteinsisochrone (aus vier Proben) aus z. T. hydrothermal umgewandelten Graniten von Leuggern ergab ein Alter von  $279 \pm 5$  Ma (HUNZIKER & PETERS 1987).

Aus diesen Überlegungen folgt, dass es *zwei Hauptphasen kataklastischer Deformationen* im Kristallin gab:

1. Eine oberkarbonische Phase (Namurien-Westphalien, um 320–300 Ma), begleitet von höher temperierten hydrothermalen Umwandlungen (Kataklase 1).
2. Eine unterpermische Phase (Autunien, um 280–260 Ma), begleitet von tiefer temperierten hydrothermalen, tonigen Umwandlungen, mit möglicher Fortsetzung durch das ganze Perm (Kataklase 2).

## 5. Überlegungen zu den Druck- und Temperaturbedingungen

Die beobachteten, vorwiegend durch Sprödverformung gekennzeichneten Strukturen konnten sich nur in relativ seichten Krustenniveaus, bei normalen geothermischen Gradienten (um  $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ) bis max. 10–12 km Tiefe abspielen (SIBSON 1977, 1986). Bei erhöhten geothermischen Gradienten erfolgt der Übergang zu quasi-plastischem Deformationsverhalten (bei Temperaturen um  $300^{\circ}\text{C}$ ) allerdings schon in geringeren Tiefen. Stark erhöhte geothermische Gradienten im Oberkarbon–Unterperm werden aus der Bohrung Weiach durch Resultate der Fluideinschlüsse in Quarzen einerseits, durch die Inkohlungswerte in den oberpaläozoischen Sedimenten andererseits belegt (KEMPTER 1987). So können beispielsweise die Quarzeinschlüsse in den Gneisen von Weiach, mit Homogenisationstemperaturen bis über  $350^{\circ}\text{C}$ , bei Drücken von maximal 500 bis 800 bar eingeschlossen worden sein (vgl. MULLIS & MEYER 1987). Dies führt unter der extremen Annahme von  $P_{\text{tot}} = P_f$  zu einer maximalen Überdeckung von rund 5 bis 8 km und einem geothermischen Gradienten von mehr als  $44$  bis  $70^{\circ}\text{C}/\text{km}$ . Mit den Homogenisationstemperaturen von 250 bis max.  $400^{\circ}\text{C}$  stehen die beobachteten heisshydrothermalen Neubildungen (Chlorit, Albit, Adular, Sericit, Prehnit, Pumpellyit, Klinozoisit/Epidot) im Einklang. Das – seltene – Vorkommen von Pseudotachyliten in der Bohrung Kaisten passt ebenfalls in einen Tiefenbereich von wenigen km (SIBSON 1975). Die Kataklase 1 erfolgte somit bei Temperaturen von 250 bis max.  $400^{\circ}\text{C}$  in weniger als 10 km Tiefe, in einem Regime stark erhöhter geothermischer Gradienten.

Für die permische Kataklase 2 lagen die Temperaturen nach Fluideinschlüssen (PETERS 1987, dieser Band; MULLIS 1987, dieser Band), Tonmineralogie (Illit/Smektit-Wechsellegerungen mit etwa 80% Illit, vgl. HORTON 1986) bei  $100$ – $250^{\circ}\text{C}$ . Die Tiefenlage bei diesen rein spröden Deformationen mit toniger Umwandlung betrug höchstens wenige km (SIBSON 1986); mit dem von KEMPTER (1987) in der Bohrung Weiach bis Ende Unterperm postulierten geothermischen Gradienten von rund  $100^{\circ}\text{C}/\text{km}$  berechnet sich eine Tiefe von maximal 2,5 km bei  $250^{\circ}\text{C}$ .

## 6. Diskussion

Die Kataklaste 1 kann aufgrund ihres oberkarbonischen Alters mit der Intrusionstektonik der postorogenen Granite wie beispielsweise Böttstein-Leuggern- oder Albtal-Granit in Beziehung gebracht werden. Die Gefüge in den Bohrungen geben keine Hinweise auf eine reine Dehnungstektonik, denn ganz analoge, chaotische Kataklasten sind auch in grossen Überschiebungs- oder Aufschiebungszenen verbreitet (z. B. HOUSE & GRAY 1982; MITRA 1984). Auch können magmatisch-hydrothermale Prozesse auch in einem kompressiven Regime weitgehend ungerichtete Gefüge fördern. Nach BURNHAM (1985) können seicht intrudierende  $H_2O$ -haltige Magmen durch sekundäres Sieden von aus der Schmelze entmischem Fluid enorme mechanische Energien freisetzen, die zu intensiver Brekziierung der Hüllgesteine führen. Zudem können die im Bereich der Intrusionen stark erhöhten geothermischen Gradienten konvektive Bewegungen und Aufheizungen meteorischer Wässer erzeugen und so eine Erhöhung des Fluiddruckes in den Hüllgesteinen bewirken; dies führt zu einer Verringerung des effektiven Umschliessungsdruckes und zu einer Erleichterung spröder Deformation (SILLITO 1985). Vor allem die Kataklaste 1 der Bohrungen Weiach und Schafisheim dürften ihre Entstehung zu einem grossen Teil magmatisch-hydrothermalen Prozessen verdanken. Zeitweise stark erhöhte Fluiddrücke werden einerseits texturell (hochmobile, «intrudierende» kataklastische Matrix, hydrothermale Neubildungen in Rissen und Drusen), andererseits durch Siedephänomene in den Flüssigkeitseinschlüssen belegt. Die gleichzeitig angelegten, deutlich planaren kataklastisch-ultrakataklastischen Bewegungsbahnen mit Merkmalen kataklastischen Fließens (extreme Feinkörnigkeit, Fliesstexturen, interne Deformation der Klasten) weisen darauf hin, dass offenbar eine Kopplung von magmatisch-hydrothermalen und tektonischen Bewegungen vorhanden war. Diese komplexen Verhältnisse widerspiegeln den regional-tektonischen Rahmen des Oberkarbons, der nach LAUBSCHER (1986) und ZIEGLER (1982) durch eine riesige dextrale Verschiebungszone geprägt wurde, wo ein simultanes Zusammenspiel von transpressiver und translativer Tektonik sowie Intrusionstätigkeit möglich war.

Die unterpermische Kataklaste 2 ist viel stärker an deutlich planare Störungszonen gebunden und dürfte deshalb zum grössten Teil rein tektonischen Ursprungs sein. In diese Zeit fallen intensive Deformationen am Nordrand des Nordschweizer Permokarbonbortroges (LAUBSCHER 1986). Viele der kataklastischen Störungszonen der Bohrung Böttstein zeigen mit einem Streichen um NW-SE eine auffallende Parallelität zur Vorwald-Störung (PETERS et al. 1985), die den postorogenen Albtalgranit und eventuell auch den Graben-Nordrand dextral verschob (SPRECHER & MÜLLER 1986). Die Kataklaste 2 im Kristallin dürfte der Ausdruck dieser vorwiegend dilativen Tektonik im Bereich des Nordrandes des Nordschweizer Permokarbonbortroges sein.

### Verdankungen

Der Nagra sei für die Erlaubnis gedankt, alle nötigen Daten aus den noch in Vorbereitung stehenden Berichten zu den einzelnen Bohrungen verwenden zu können. Verdankt sei auch die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts durch P. Heitzmann und Tj. Peters.

## LITERATURVERZEICHNIS

- BREWER, M. S., & LIPPOLT, J. H. (1974b): Petrogenesis of basement rocks of the Upper Rhine Region elucidated by rubidium-strontium systematics. – *Contr. Mineral. Petrol.* **45**, 123–141.
- BURNHAM, C. W. (1985): Energy release in subvolcanic environments: implications for breccia formation. – *Econ. Geol.* **80**, 1515–1522.
- FLÖTTMANN, T., GALLUS, B., & KLEINSCHMIDT, G. (1986): Variskische Kataklase im mittleren Schwarzwald. – *Jb. Geol. Paläont. [Mh.]* **8**, 459–466.
- GEHLEN VON, K., KLEINSCHMIDT, G., STENGER, R., WILHELM, H., & WIMMENAUER, W. (1986): Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland KTB. Ergebnisse der Vorerkundungsarbeiten Lokation Schwarzwald. – 2. KTB-Kolloquium Seeheim/Odenwald 1986.
- HAMMERSCHMIDT, K., & WAGNER, M. (1983): K/Ar-Bestimmungen an Biotiten aus den kristallinen Gesteinen der Forschungsbohrung Urach 3. – *N. Jb. Mineral. [Mh.]* **1**, 35–48.
- HEITZMANN, P. (1985): Kakirite, Kataklasite, Mylonite – Zur Nomenklatur der Metamorphite mit Verformungsgefügen. – *Eclogae geol. Helv.* **78/2**, 273–286.
- HORTON, D. G. (1985): Mixed-layer illite/smectite as a paleotemperature indicator in the amethyst vein system, Creede district, Colorado, USA. – *Contr. Mineral. Petrol.* **91**, 171–179.
- HOUSE, W. M., & GRAY, D. R. (1982): Cataclasites along the Saltville thrust, USA and their implications for thrust-sheet emplacement. – *J. struct. geol.* **4/3**, 257–269.
- HUNZIKER, J. C., MEYER, J. (1987): Radiometrische Altersbestimmungen, Sondierbohrung Weiach. In: MATTER, A., PETERS, T., BLÄSI, H.-R., MEYER, J., & ISCHI, H. (1987a): Sondierbohrung Weiach – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 86-01. (in Vorb.).
- HUNZIKER, J. C., & PETERS, T. (1985): Radiometrische Altersbestimmungen, Sondierbohrung Böttstein. In: PETERS, T., MATTER, A., BLÄSI, H.-R., GAUTSCHI, A. (1985): Sondierbohrung Böttstein – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 85-02.
- (1987): Radiometrische Altersbestimmungen, Sondierbohrung Leuggern. In: PETERS, T., MATTER, A., ISENSCHMID, CHR., BLÄSI, H.-R., MEYER, J., & MEYER, CHR. (1987b): Sondierbohrung Leuggern – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 86-05 (im Druck).
- KEMPTER, E. H. K. (1987): Fossile Maturität, Paläothermogradienzen und Schichtlücken in der Bohrung Weiach im Lichte von Modellrechnungen der thermischen Maturität. – *Eclogae geol. Helv.* **80/2** (dieser Band).
- LAUBSCHER, H. P. (1986): Struktur des Grundgebirges und des Paläozoikums in der Nordschweiz. – Expertenbericht zum Projekt Gewähr. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Würenlingen.
- MATTER, A., PETERS, T., BLÄSI, H.-R., MEYER, J., & ISCHI, H. (1987a): Sondierbohrung Weiach – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 86-01 (im Druck).
- MATTER, A., PETERS, T., BLÄSI, H.-R., SCHENKER, F., & WEISS, H.-P. (1987c): Sondierbohrung Schafisheim – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 86-03 (in Vorb.).
- MITRA, G. (1984): Brittle to ductile transition due to large strain along the White Rock thrust, Wind river mountains, Wyoming. – *J. struct. Geol.* **6/1–2**, 51–61.
- MULLIS, J. (1987): Ergebnisse der Fluideinschluss-Untersuchungen in den Nagra-Bohrungen der Nordschweiz. – *Eclogae geol. Helv.* **80/2** (dieser Band).
- MULLIS, J., MEYER, J. (1987): Flüssigkeitseinschlüsse – Sondierbohrung Weiach. In: MATTER, A., PETERS, T., BLÄSI, H.-R., MEYER, J., & ISCHI, H. (1987a): Sondierbohrung Weiach – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 86-01 (im Druck).
- PETERS, T. (1987): Das Kristallin der Nordschweiz: Petrographie und hydrothermale Umwandlungen. – *Eclogae geol. Helv.* **80/2** (dieser Band).
- PETERS, T., MATTER, A., BLÄSI, H.-R., & GAUTSCHI, H. (1985): Sondierbohrung Böttstein – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 85-02.
- PETERS, T., MATTER, A., ISENSCHMID, CHR., BLÄSI, H.-R., MEYER, J., & ZIEGLER, H.-J. (1987a): Sondierbohrung Kaisten – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 86-04 (in Vorb.).
- PETERS, T., MATTER, A., ISENSCHMID, CHR., BLÄSI, H.-R., MEYER, J., & MEYER, CHR. (1987b): Sondierbohrung Leuggern – Geologie. – Nagra, Technischer Bericht NTB 86-05 (in Vorb.).
- SIBSON, R. H. (1975): Generation of pseudotachylite by ancient seismic faulting. – *Geophys. J. r. astron. Soc.* **43**, 775–794.
- (1977): Fault rocks and fault mechanisms. – *J. geol. Soc. London* **133**, 191–213.
- (1986): Earthquakes and rock deformation in crustal fault zones. – *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* **14**, 149–175.
- SILLITOE, R. H. (1985): Ore-related breccias in volcano-plutonic arcs. – *Econ. Geol.* **80**, 1467–1514.

- SPRECHER, C., & MÜLLER, W. H. (1986): Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Reflexionsseismik 82. – Nagra, Technischer Bericht NTB 84–15.
- STALDER, H. A., & MULLIS, J. (1987): Salt-poor and salt-rich fluid inclusions in quartz from two boreholes in Northern Switzerland. – *Chem. Geol.* (im Druck).
- WISE, D. U., DUNN D. E., ENGELDER, J. T., GEISER, P. A., HATCHER, R. D., KISH, S. A., ODOM, A. L., & SCHAMEL, S. (1984): Fault-related rocks: suggestions for terminology. – *Geology* 12, 391–394.
- ZIEGLER, P. A. (1982): Geological atlas of Western and Central Europe. – Shell Int. Petrol. Maatschap., The Hague.

Manuskript eingegangen am 9. Februar 1987

Revision angenommen am 3. März 1987