

# Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde

## Serie B (Geologie und Paläontologie)

Herausgeber:

Staatliches Museum für Naturkunde, Rosenstein 1, D-70191 Stuttgart

Stuttgarter Beitr. Naturk.	Ser. B	Nr. 208	8 S., 3 Abb.	Stuttgart, 4. 9. 1994
----------------------------	--------	---------	--------------	-----------------------

Professor Dr. Bernhard Ziegler zum 65. Geburtstag

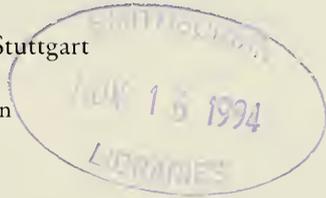
## Strukturgeologie in den französischen Kalkvoralpen nördlich Digne

### Faltung, Verwerfungen und Regionales Kluftsystem

Structural Geology in the French Alps north of Digne  
Folding, faults, and Regional Joint System

Von Wolf Siewert, Stuttgart

Mit 3 Abbildungen



#### Summary

Fabric analysis in the French Alps north of Digne (Provence) resulted in the identification of a Regional Joint System (RJS) realized in the autochthonous and in the allochthonous sedimentary series of the „Nappe de Digne“ as well. It is build up by three pairs of diagonal (hk0) joints and a less conspicuous (h0l) set paralleling the deformation axis (b). The orientation of the RJS corresponds to the N-S principal stress axis ( $c_1$ ) given by the evaluation of recent seismicity in that region.

The general fault pattern of the investigation area is likewise oriented with respect to the N-S  $c_1$  axis, but also shows the influence of the SW directed gliding movements of the „Nappe de Digne“.

#### Zusammenfassung

Gefügemessungen in den Kalkvoralpen nördlich von Digne ergaben für Autochthon und Allochthon („Nappe de Digne“) ein einheitliches, übergeordnetes Kluftsystem, das aus drei Diagonalkluftpaaren und einer parallel dem Gefüge-b angelegten h0l-Schar besteht. Seine Ausrichtung entspricht der rezenten nordsüdlichen Hauptspannung der Seismotektonik in diesem Gebiet.

Das übergeordnete Verwerfungsmuster läßt neben einer ähnlichen NS-Orientierung der Haupteinspannung Beziehungen zur SW-gerichteten Bewegung der „Digne-Decke“ erkennen.

#### Einleitung

In der folgenden Studie werden etwa 3500 Messungen von Schicht-, Kluft- und Störungsflächen, sowie Harnischstriemungen ausgewertet. Die Daten entstammen

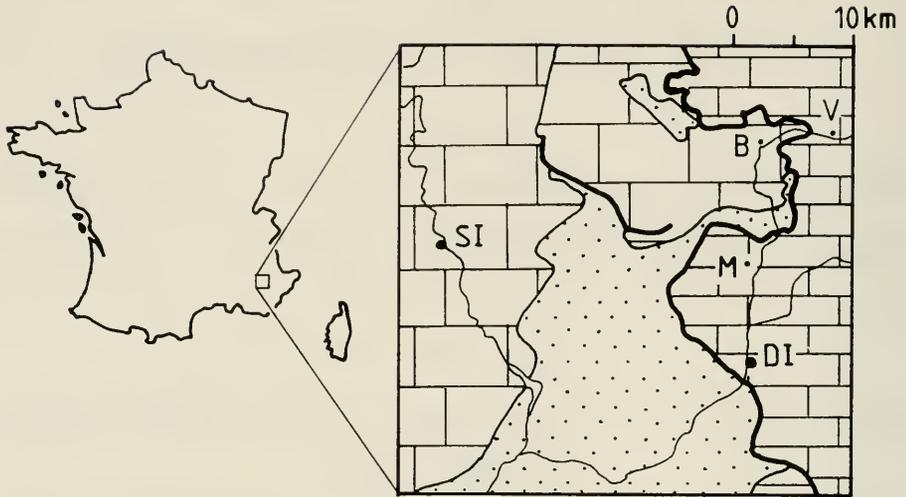


Abb. 1. Lage und tektonische Übersicht des untersuchten Gebietes. Der Westen und Nordwesten wird überwiegend von autochthonem Mesozoikum eingenommen (große Backsteinsignatur), der Osten dagegen vom Mesozoikum der Nappe de Digne (kleine Backsteinsignatur), während den Süden das Tertiär des Valensole-Beckens bedeckt (Punkte). Die fetten Linien markieren bedeutende Verwerfungen und die Deckenbasis der Nappe de Digne. – B = Barles, DI = Digne, M = Malefiance, SI = Sisteron, V = Verdaches.

einem Profil entlang der Landesstraße D 900a, die dem Flößchen Bès bis zu seiner Einmündung in die Bléone 3 km nördlich von Digne folgt. Der eingemessene Bereich überdeckt die Strecke zwischen Verdaches in Nordosten bis Malefiance (ca. 9 km nördlich Digne) im Süden (TK 50 ign, Bl. La Javie; Abb. 1). Er erfährt dabei eine autochthone Schichtfolge von der unteren Trias bis in jungtertiäre „Molasse gris“, sowie obere Trias und tieferen Jura der allochthonen „Nappe de Digne“.

### Methodik

Eine detaillierte Beschreibung der Meßmethodik, der verschiedenen Gesichtspunkte der Datenerfassung und ihrer Verarbeitung zu Richtungsrosen, sowie mittels EDV zu Pol-,  $\beta$ - und Flächenspur- (FS-) Diagrammen in stereographischer Projektion erfolgte bereits bei SIEWERT (1977 u. 1987) und durch HINKELBEIN, KUISLE & SIEWERT (1991). In SIEWERT (1987) wurde auch auf den Einfluß von Schichtparametern (Lithologie, Mächtigkeit u. a.) auf die Ausbildung der Kluftsysteme eingegangen. In den nachfolgenden Erläuterungen wird daher auf eine nähere Ansprache dieser Punkte verzichtet.

### Einzel-, Sammel- und Gesamtdiagramme

Als Einzeldiagramme werden nachfolgend Darstellungen bezeichnet, welche die Anordnung der Klüfte in einem Aufschluß wiedergeben. Hingegen werden in Sammeldiagrammen die Kluftmuster mehrerer Aufschlüsse zusammengestellt, um übergeordnete Zusammenhänge und Ergebnisse sichtbar zu machen. Die Sammeldarstellungen eines Gebiets sind gegebenenfalls ihrerseits zu einem Gesamtdiagramm kom-

binierbar (s. u.), welches das Kluftsystem eines (Teil-) Gebirges oder einer Region repräsentiert.

### Hauptscharen

„Flächenscharen“ werden als ein Bündel von etwa parallelen und homologen Ebenen definiert, die sich um einen Mittelwert gruppieren. Hoch mit Meßdaten besetzte derartige Bündel heißen Hauptscharen, bei Klüften z. B. Hauptkluftscharen (HK). Diese werden mit abnehmender Besetzungsdichte in die Klassen  $HK_1$  bis  $HK_4$  eingeordnet („Wichtung“). Bei ähnlicher Flächenhäufigkeit innerhalb einer Besetzungs-kategorie kann eine feinere Unterteilung mit a, b, c erfolgen (z. B.  $HK_{2b}$ ).

### Flächenpassung

Zum Erkennen des „Regionalen Kluftsystems“ bedurfte es einer methodischen Neuerung („Flächenpassung“), die in SIEWERT (1987) zum ersten Mal vorgestellt und auf Messungen aus dem Deckgebirge zwischen dem Südschwarzwald und der Westalb angewendet wurde. Bei diesem Verfahren werden die Einzeldiagramme eines strukturell kompatiblen Geländeabschnitts unter Beachtung der geologischen Vorgaben mit ihren Hauptkluft-Großkreisen zu einer optimalen Passung der Flächenkonstellationen gebracht. Auf diese Weise entsteht ein flächengepaßtes Sammel-diagramm. Sofern die geologischen Gegebenheiten es zulassen, können derartig zur Übereinstimmung gebrachte Flächenkonstellationen ihrerseits zu einem übergeordneten Gesamtdiagramm gepaßt werden.

### Horizontierung

In Gebieten deformierter, gekippter oder gefalteter Gesteinslagerung – wie dem hier besprochenen – muß vor der Flächenpassung eine Horizontierung der Einzeldiagramme vorgenommen werden. Dabei überführt man die Gesteine in ihre Ausgangssituation, Schichtgesteine z. B. in eine aufrechte und (i. d. R.) horizontale Lage. Rotationen werden rückgängig gemacht (im Diagramm „rückgewickelt“), Falten werden „ausgeglättet“. Strukturen, die bereits vor den unterschiedlichen Verstellungen existierten, werden dadurch (wieder) vergleichbar und damit der Flächenpassung zugänglich.

### Symmetrologische Betrachtung, $ac_f$

Die symmetrologische Analyse der Kluftdiagramme (Einzel-, Sammel- und Gesamtdarstellungen) zielt darauf ab, in einem Kluft- oder Störungssystem jene Ebene zu ermitteln, welche die besten Symmetrieeigenschaften besitzt und der Formungsebene  $ac$  im rechtwinkligen System der SANDERSCHEN Gefügekoordinaten, a, b, c entspricht (SANDER 1948: 69). Die Formungsebene ist deshalb von besonderem Interesse, weil sie parallel der Haupteinengungsrichtung a orientiert ist. Im Regionalen Kluftsystem einer flächengepaßten Sammeldarstellung (Sammel- oder Gesamtdiagramm) erhält eine derartige Symmetrieebene die Bezeichnung „Regionale Formungsebene“ ( $ac_f$ ).

## Ergebnisse

### 1. Klüfte

Die Aufschlüsse des untersuchten Gebietes wurden nach vier Gruppen getrennt ausgewertet. Eine Gruppe umfaßt die Messungen aus der „Nappe de Digne“, eine die aus der Molasse und zwei weitere die des autochthonen Mesozoikums.

Die Untergliederung folgte den geologischen Vorgaben. So müssen selbstverständlich allochthone und autochthone Einheiten getrennt analysiert werden. Auch die mesozoischen und die Molasse-Anteile des Autochthons, zwischen denen eine beträchtliche Schichtlücke klafft, markiert durch einen deutlichen Diskordanzwinkel bis ca.  $90^\circ$ , waren zunächst separat zu behandeln.

Die zusätzliche Trennung innerhalb des autochthonen Mesozoikums ging konform mit Unterschieden in der Schichtlagerung. Hier hob sich die südliche Gruppe mit der stark überkippten, etwa ostwestlich streichenden Bankfolge um die Clue de Péroué klar von den übrigen Aufschlüssen ab, die durch aufrechte bis ca. saigere Lagerung mit einem Schichtstreichen gegen  $120^\circ$  charakterisiert sind.

Unter Beachtung der vorstehend erläuterten Gruppierung wurden nach der Horizontierung die Passungen zu Sammeldiagrammen durchführbar. Diese ließen sich dann ungeachtet ihrer tektonischen Stellung ohne weiteres zu dem Gesamtdiagramm kombinieren, das in Abb. 2 vorgestellt wird.

Das Regionale Klufsystem:

Abb. 2 zeigt ein klares Klufsystem mit etwa nordsüdlicher Spiegelsymmetrie; ihre Lage bezüglich der mittleren Nordrichtung der Einzeldiagramme ist ca.  $177/90$ .

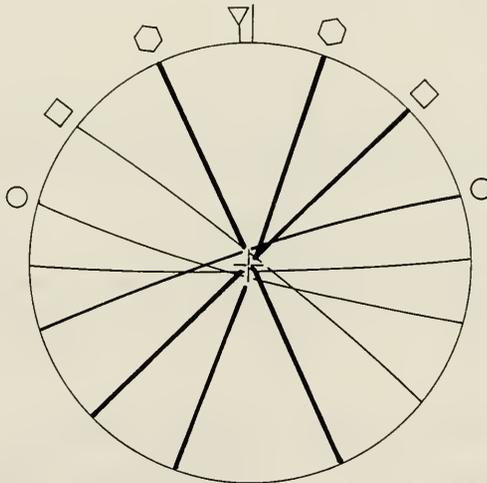


Abb. 2. Das Regionale Klufsystem nördlich von Digne. Horizontiertes und flächengepaßtes FS-Sammeldiagramm (WULFFSches Netz) aus 3233 Messungen. Diagramm-Nord ist der Mittelwert der Nordmarkierungen der Einzeldiagramme.

Symbole: Dreieck =  $ac_f$ ; Sechsecke = Diagonalklufsystem D1; Quadrate = Diagonalsystem D2; Kreise = Diagonalsystem D3. – Positionen der Hauptklufscharen (Großkreise), Wichtung in Klammern (Reihenfolge 1–4 mit abnehmender Besetzungshöhe):  $19/87SE$  (2a),  $45/90$  (1b),  $71/83NW$  (2b),  $88/86S$  (3b),  $105/83SW$  (3a),  $128/85NE$  (4) und  $155/88NE$  (1a). Die Formungsebene  $ac_f$  ist ca.  $177/90$  orientiert. Weitere Erläuterungen im Text.

Diese Ebene ( $\alpha_f$ ) entspricht dem Mittelwert der Formungsebenen in den Sammeldiagrammen. Senkrecht zum  $\alpha_f$  verläuft als Axialbruch die HK-Schar 88/86S. Sein Gewicht erhält das Diagramm jedoch durch die Diagonalkluftpaare D1 bis D3. Dabei bilden die hochbesetzten HK-Scharen des Systems D1 zum  $\alpha_f$  einen Winkel von jeweils  $22^\circ$ . Die Analogie zu gesteinsmechanischen Laborversuchen (vgl. z. B. CLARK 1966: 244 ff) weist darauf hin, daß dem Regionalen Kluftmuster des Gebietes nördlich Digne eine ca. nordsüdliche, horizontale Haupteinspannung  $\sigma_1$  ursächlich war. Die mittlere Spannungskomponente  $\sigma_2$  stand parallel dem Schnittlinear der Diagonalkluftscharen bzw. parallel der Zonenachse der gesamten Flächenanordnung in Abb. 2 bankrecht, während  $\sigma_3$  horizontal und ostwestlich gerichtet war. Die Raumlage der Spannungen zur Zeit der Kluftgenese entspricht damit den heutigen Orientierungen von  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  im betrachteten Gebiet (GRILLOT & al. 1983, Fig. 7).

Insgesamt ähnelt die Darstellung allen bisher ermittelten, übergeordneten Kluftsystemen im Deckgebirge (SIEWERT 1987 u. 1993; HINKELBEIN & al. 1991). Ein Problem stellt hier wie dort die Deutung der Diagonalsysteme D2 bzw. D3 dar. Zunächst liegt die Annahme nahe, daß es sich bei diesen ursprünglich um Scherflächen nach der Art des Systems D1 handelte, die im Zuge der Einengung in die heutige Lage rotiert wurden. Damit würden jedoch Krustenverkürzungen unvorstellbarer Größenordnung impliziert.

Andererseits sind zwar Winkel von  $90^\circ$  und mehr zwischen gegenläufigen Störungen bekannt, jedoch sind  $100^\circ$  (wie bei D2) oder gar  $140^\circ$  (bei D3) zwischen konjugierten Scherklüften primär kaum zu erwarten.

Eine dritte Möglichkeit wäre die der Spannungsumpolung. Hierbei würde nach einer ersten, auf  $\sigma_1$  ausgerichteten Bruchbildung vorübergehend eine Richtung quer dazu die Haupteinspannung aufnehmen und zu erneuter Bruchbildung führen (vgl. BOCK 1980). Wie jedoch bei derart umgepolter (und insgesamt herabgesetzter) Einspannung neue konjugierte Scherflächenpaare in der Art von D2 und D3 entstehen könnten, bleibt vorerst ungeklärt.

Weiter soll festgehalten werden, daß die Kluftscharen 19/87E und 155/88E (Abb. 2) bei Barles von niedrig gestaffelten Klüften bzw. Spalten begleitet werden, die für die NW-SE-Richtung auf eine dextrale, für die NE-SW-Schar dagegen eine auf sinistrale Scherkomponente hinweisen und häufig mit Calcit gefüllt sind. Weitere Kalkspatapatiten und -gänge sind vor allem in der miozänen „Molasse gris“ anzutreffen. Dort zeigen sie hauptsächlich eine Dehnungskomponente quer zur Diagonalschar 45/90 an, sowie eine Öffnung von etwa schichtungsparallelen Flächen.

## 2. Verwerfungen

Abb. 3 stellt das Sammeldiagramm des Störungsmusters im Untersuchungsgebiet in ungepaßter Form dar. Eine Flächenpassung (1) entsprechend der Anordnung der Hauptscharen in den Einzeldiagrammen ebenso wie (2) Passungen entsprechend dem Verlauf der Faltenachsen bzw. nach der Schichtlage oder (3) analog zur Kluftanalyse blieben unbefriedigend. Dies verwundert nicht, da die Störungen zum großen Teil Allochthon und Autochthon gleichermaßen durchschlagen, also erst bei oder nach dem Aufgleiten der „Nappe de Digne“ angelegt wurden. Aus diesem Grund werden die Verwerfungsmessungen aus Basis- und Deckeneinheit hier auch nicht getrennt behandelt, wengleich die NW-SE und die NE-SW streichenden Scharen im Allochthon stärker hervortreten als im autochthonen Mesozoikum.

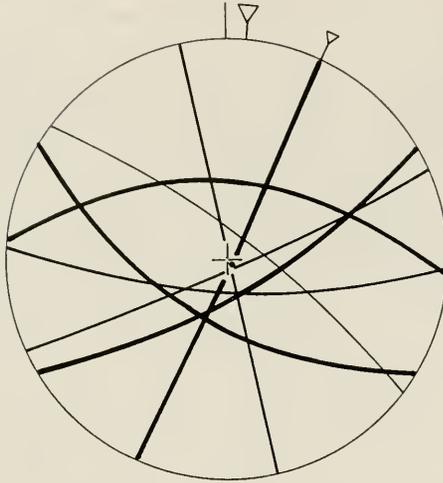


Abb. 3. Das Störungssystem nördlich von Digne. FS-Sammeldiagramm (WULFFSches Netz) aus 355 Messungen in der Originallage.  
Symbole: Dreiecke =  $ac_1$  und  $ac_2$  (kleiner). – Positionen der Hauptverwerfungs-scharen (Großkreise), Wichtung in Klammern (Reihenfolge 1–4 mit abnehmender Besetzungshöhe): 25/87SE (2c), 60/72SE (2a), 66/85SE (3a), 94/73S (3b), 96/52N (1), 122/59 SW (2b), 128/77NE (4) und 168/90 (3c). Die Hauptsymmetrieebene  $ac_1$  besitzt ca. die Lage 6/90, eine Fläche geringerer Symmetrie ( $ac_2$ ) den Wert 25/87E. Weitere Erläuterungen im Text.

In der Abb. 3 sehen wir ein Bruchmuster, in dem zwei Ebenen nahezu gleich gute Spiegelungseigenschaften aufweisen. Die Formungsebene  $ac_1$  streicht ähnlich wie das  $ac_f$  des übergeordneten Kluftsystems nordsüdlich (Raumwert 6/90) und folgt damit der heutigen Richtung der Hauptspannung  $\sigma_1$  im betrachteten Gebiet. Demgegenüber verläuft die Ebene geringerer Symmetrie  $ac_2$  parallel der hochbesetzten Störungsschar 25/87E. Sie weist auf den Beanspruchungsplan beim südwestwärtigen Aufgleiten der „Nappe de Digne“ hin, wie z. B. die gleichzeitige Aufrichtung und Faltung der miozänen „Molasse gris“ um Achsenlagen bei  $120^\circ$  belegen.

Harnische an der genannten NNE-SSW-Störungsschar belegen steile sinistrale Schrägabschiebungen in der Clue de Péroué, während an parallelen Flächen südlich Barles Blattverschiebungen mit vermutlich überwiegend geringem sinistralen Versatz zu beobachten sind. An der Störung 168/90 sind dagegen in der Clue de Péroué durch Harnische dextrale Bewegungen nachweisbar. Die Verwerfungen mit Streichrichtungen um E-W bis WNW-ESE lassen sehr oft Aufschiebungen erkennen. Problematisch sind die Scharen um 60 bis  $65^\circ$  Streichen; hier findet man neben Aufschiebungen (bei Barles) dextrale Strömungen und Abschiebungen (Clue de Péroué), sowie – vor allem in der Molasse – häufig Calcittapeten und -gänge, die auf Öffnungstendenzen weisen. An dieser kurzen Aufstellung der Bewegungsspuren wird klar, daß man mit ihnen nur sehr unsichere Indizien zur Ermittlung von Spannungsrichtungen in der Erdkruste gewinnt, wenn sie hier auch überwiegend auf nordsüdliche Haupteinspannungen deuten. Verschiedene Strömungen in einer Harnischtapete an einem Ort und an derselben Störungsfläche zeichnen aber mindestens lokal unterschiedliche Ausrichtungen von Scherspannungen in zeitlicher Folge auf.

## Schlußfolgerungen

Der Befund der Kluftanalyse deutet darauf hin, daß das Regionale Kluftsystem im Autochthon nördlich Digne unter der Wirkung einer nordsüdlichen Haupteinspannung entstand. Mit dem Aufgleiten der Nappe de Digne vor  $\leq 18$  Ma (HUBBARD & MANCKTELOW 1992: 946) erfuhr das Gebiet eine strukturelle Überprägung.

Insbesondere nahe der Deckenbasis finden sich Schichtverstellungen um nordwest-südöstliche Achsen, so z. B. bei Barles und im „Velodrom“ der „Molasse gris“ bei Esclançon, an anderen Orten auch um eher nordsüdliche Richtungen (z. B. bei Tanaron). Besonders in der „Molasse gris“ wurden zur Einengung senkrechte Klüfte häufig zu Spalten erweitert und mit Calcit gefüllt.

Das Verwerfungssystem ist mit seiner Hauptspiegelebene  $ac_1$  – ebenso wie die Haupteinspannung im Regionalen Kluftsystem und das rezente  $o_1$  – nordsüdlich ausgerichtet. Eine zweite, untergeordnete Symmetrieebene (Formungsebene  $ac_2$ ), verläuft jedoch parallel der Störungsschar 25/87E und damit etwa senkrecht zum Schichtstreichen und dem jungen Falten-B in der Molasse, im Unterjura über der Deckenbasis in der Clue de Verdaches und südlich von Barles.

Die Streuung der Verwerfungen bezüglich ihrer Raumlagen deuten ebenso wie differierende, einander z. T. gegenläufige Harnischstriemungen in derselben Fläche oder analogen Störungen auf unterschiedliche lokale Spannungsverhältnisse im Laufe einer längeren Strukturgeschichte. Zumindest der Teil der NW-SE und NE-SW streichenden Störungen, der die Deckenbahn durchschlägt und im Autochthon wie der Nappe de Digne gleichermaßen auftritt, ist erst im Jungtertiär entstanden. Unter diesen, und besonders bei den um  $60^\circ$  streichenden Verwerfungen finden sich einige Bahnen, die im km-Bereich oder über Hunderte Meter aushalten, während die meisten anderen Flächen geringe Erstreckungen und Versetzungsbeträge aufweisen.

## Dank

Herrn Dr. K. Hinkelbein möchte ich an dieser Stelle für fruchtbare Diskussionen und für die Hilfe im Gelände danken.

## Literatur

- BOCK, H. (1980): Das Fundamentale Kluftsystem. – Z. Dt. geol. Ges., 131: 627–650; Hannover.
- CLARK, S. P. (Hrsg., 1966): Handbook of physical constants. – Geol. Soc. Amer. Mem., 97, 587 S.; New Haven.
- GRILLOT, J.-C. & DAZY, J. (1983): Photo-interprétation, tectonique cassante et thermalisme: exemple du domaine alpin (France). – Géologie Alpine, 59: 45–60; Grenoble.
- HINKELBEIN, K., KUISLE, P. & SIEWERT, W. (1991): Kluftsystem und Horizontal-Stylolithen zwischen Schwarzwald und Ries. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 73: 273–300; Stuttgart.
- HUBBARD, M. & MANCKTELOW, N. S. (1992): Lateral displacement during Neogene convergence in the western and central Alps. – Geology, 20: 943–946; Boulder.
- SANDER, B. (1948): Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. 1. Teil. Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten im Bereich Handstück bis Profil. 215 S.; Wien (Springer).
- SIEWERT, W. (1977):  $\beta_{KI}$ - und  $\beta_{St}$ -Diagramme – eine neue Methode zur Darstellung von Kluft- (KI-) und Störungs- (St-) Systemen. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1977/8: 503–512; Stuttgart.
- (1987): Zur Tektonik des Deckgebirges zwischen Schwarzwald und Westalb, Kluftsysteme und Schichtparameter. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 69: 321–355; Stuttgart.

- (1993): Regionale Kluftsysteme im Schwarzwald. Gneise, Granite und östliches Deckgebirge. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 75: 313–328; Stuttgart.

Anschrift des Verfassers:

Dr. W. Siewert, D-70193 Stuttgart, Lenaustr. 5.

---

ISSN 0341-0153

Schriftleitung: Dr. Gert Bloos, Rosenstein 1, D-70191 Stuttgart  
Gesamtherstellung: Verlagsdruckerei Schmidt GmbH, D-91413 Neustadt a. d. Aisch

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Stuttgarter Beiträge Naturkunde Serie B \[Paläontologie\]](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [208\\_B](#)

Autor(en)/Author(s): Siewert Wolf

Artikel/Article: [Strukturgeologie in den französischen Kalkvoralpen nördlich Digne Faltung, Verwerfungen und Regionales Klufsystem 1-8](#)