

Die Wanderblock-Bildungen im Schweizer Juragebirge südlich von Basel : neue Daten zu einem alten Problem

Autor(en): **Kemna, Hans Axel / Becker-Haumann, Raimo**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **96 (2003)**

Heft 1

PDF erstellt am: **09.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-169007>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Wanderblock-Bildungen im Schweizer Jura-gebirge südlich von Basel: Neue Daten zu einem alten Problem

HANS AXEL KEMNA & RAIMO BECKER-HAUMANN

Key words: Neogene, Swiss Jura Mountains, Jura-Nagelfluh, "Wanderblock-Formation", palaeoclimate

ABSTRACT

The deposits of the so-called "Wanderblock-Formation" in the Swiss Jura Mountains south of Basel were newly investigated. The aim of the current research was to establish characteristics concerning the genetic mechanisms and stratigraphic setting of these "Wanderblock"-sediments. Pebble components and matrix were analysed by means of petrography and morphometry, granulometry, heavy mineral analysis, grain surface morphology (REM), clay mineralogy and palaeontology. The obtained data were compared with those of the underlying Jura-Nagelfluh.

The deposits of the "Wanderblock"-sediments cover the same area as the Jura-Nagelfluh of the Laufen basin and their transportation routes were identical. Both units were deposited along a pre-existing lineament resulting in a channel south of the Rheintal-Flexur. The "Wanderblock"-sediments are relictic, have undergone extensive alteration by reworking and weathering and were mixed-up with foreign material from the underground and by aeolian supply. Sedimentologic and petrographic observations do not show any indications of a glacial transport of the material. Clay mineralogy points to warm climatic conditions during weathering. A definite stratigraphic assignment is impossible for lack of palaeontologic data. Due to the age of the Jura folding the minimal age of the "Wanderblock"-sediments amounts to about 10 Ma. As for the present findings the "Wanderblock"-sediments are the weathered relic of the final pour of the Jura-Nagelfluh of the Laufen basin. It is proposed to dismiss the notion "Wanderblock-Formation".

ZUSAMMENFASSUNG

Die so genannte "Wanderblock-Formation" im Schweizer Jura-gebirge südlich von Basel wurde einer umfassenden Neuaufnahme unterzogen. Geröllinhalt sowie Feinmaterial wurden mit Methoden der Geröllpetrographie und -morphometrie, Granulometrie, Schwermineralanalyse, Kornmorphologie (REM), Tonmineralogie sowie Paläontologie untersucht und mit der unterlagernden Jura-Nagelfluh verglichen, um Genese und stratigraphische Einstufung der Wanderblock-Bildungen genauer als bisher zu erfassen.

Das Verbreitungsgebiet der Wanderblock-Bildungen deckt sich mit demjenigen der Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens. Die Transportwege beider Einheiten waren auch weiter im Norden identisch: sie wurden entlang einer tektonisch vorgezeichneten Rinne südlich der Rheintal-Flexur geschüttet. Die heutige, reliktsche Verbreitung der Wanderblock-Bildungen ist das Produkt umfassender Umlagerungs- und Verwitterungsprozesse. Das Sediment wurde dabei mit Fremdmaterial aus dem Untergrund sowie mit äolischem Eintrag vermischt. Es wurden keine sedimentologischen oder petrographischen Belege für einen glazialen Transport gefunden. Tonmineralogische Untersuchungen weisen auf Verwitterung bei warmem Klima. Das Mindestalter der Wanderblock-Bildungen beträgt entsprechend dem Alter der Jura-Faltung etwa 10 Ma. Eine genauere stratigraphische Zuordnung der Wanderblock-Bildungen ist mangels paläontologischer Daten derzeit nicht möglich. Nach vorliegenden Befunden stellen die Wanderblock-Bildungen den umgelagerten Verwitterungsrest der finalen Schüttung der Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens dar. Es wird vorgeschlagen, den Begriff "Wanderblock-Formation" fallenzulassen.

Einführung

Die unter dem Namen "Wanderblock-Formation" in der Literatur bekannten Bildungen finden sich im Faltenjura südlich von Basel (Fig. 1), hier besonders am Ostrand des Laufen-Beckens (Fig. 2). Sie stellen nur noch fleckenhaft erhaltene, silikatische Grobschotter (Gerölle bis über 1 m Länge) mit hohem Anteil an stark durchgewitterter, sandig-toniger, zuweilen Eisenkrusten enthaltender Matrix dar (Fig. 3 und 4). Der Geröllinhalt (vorwiegend Buntsandstein) weist auf ein nördlich gelegenes Liefergebiet hin – die heute abgeräumte mesozoische Bedeckung des Schwarzwald-Kristallins – (Gutzwiller 1910).

Ihre Herkunft teilen die Wanderblock-Bildungen mit der Jura-Nagelfluh, der nördlichen Schüttung der Oberen Süßwassermolasse (OSM) aus dem Mittel- und unteren Obermiozän. Die Jura-Nagelfluh besteht aus vergleichsweise frischen, vorwiegend kalkigen Schottern mit maximal 50 cm Länge. Die Matrix ist häufig kalzitisch verfestigt und enthält sandige bis tonige Einschaltungen. Die Schuttfächer der Jura-Nagelfluh wurden durch das westwärts entwässernde Stromsystem der Glimmersand-Rinne von den alpinen Schüttungen (Hörnli-Fächer, Napfschüttung) getrennt (Kälin 1993).

Geologisches Institut der Universität zu Köln, Abteilung für Quartärgeologie, Zülpicher Str. 49 a, 50674 Köln, Germany.
E-mail: hans.kemna@uni-koeln.de; r.beaumann@uni-koeln.de

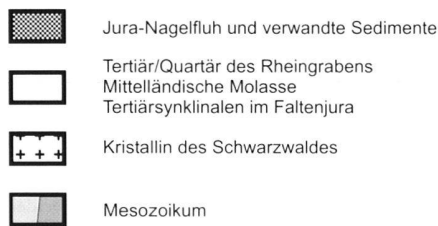
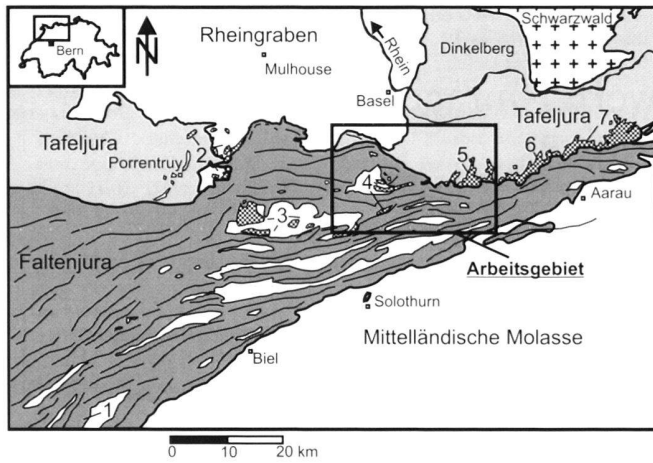


Fig. 1. Geologischer Überblick und Lage des Arbeitsgebietes (Fig. 2). 1: Spaltenfüllung Vue-des-Alpes; 2: Vogesenschüttung der Ajoie; 3: Vogesenschüttung des Beckens von Delémont; 4: Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens; 5: Basler Jura-Nagelfluh; 6: Süßwasserbildungen von Wölflinswil-Anwil; 7: Aargauer Jura-Nagelfluh.

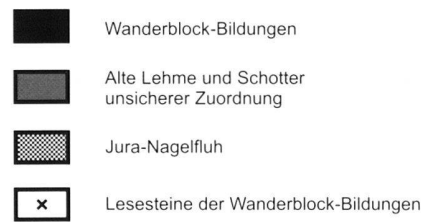
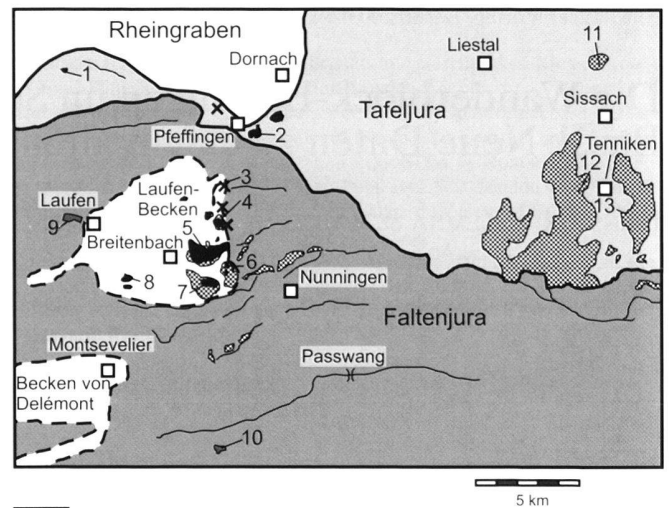


Fig. 2. Verbreitung von Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh. 1: Mariastein; 2: Eischberg; 3: Chastelhöhe; 4: Chaltbrunnental; 5: Helgenmatt; 6: Fehren; 7: Siglisberg; 8: Wahlen; 9: Brumberg; 10: Matzdorfer Stierenberg; 11: Hard; 12: Dangeren; 13: Tenniker Flue.

Die Wanderblock-Bildungen werden meistens von der Jura-Nagelfluh unterlagert und wurden mit ihr in die Jurafaltung einbezogen. Sie stellen das jüngste erhaltene Tertiär im Laufen-Becken dar und sind älter als die Jura-Faltung (Koch 1923). Sie konnten bisher jedoch nicht sicher datiert werden und gehören damit zu einem Komplex von Ablagerungen, die während der Zeit der neogenen "Schichtlücke" des nord-alpinen Vorlandes (Fig. 5) entstanden sind. Auch die präquartären Schotter außerhalb des Juragebirges, wie zum Beispiel die Sundgau-Schotter und die Heuberg-Schotter nördlich von Kandern, gehören zu dieser Gruppe von Ablagerungen (Naef et al. 1985).

Vermutlich erstmals erwähnt sind die "Wanderblöcke" bei Merian (1829). Gutzwiller (1910) unterwarf die Wanderblock-Bildungen eingehenden Untersuchungen und interpretierte die Ablagerungen als einen zur Jura-Nagelfluh gehörigen, infolge Verwitterung und Abspülung kondensierten, fluvialen Schotter.

Dieser "Reliktentheorie" widersprachen Buxtorf & Koch (1920), Koch (1923) und Koch et al. (1936). Sie betonten die Eigenständigkeit dieser Bildungen und stellten sie mit einiger Unsicherheit ins Unterpliozän (Pontien, heute Obermiozän). Da Liniger (1925, 1964) für die Jurafaltung ebenfalls zu

einem pliozänen Alter kam, ergab sich für die Ablagerung der Wanderblock-Bildungen ein möglicher Zeitraum von mehreren Millionen Jahren. So fasst etwa Rutte (1950) die Wanderblock-Bildungen als umgelagerte, zur Jura-Nagelfluh zeitgleiche Bildung mit anderem Liefergebiet auf, wohingegen die Mehrzahl der Bearbeiter, wie etwa Hauber (1960) und zuletzt Naef et al. (1985), sie mit Vorbehalt ins Pliozän stellen.

Hantke (1978) übernimmt diese stratigraphische Einstufung, postuliert aber aufgrund der Geröllgröße und der Beschaffenheit der Matrix einen glazialen Transport des Materials, was eine Vereisung der Schwarzwaldhöhen während des Pliozäns oder früher impliziert. Diese Hypothese steht im Widerspruch zu den meisten anderen paläoklimatischen Erkenntnissen über das Jungtertiär, das im Allgemeinen als warm-humid bis warm-gemäßigt eingestuft wird (zusammengefasst in: Mai 1995).

Im Zuge einer umfassenden Untersuchung der Oberen Süßwassermolasse der Nordostschweiz ermittelte Kälin (1997) durch Funde von Säugerresten aus der Vogesenschüttung der Ajoie ein obermiozänes Maximalalter der Jurafaltung südlich des Rheingrabens von ca. 11 Ma. Die Überschiebung im südwestlichen Teil des Juragebirges auf Vallesien-Mergel



Fig. 3. Vorkommen der Wanderblock-Bildungen auf Chastelhöhe, der "Typlokalität" am Ostrand des Laufen-Beckens.



Fig. 4. Abgesammelte "Wanderblöcke", vorwiegend Buntsandstein, beim Lämmli matt-Hof nahe der Helgenmatt am Ostrand des Laufen-Beckens.

(Braunkohlen-Mergel) ist mit ca. 9 Ma noch jünger (Demarcq & Perriaux 1984, zit. nach Becker 2000). Ein pliozänes Minimalalter von ca. 4 Ma belegt die Fossilfundstelle in einer Karstspalte von Vue-des-Alpes (Bolliger et al. 1993 sowie STEININGER et al. 1996). Überlegungen zur Tektonik, vor allem von Laubscher (1992), lassen ein obermiozänes Alter der Jura-faltung um 10 Ma immer wahrscheinlicher werden (Becker 2000). Laubscher (1998) fasst die Wanderblock-Bildungen als verwitterte Jura-Nagelfluh auf. An gleicher Stelle findet sich eine genaue Analyse der tektonischen Verhältnisse am Ostrand des Laufen-Beckens, dem Hauptverbreitungsgebiet der Wanderblock-Bildungen.

Über Geländebeobachtungen hinausgehende Datensätze sind in der Literatur nur spärlich vorhanden. So wurden durch Hofmann (in: Liniger 1967) einige Schwermineralanalysen durchgeführt, geröllpetrographische Daten liegen, zum Beispiel von Buxtorf & Koch (1920) und Koch (1923), lediglich

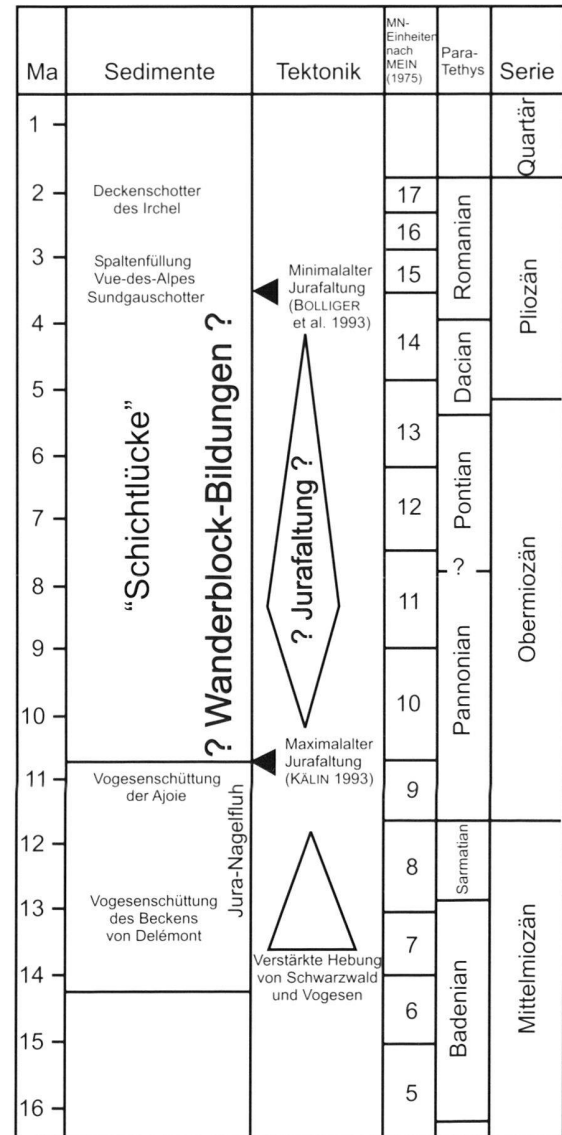


Fig. 5. Vereinfachte Stratigraphie des Neogens und Quartärs der Nordwestschweiz (verändert nach KÄLIN 1997), mit Angaben über tektonische Ereignisse und Einstufung verschiedener tertiärer Sedimente.

qualitativ vor oder sind auf Grund nicht nachvollziehbarer Methodik schwer zu beurteilen. Daher war es notwendig, eine Neuaufnahme sämtlicher Vorkommen sowie deren systematische Bearbeitung durchzuführen. Die Beprobung (ca. 10 Schotter- und 30 Feinmaterialproben) umfasste dabei die Wanderblock-Lokalitäten im Laufen-Becken sowie Referenzprofile in den Gebieten der Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens, der Basler Jura-Nagelfluh sowie im potentiellen Liefergebiet. In vorliegender Arbeit werden erstmals repräsentative Analysenwerte dargestellt und ein Genesemodell daraus abgeleitet.

Methodik

Bei der Geländeaufnahme auf der Grundlage von topographischen Karten im Maßstab 1:25.000 wurde auf die geologischen Karten der Region zurückgegriffen. Die Vorkommen wurden auch mit Hilfe von Pürckhauer-Bohrungen hinsichtlich ihrer Mächtigkeit, Morphologie, Höhenlage und der Kontaktfläche zum Untergrund untersucht.

Etwa 100-250 Einzelgerölle (> 2 cm Länge) pro Geröllsammlung wurden petrographisch bestimmt, ihre a-, b- und c-Achsen vermessen und Rundungsgrad sowie Sphärizität in vier Klassen gemäß Reichelt (1961) eingeteilt. Zusätzlich wurden die b-Achsen der zehn größten Gerölle pro Sammlung gesondert aufgenommen, da diese die relevante Größe für ihre Transportfähigkeit darstellen (Winter 1968), und die erhaltenen Werte statistisch ausgewertet. Neben einer Cluster-Analyse zur Petrographie wurden die Xi-Werte für Rundungsgrad und Sphärizität sowie die idealisierten Volumina der Maximalgerölle ermittelt (Winter 1968).

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung der Matrix wurden Nass-Siebanalysen (DIN 4188) sowie Lasergranulometrie an einem Gerät der Fa. Fritsch, Modell "Analysette" durchgeführt. Hierbei wurde zur Dispergierung 0,1 molare Na-Pyrophosphat-Lösung verwendet. Die Proben wurden vor der Messung mindestens 12 Stunden lang im Überkopfschüttler belassen.

Bei der Schwermineralanalyse wurde nach Boenigk (1983) verfahren. Die Auswertung der Daten erfolgte mit einer Cluster-Analyse.

Anhand der Kornmorphologie sollten Gruppen unterschiedlicher Genese innerhalb des Feinmaterials identifiziert werden. Sie umfassen Häufigkeitsverteilungen hinsichtlich Rundungsgrad und Größe von Einzelkörnern in Leichtmineralpräparaten sowie deren Kornform und -oberfläche unter dem REM (Kemna & Becker-Haumann 2002), wobei Vergleichspräparate aus bekannten Sedimentationsmilieus und Literaturdaten (z. B. Krinsley & Doornkamp 1973) herangezogen wurden.

Zur Bestimmung des Tonmineralgehaltes wurden sedimentierte Präparate des Tonanteils (< 2 µm) hergestellt und mit einem Röntgendiffraktometer der Fa. Philips, Modell "PW 1800" untersucht. Der Messbereich betrug dabei in der Regel $\theta = 1^\circ - 35^\circ$.

Befunde

Geländebefund

Eindeutige Vorkommen der Wanderblock-Bildungen finden sich fast ausschließlich am Ostrand des Laufen-Beckens (Fig. 2). Zahlreiche, weit ausgedehnte Vorkommen liegen auf Jura-Nagelfluh, sind mit dieser verfalltet und stehen, zum Teil eng-räumig gegeneinander verstellt, auf Höhen zwischen 340 und 630 m NN an. Hier sind die Vorkommen von Chastelhöhe, der Typlokalität gemäß Gutzwiller (1910), Chaltbrunnental, Helgenmatt, Fehren und Siglisberg zu nennen. Das südlichste,

allerdings fragliche Vorkommen liegt auf etwa 1130 m NN (Matzendorfer Stierenberg). Die räumliche Verteilung eindeutiger Vorkommen der Wanderblock-Bildungen entspricht also nahezu derjenigen der Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens (Fig. 2). Die Vorkommen lagern nur vereinzelt direkt dem Jura auf (Eischberg). Die kleinen Vorkommen von Mariastein nördlich des Blauen und bei Wahlen im Südwesten des Laufen-Beckens enthalten kaum Grobkomponenten. Sie lagern auf älteren Einheiten des Tertiärs (Untere Meeresmolasse und Untere Süßwassermolasse). Am Westrand des Laufen-Beckens (Brumberg), östlich davon im Faltenjura und im Tafeljura im Gebiet der Basler Jura-Nagelfluh bei Tenniken und Sissach sind keine sicheren Vorkommen aufgeschlossen. Es finden sich vereinzelt Lesesteine aus Buntsandstein bis zu einer Länge von 60 cm und lokal kleine, bis 1 m mächtige entkalkte Lehm-Körper mit kleinen Quarzit-Geröllen (Hard, Dangeren, Tenniker Flue). Diese Vorkommen im Gebiet der Basler Jura-Nagelfluh suggerieren eine Ost-West-Verbreitung (Hantke 1978), sind aber zu gering für eine weitergehende Interpretation. Gerölle der genannten Größe sind aus der Jura-Nagelfluh durchaus bekannt, die starke Verlehmung der Matrix kann auf Verwitterung zurückgeführt werden. Das Vorkommen vom Brumberg ist auf Grund der enthaltenen Bohnerze und eines stark verarmten Schwermineralspektrums bei Abwesenheit von Geröllen über 2 cm Länge wahrscheinlich ins Eozän zu stellen.

Die Mächtigkeit der Wanderblock-Bildungen übersteigt in Rinnen- oder Hangfußlage kaum fünf Meter. In Kuppenlage sind die Vorkommen in der Regel unter 1 m mächtig und enthalten wenig Matrix. Die Vorkommen zeigen durchweg Anzeichen einer vollständigen Umlagerung infolge von Abspülung, Solifluktion und Kryoturbation sowie der Einarbeitung von Fremdmaterial wie eozäne Bohnerze, Kalkgerölle aus der Jura-Nagelfluh und Löss.

Petrographie

Die geröllpetrographischen Analysen ergeben für die Jura-Nagelfluh und die Wanderblock-Bildungen deutliche Unterschiede (Fig. 6). Während Kalkgerölle mit über 90% den Hauptbestandteil der Jura-Nagelfluh bilden, sinkt ihr Anteil in den Wanderblock-Bildungen auf unter 10%. Stattdessen dominieren silikatische Gerölle, vor allem aus dem Buntsandstein. Die mengenmäßigen Verhältnisse der silikatischen Gerölle (Buntsandstein, Quarz/Quarzit und Hornstein) untereinander sind dabei jedoch in beiden Ablagerungen vergleichbar (Fig. 7).

Die in beiden Einheiten vorkommenden Hauptkomponenten sind:

- Rauchgraue mikritische Kalke; auch Schill enthaltend; auch verkieselt; aus dem Muschelkalk;
- Weiße oder hellbraune oolithische Kalke: vermutlich aus dem Dogger, auch aus dem Malm, Lias oder Muschelkalk zu beziehen;
- Hell- bis mittelbraune mikritische Kalke: vermutlich aus dem Malm;

- Silikatisch gebundene Sandsteine; auch als Konglomerat: aus dem Buntsandstein;
- Karneol: freigesetzt aus dem Buntsandstein; auch aus dem Perm zu beziehen;
- Quarz: freigesetzt aus dem Buntsandstein; auch aus dem Perm zu beziehen;
- Quarzit: freigesetzt aus dem Buntsandstein; auch aus dem Perm zu beziehen;
- Schwarze und graue Hornsteine; auch als oolithischer Hornstein (verwittert): vermutlich aus dem Muschelkalk; auch aus dem Dogger und Malm zu beziehen;
- Quarzporphyrbrekzie; verkieselt: aus dem Rotliegenden;
- Verkieselte Kalke des oligozänen Tüllinger Süßwasserkalkes, wie sie z. B. südlich von Basel am Südrand des Bruderholzes zu finden sind.

Das in der Jura-Nagelfluh spärlich und stark vergrust vorhandene Kristallin (rote Granite des Schwarzwaldes sowie Metamorphite) findet sich nicht in den Wanderblock-Bildungen. Auffallend ist der starke Verwitterungszustand der Gerölle in den Wanderblock-Bildungen.

Von Koch (1923) als verkieselte mesozoische Kalke angesprochene Einzelgerölle in der Wanderblock-Bildungen wurden im Rahmen vorliegender Untersuchung in Einzelfunden auch in der Jura-Nagelfluh nachgewiesen. Es handelt sich dabei um weiße bis hellgraue, dichte Gesteine die oberflächlich von Kalken des Jura schlecht zu unterscheiden sind. Hinzu kommen sehr seltene "Süßwasserkiesel" unbestimmter Herkunft, die aus der Jura-Nagelfluh nicht bekannt sind. Es handelt sich hierbei um graue, schwach durchscheinende, lagig-poröse, silikatische Gesteine, die durch Verkieselung entstanden sind.

Die Cluster-Analyse zeigt, dass die Wanderblock-Bildungen petrographisch der Jura-Nagelfluh des Laufener-Beckens mehr ähneln als der Basler Jura-Nagelfluh (Fig. 8).

Morphometrie

Durch die Analyse von durchschnittlichen Rundungsgraden und Sphärizitäten lassen sich keine Unterschiede zwischen beiden Einheiten feststellen. Die Gerölle sind mit Ausnahme der Hornsteine und der "Süßwasserkiesel" gut bis sehr gut gerundet.

Die maximale Geröllgröße in den Wanderblock-Bildungen übersteigt mit bis zu 1,2 m Länge der a-Achse die der Jura-Nagelfluh deutlich. Die morphometrische Analyse ergab jedoch, dass diese in der Regel sehr gut gerundeten Gerölle zu meist länglich (b-Achse < 50 cm) sind, wodurch der Transport erleichtert wird (Winter 1968). Die idealisierten Volumina übersteigen selten den Wert von 20 l. Daraus ergeben sich Maximalgewichte von unter 100 kg. Auffällig ist, dass mit steigender Geröllgröße der Anteil an Buntsandstein stark anwächst. Diese Großgerölle finden sich gehäuft in den Zentren der jeweiligen Vorkommen und fallen bereits in der Südwestecke des Laufener-Beckens (Siglisberg) aus.

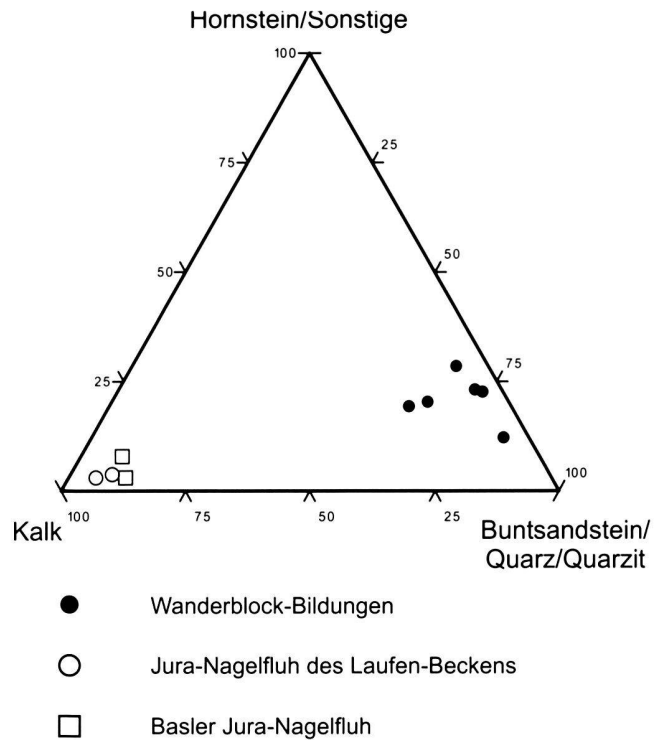


Fig. 6. Ternäre Darstellung der petrographischen Zusammensetzung von Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh. Es bestehen deutliche Unterschiede hinsichtlich des Gehaltes an kalkigen und silikatischen Geröllen. Unter Sonstige sind Quarzporphyrbrekzie, verkieselte Kalke und Süßwasserkiesel zusammengefasst.

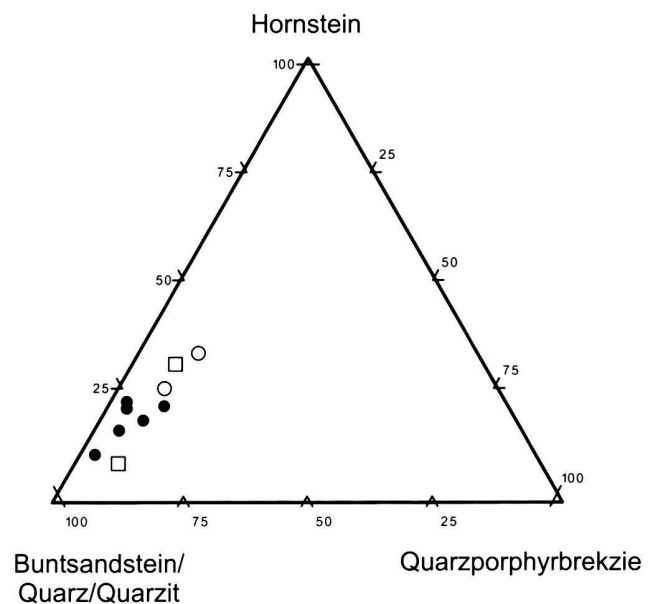


Fig. 7. Verhältnisse der silikatischen Geröllkomponenten untereinander. Die Gehalte sind in Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh gleich. Legende s. Fig. 6.

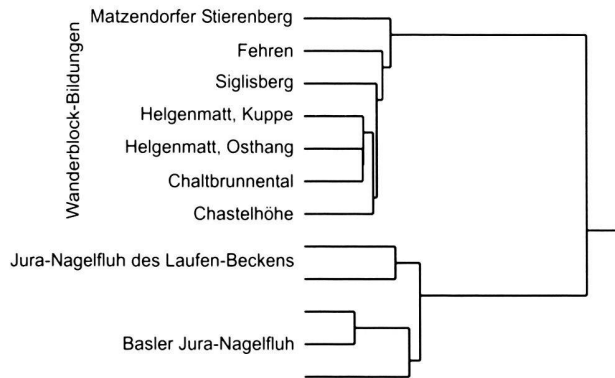


Fig. 8. Cluster-Analyse zur Petrographie von Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh. Die Jura-Nagelfluh des Laufens-Beckens ähnelt den Wanderblock-Bildungen stärker als die Basler Jura-Nagelfluh.

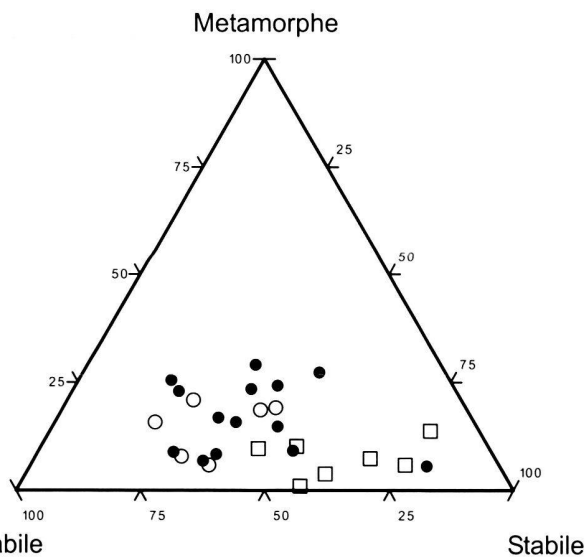


Fig. 9. Verteilung der Schwermineralspektren auf die Haupt-Mineralgruppen. Die Basler Jura-Nagelfluh zeigt ein verarmtes Spektrum, dagegen bestehen vergleichbare Spektren mit erhöhtem Anteil an instabilen und metamorphen Mineralen in den Wanderblock-Bildungen und der Jura-Nagelfluh des Laufens-Beckens. Legende s. Fig. 6.

Granulometrie

Die Daten zur Granulometrie der Matrix ergeben keine deutlichen Unterschiede zwischen beiden Einheiten. Die für die Wanderblock-Bildungen typische, stark verlehnte Matrix findet sich gleichermaßen in Verwitterungshorizonten der Jura-Nagelfluh. In frischen Aufschlüssen besteht das Feinmaterial der Jura-Nagelfluh aus gut sortierten, karbonatischen Fein- bis Mittelsanden, die häufig verfestigt sind. Es finden sich daneben tonige Einschaltungen. Bei der Schlämmanalyse der Wanderblock-Bildungen wurden Maxima im Grobschluffbe-

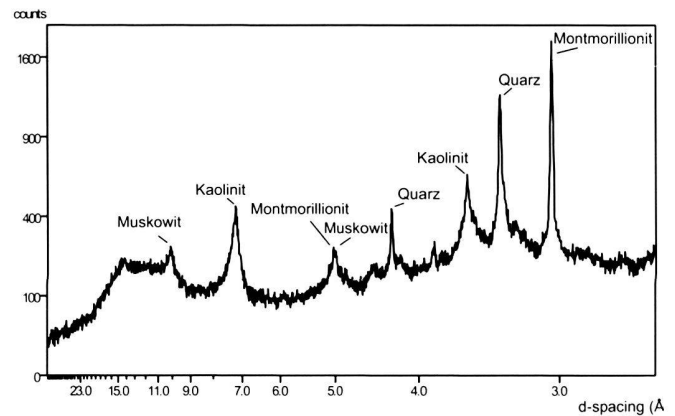
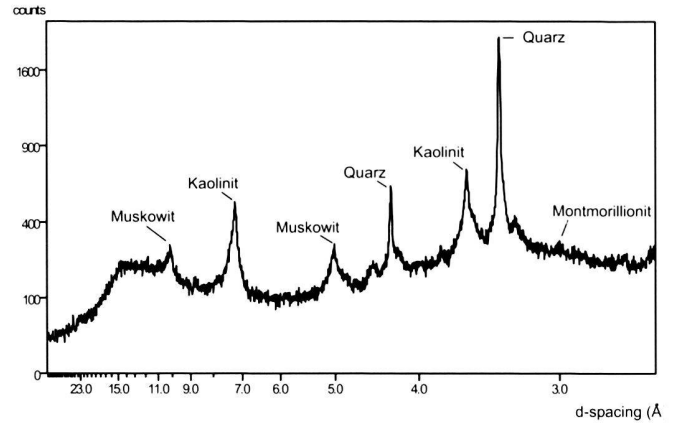


Fig. 10. Tonmineralgehalt der Jura-Nagelfluh (oben) und der Wanderblock-Bildungen. Die Jura-Nagelfluh zeigt ein typisches Spektrum für "kaolinite-smectite-mixed-layers"; in den Wanderblock-Bildungen ist der Gehalt an Smektit signifikant geringer.

reich festgestellt, was in Übereinstimmung mit dem Geländebefund auf Vermischung mit äolischem Material (Löss) hinweist.

Schwermineralanalyse

Die Schwermineralanalyse erbrachte eine deutliche Übereinstimmung zwischen Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh des Laufens-Beckens (Fig. 9). Das für neogene Sedimente zu erwartende, verarmte Spektrum mit hohen Anteilen bei den stabilen Schwermineralen, wie es in der Basler Jura-Nagelfluh vorliegt, wird durch erhöhte Anteile von Granat, Epidot/Zoisit und Staurolith bereichert. Dies wurde von Kälin (1993) als Anzeichen für eine Vermischung mit Material der oligozänen Elsässer Molasse, die südlich von Basel ansteht, interpretiert. Die ermittelten Daten stimmen gut mit denjenigen von Kälin (1993) überein. Das Vorkom-

men vom Matzendorfer Stierenberg, dessen Lage für eine Zuordnung zu den Wanderblock-Bildungen spricht, zeigt andere Schwermineral- und Geröllgehalte. Hier erscheint auch eine genetische Verbindung mit den Ablagerungen im Becken von Delémont möglich, die von den Vogesen her geschüttet wurden.

Kornmorphologie

Untersuchungen zur Kornmorphologie an Leichtmineralpräparaten zeigen keine Unterschiede zwischen beiden Einheiten.

Die Untersuchung von Kornformen und -oberflächen unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM, Taf. 1, Fig. a-h) zeigt für Präparate aus den Wanderblock-Bildungen:

- Phänomene von mechanischer Beanspruchung;
- Anzeichen für Umlagerungsprozesse im terrestrischen Milieu;
- Hinweise auf starke chemische Verwitterung;
- mehrere Generationen von mechanischer Beanspruchung sowie chemischer Verwitterung;
- gleichmäßig aufgelöste Oberflächen, die auch aus dem Material der Oberen Süßwassermolasse Bayerns bekannt sind (frdl. mdl. Mitt., V. SIBNEV, Köln sowie eigene vergleichende Untersuchungen);
- für äolischen Transport typische Kornoberflächen mit Schlagmarken.

Hingegen wurden keine für das glaziale Milieu typischen Formen, wie die als "pressure flaking" bekannten Bruchmuster (DIEKMANN 1989), gefunden. Vergleichsproben aus der Jura-Nagelfluh zeigen teilweise ähnliche Kornformen, wie für terrestrische Umlagerung typische Bruchmuster und Verwitterung in mehreren Generationen. Die Körner weisen häufig frische Bruchkanten sowie noch gut erhaltene Tonkrusten auf.

Tonmineralogie

Die tonmineralogischen Untersuchungen (Fig. 10) ergeben für das Material der Jura-Nagelfluh eine Vergesellschaftung von Kaolinit und Smektit (Montmorillonit), die typischerweise in miozänen Sedimenten vorkommt ("kaolinite-smectite-mixed-layers", CHAMLEY 1989), neben detritischem Quarz und Illit (Muskowit). Die Proben aus den Wanderblock-Bildungen zeigen dagegen einen signifikant geringeren Anteil an Smektit (Montmorillonit).

Paläontologie

Palynologische Untersuchungen erbrachten infolge des Verwitterungszustandes des Materials der Wanderblock-Bildungen keine Ergebnisse (frdl. mdl. Mitt., R. BELOW, Köln).

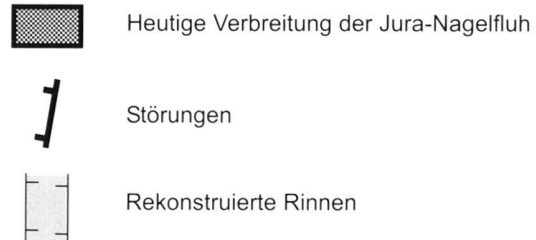
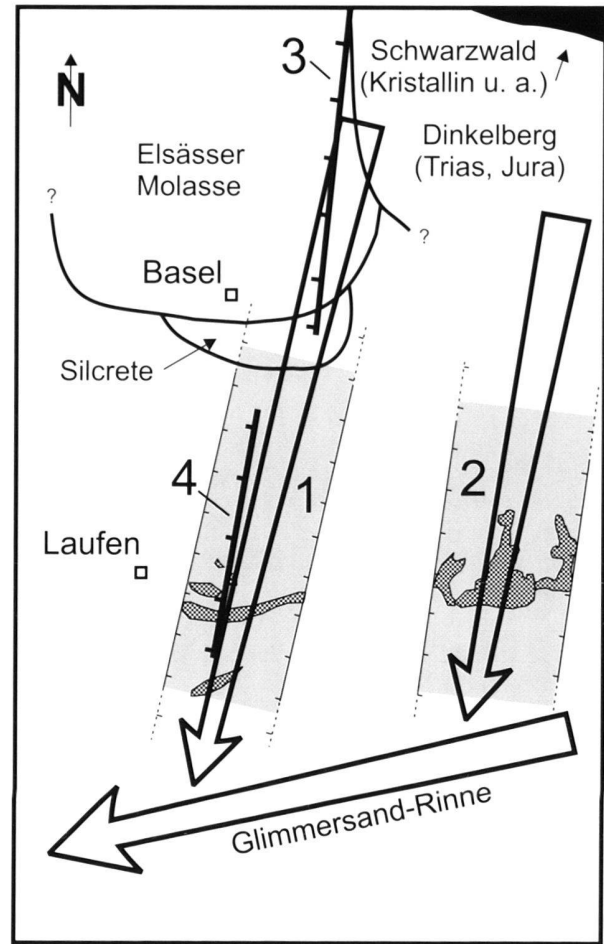


Fig.11. Schematische Karte zur Paläogeographie von Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh mit Herkunftsgebieten des Materials, Schüttungsverlauf und Tektonik (verändert nach KÄLIN 1993). 1: Jura-Nagelfluh des Laufener Beckens und Wanderblock-Bildungen; 2: Basler Jura-Nagelfluh; 3: Rheintal-Flexur; 4: Halbraben der Roderisweid.

Ein verkieseltes Holz aus den Wanderblock-Bildungen konnte als tertiäres Laubholz identifiziert werden. Eine genauere Bestimmung war in Folge schlechter Erhaltung nicht möglich (frdl. mdl. Mitt., A. SELMEIER, München).

Diskussion

Geländebefund, Kornmorphologie und Granulometrie zeigen deutlich, dass die Wanderblock-Bildungen nach ihrer Sedimentation bis ins Quartär hinein durchgreifend von Umlagerungsprozessen wie Abspülung und Solifluktion erfasst und dabei - wie auch teilweise die Jura-Nagelfluh - mit Fremdmaterial (Jura-Nagelfluh, eozäne Bohnerz-Formation, Löss) vermischt wurden. Die starke Verlehmung und Eisenaussfällung im Feinmaterial sowie das Fehlen leicht verwitterbarer Geröllkomponenten wie Kristallin, das im Liefergebiet angestanden haben muss, sprechen dafür, dass die Wanderblock-Bildungen über einen langen Zeitraum der Verwitterung ausgesetzt waren. Die so entstandene tonhaltige Sedimentbedeckung dichtete die Jura-Nagelfluh gegen Sickerwasser und Verwitterung ab, so dass sie bis heute frisch erhalten wurde. Die Verlehmung im Top der Jura-Nagelfluh, beispielsweise im Gebiet der Basler Jura-Nagelfluh, lässt sich als frühes Stadium dieses Verwitterungsprozesses deuten.

Beide Einheiten wurden entlang einer tektonisch vorgeprägten, breiten Rinne südlich der Rheintal-Flexur (Kälin 1993, Fig. 11) abgelagert, die in Form eines von Norden nach Süden verlaufenden Halbgrabens, dem Halbgraben der Roderisweid, schon ab dem Eozän bestand (Laubscher 1998). Eine vergleichbare Rinne existierte auch im Ablagerungsraum der Basler Jura-Nagelfluh (Kälin 1993).

Die Auflagerung der Wanderblock-Bildungen auf (im Vergleich zur Jura-Nagelfluh) stratigraphisch tieferen Einheiten des Schweizer Jura (Vorkommen von Mariastein, Eischberg und Wahlen), die Buxtorf & Koch (1920) und Koch (1923) als Argument zur Abtrennung der Wanderblock-Bildungen angeben, ist auch mit der "Reliktentheorie" von Gutzwiller (1910) erklärbar. Diese Lagerungsbeziehungen können durch post-sedimentäre Umlagerung oder vollständige Verwitterung geringmächtiger Partien der Jura-Nagelfluh entstanden sein.

Der Geröllinhalt der Wanderblock-Bildungen, der mehr demjenigen der Vogesenschüttung der Ajoie ähnelt (Kälin 1993), als der Jura-Nagelfluh, lässt sich durch die Annahme eines im Vergleich zur Jura-Nagelfluh geänderten Liefergebietes (Buxtorf & Koch 1920, Koch 1923, Rutte 1950) nur unbefriedigend erklären. Die identischen Transportwege beider Einheiten und die ausgedehnten Kalk-Vorkommen am Südrand des Schwarzwaldes (Dinkelberg) sprechen dagegen. Überdies sind die in den Wanderblock-Bildungen häufigen Hornsteine sicher nicht ohne die dazugehörigen Kalke (Muschelkalk, Dogger, Malm) abgelagert worden. Der Gehalt an silikatischen Geröllen in der Jura-Nagelfluh beträgt durchschnittlich etwa 10%. Setzt man für die Schüttung des Materials der Wanderblock-Bildungen eine vergleichbare Zusammensetzung voraus, so müssten etwa 90% der angelieferten Gerölle weggelöst worden sein. Ein ähnlicher Betrag ergibt sich für die Verringerung der Mächtigkeit. Veranschlagt man die heutige Mächtigkeit auf 4,4 m, hätte die ursprüngliche Mächtigkeit der Schüttung 44 m betragen. Daraus ergibt sich bei einem Alter von 10 Ma ein Denudationsbetrag von 4 mm /

1000 a. Ein solcher Betrag ist angesichts der lang anhaltenden Verwitterung bei warmem Klima sehr realistisch (EINSELE 1992).

In qualitativer Hinsicht bestehen nach Buxtorf & Koch (1920) und KOCH (1923) Unterschiede zwischen der Jura-Nagelfluh und den Wanderblock-Bildungen, die nach unseren Befunden nicht bestätigt werden können. In den Wanderblock-Bildungen finden sich verwitterte oolithische Gerölle, verkieselte Kalke des Jura sowie "Süßwasserkiesel", deren Herkunft unklar ist. Dies bewog Buxtorf & Koch (1920) und Koch (1923), sie von der Jura-Nagelfluh abzutrennen, da diese Gerölle darin bisher nicht nachgewiesen wurden. Die verwitterten oolithischen Gerölle konnten als Hornsteine aus dem Muschelkalk identifiziert werden. Sie sind also aus dem Liefergebiet der Jura-Nagelfluh zu beziehen. Die verkieselten Kalke des Jura, die in den Wanderblock-Bildungen selten sind, ähneln Einzelfunden in der Jura-Nagelfluh. Sie sind nach Koch (1923) das Produkt einer postsedimentären Kieselsäure-Imprägnation der bereits primär seltenen Kalkgerölle. Verkiesselungsphänomene oder Silcretisierungen sind mehrfach aus dem Miozän bekannt (z. B. Mackenbach 1984, Thiry 1999). Bei der Bildung von "silcretes" wird das Feinmaterial schichtig imprägniert und der Geröllinhalt weitgehend brekziiert (Wopfner 1978). Eine selektive Imprägnation von Geröllen ist nicht bekannt. Anzeichen für die Reste einer zusammenhängenden "silcrete"-Schicht konnten in den Wanderblock-Bildungen nicht gefunden werden, womit eine postsedimentäre Silcretisierung innerhalb der Wanderblock-Bildungen auszuschließen ist. Möglicherweise stammen die Gerölle aus dem oberoligozänen "silcrete" des Tüllinger Süßwasserkalkes. Gerölle daraus finden sich aufgearbeitet sowohl in den Wanderblock-Bildungen, als auch in der Jura-Nagelfluh, was für ähnliche Transportwege beider Einheiten auch im proximalen Bereich spricht.

Das Gebiet, in dem typischerweise große "Wanderblöcke" auftreten, ist eng begrenzt. Sie fehlen bereits am Südrand des Laufen-Beckens (Siglisberg). Der Transport von Geröllen dieser Größe über eine geschätzte Entfernung von 40 km ist innerhalb eines Schwemmfächers bei warm-gemäßigtem Klima zwanglos erklärbar. Die gute Rundung weist auf langsamen, fluviatilen Transport der Gerölle hin, die dann bei "Jahrhundert-Fluten" ins Ablagerungsgebiet geschüttet worden wären. Die gerölmorphometrischen Daten zeigen, dass die größten Gerölle in der Regel länglich und damit vergleichsweise leicht zu transportieren sind. Die paläogeographische Situation vor der Auffaltung des Juragebirges mit dem noch wenig abgetragenen Schwarzwald als sich hebendes Liefergebiet und der oben genannten Senkungszone als Sedimentationsraum (Fig. 11) lässt überdies eine allmähliche Steigerung des Gefälles im Verlauf der Schüttung der Jura-Nagelfluh denkbar erscheinen (Laubscher 2001). Ein Fluss von 4 m Tiefe und mit einer Fließgeschwindigkeit von 5 m/s kann bei einem Gefälle von nur 0,8° noch Blöcke bis fast 2 m Länge transportieren (Bradley & Mears 1980, zit. nach Füchtbauer 1988). Eine vergleichbare Transportkraft, bei evtl. geringerer

Wasserführung aber höherem Gefälle, erscheint auch im Zusammenhang mit den Wanderblock-Bildungen plausibel. Große Komponenten mit einer Länge der a-Achse von über 1 m sind hingegen in der gesamten Jura-Nagelfluh unbekannt. Die Interpretation der Wanderblock-Bildungen als reliktsch erhalten, finale Schüttung der Jura-Nagelfluh führt also zur Annahme geänderter Ablagerungsmechanismen im oberen Teil der Einheit. Die Befunde zeigen aber, dass die großen Gerölle in beiden Einheiten fast ausschließlich aus Buntsandstein bestehen. Damit lassen sich die maximalen Geröllgrößen in den Wanderblock-Bildungen auch durch geänderte Bedingungen bei der Anlieferung dieses Gesteins erklären.

Die Schwermineral-Assoziationen von Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens unterscheiden sich kaum voneinander, wie auch von Kälin (1993) ermittelt. Die Liefergebiete und Transportwege beider Einheiten waren also auch im proximalen Bereich ähnlich. Da der Verwitterungszustand der Wanderblock-Bildungen eher ein verarmtes Schwermineralspektrum erwarten lässt, ist hier eine postsedimentäre Vermischung mit frischem Material des Oligozän auf äolischem Wege und der Jura-Nagelfluh anzunehmen. Würde man für die Wanderblock-Bildungen einen ursprünglich nicht von der Jura-Nagelfluh abweichenden Geröllinhalt annehmen, böte sich überdies der Mechanismus der Karbonat-Pufferung aufgrund von Kalklösung als Erklärung für den Erhalt instabiler Minerale an. Hofmann (in: Liniger 1967) kommt mit Hilfe einer Präparationsweise, bei der der Apatitanteil erhalten wird, zu Ergebnissen, die deutliche Unterschiede zwischen beiden Einheiten zeigen. Dies kann jedoch auf Grund der geringen Probenanzahl dieser Untersuchungen nicht für eine stratigraphisch-genetische Abtrennung der Wanderblock-Bildungen herangezogen werden. Hofmann (in: Liniger 1967) deutet den hohen Apatitgehalt der Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens als vulkanischen Eintrag, der vermutlich jedoch als Einschaltung vorkommt.

Die tonmineralogischen Untersuchungen ergeben eine für das Miozän typische Tonmineral-Vergesellschaftung in der Jura-Nagelfluh. Der davon abweichende Befund in den Wanderblock-Bildungen lässt sich auf Verwitterung bei warmem Klima zurückführen. Während unter gemäßigten bis kalten Bedingungen Kaolinit und Smektit (Montmorillonit) ähnlich stark verwittern, kommt es unter warmen Bedingungen zu einer signifikanten Abreicherung des Smektitanteils (Valeton 1988).

Bisher wurden nur in den Kalkschottern der Jura-Nagelfluh zur Datierung geeignete Fossilien aufgefunden (Kälin 1997). Ihr verwitterungsbedingtes Fehlen in den Wanderblock-Bildungen macht eine Datierung und damit eine genaue stratigraphische Zuordnung auch mit palynologischen Methoden unmöglich.

Das Minimalalter der Wanderblock-Bildungen von etwa 10 Ma lässt eine genetische Verbindung mit der Jura-Nagelfluh plausibel erscheinen und einen klimatischen Einbruch mit verfirnten Schwarzwaldhöhen *sensu* Hantke (1973) wenig wahrscheinlich. Zwar sind aus dem frühen Oligozän sowie aus

der Wende Oligozän/Miozän Klima-Einbrüche mit erhöhter Eisakkumulation in hohen Breiten bekannt (Zachos et al. 1997, Lear et al. 2000), die Befunde auf dem europäischen Festland deuten dagegen auf warm-gemäßigtes bis warm-humides Klima hin (Mai 1995). Hantke (1989) führt neben einer nicht zu bestätigenden Verbreitung der Vorkommen von Osten nach Westen die starke Verlehmung des Materials sowie die Größe der Grobkomponenten als Argumente für einen Glazialtransport der Wanderblock-Bildungen an. Während sich die Verlehmung auf Verwitterung, Umlagerung und die Vermischung mit Fremdmaterial zurückführen lässt und auch an der Oberfläche der Jura-Nagelfluh vorkommt, bietet auch die Größe der "Wanderblöcke" keinen zwingenden Grund für die Annahme von Hantke (1987). Sie sind durchaus im aquatischen Milieu transportierbar, außerdem spricht ihr hoher Rundungsgrad gegen einen Glazialtransport. In den silikatischen Gesteinen müssten sich überdies Kritzungen erhalten haben. In den Fragen zu stratigraphischer Einstufung, Liefergebietswechsel und postsedimentärer Geschichte übernimmt Hantke (1978) die Auffassungen von Buxtorf & Koch (1920) und Koch (1923), die nach heutiger Sicht nicht mehr aufrechtzuerhalten sind.

Schlussfolgerungen

- Zwischen Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens sind hinsichtlich der Liefergebiete, Transportwege und Ablagerungsräume keine Unterschiede nachzuweisen. Die paläogeographischen und geologischen Gegebenheiten waren zur Zeit ihrer Ablagerung ähnlich.
- Die reliktschen Vorkommen der Wanderblock-Bildungen, die Beschaffenheit der Matrix und der Geröllinhalt sind auf umfassende Verwitterung, Umlagerung und Vermischung mit Fremdmaterial zurückzuführen.
- Die Verwitterung erfolgte bei warmem Klima.
- Eine postsedimentäre Verkieselung des Materials fand nicht statt.
- Auch die größten Gerölle der Wanderblock-Bildungen sind im aquatischen Milieu transportierbar.
- Da in der Jura-Nagelfluh keine mit den Wanderblock-Bildungen vergleichbaren Großgerölle vorkommen, muss mit geänderten Bedingungen bei Transport oder Anlieferung des Materials im Liefergebiet während der Schüttung der Wanderblock-Bildungen gerechnet werden.
- Es ließen sich keine Hinweise auf einen Glazialtransport der Wanderblock-Bildungen finden.
- Die Wanderblock-Bildungen wurden nach heutiger Kenntnis zum Alter der Jurafaltung im oberen Miozän vor mindestens etwa 10 Ma abgelagert.

Zusammenfassend lassen sich die Wanderblock-Bildungen als Verwitterungsrest der finalen Schüttung der Jura-Nagelfluh des Laufen-Beckens interpretieren.

Da den Wanderblock-Bildungen somit keine gesonderte stratigraphische Bedeutung zukommt und außerdem eine For-

mation nach einer Typlokalität zu benennen wäre, wird vorge-schlagen, den Begriff "Wanderblock-Formation" nicht mehr zu verwenden.

Danksagung

Für gemeinsame Geländebegehungen und fruchtbare Diskussionen möchten wir Herrn Prof. Dr. R. Hantke herzlich danken. Vielen Dank auch an Dr. D. Kälin für die Erlaubnis, Daten aus seinen Untersuchungen (Kälin 1993) zu verwenden.

LITERATUR

BECKER, A. 2000: Der Faltenjura: geologischer Rahmen, Bau und Entwicklung seit dem Miozän. Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver. N.F. 82, 317–336.

BOENIGK, W. 1983: Schwermineralanalyse. Stuttgart Enke. 152 S.

BOLLIGER, T., ENGESSER, B. & WEIDMANN, M. 1993: Première découverte de mammifères pliocènes dans le Jura neuchâtelois. *Eclogae geol. Helv.* 86/3, 1031–1068.

BRADLEY, W. C. & MEARS, A. I. 1980: Calculations of flows needed to transport coarse fraction of Boulder Creek alluvium at Boulder, Colorado: summary. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Pt. 1 91, 135–138.

BUXTORF, A. & KOCH, R. 1920: Zur Frage der Pliocänenbildungen im nordschweizerischen Juragebirge. *Verh. natf. Ges. Basel* 31, 113–132.

CHAMLEY, H. 1989: Clay Sedimentology. Berlin Springer. 623 S.

DEMARCO, G. & PERRIAUX, J. 1984: Neogène. In: DEBRAND-PASSARD, S. (Ed.): Synthèse géologique du Sud-Est de la France. *Mém. BRGM* 125, 469–519.

DIEMANN, B. 1989: Granulometrie und Sandkornmorphoskopie alpiner Glazialsedimente. *Zbl. Geol. Paläont. Teil 1* 9/10, 1407–1421.

EINSELE, G. 1992: Sedimentary Basins. Berlin Springer. 628 S.

FÜCHTBAUER, H. 1988: Konglomerate und Breccien. – In: FÜCHTBAUER, H. (Ed.): Sedimente und Sedimentgesteine. 69–96; Stuttgart (Schweizerbart).

GUTZWILLER, A. 1910: Die Wanderblöcke auf Kastelhöhe. *Verh. natf. Ges. Basel* 21, 197–208.

HANTKE, R. 1973: Des dépôts du Quaternaire le plus ancien de la région frontière France-Allemagne-Suisse, indiquent-ils des glaciations remarquables du SW de la Forêt-Noire? *Ann. Sci. Univ. Besançon* (3) 18, 191–195.

– 1978: Eiszeitalter, Bd. 1: Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Thun (Ott). 468 S.

– 1987: Die Alpen im Eiszeitalter. *Mitt. natf. Ges. Luzern* 29, 77–98.

– 1989: Kühl- und kaltzeitliche Klimaindizien im Jungtertiär der Schweiz, des Allgäues und einiger Nachbargebiete. *Geol. Bavarica* 94, 447–457.

HAUBER, L. 1960: Über das Tertiär im nordschweizerischen Tafeljura. – *Eclogae geol. Helv.* 53/2, 656–668.

KÄLIN, D. 1993: Stratigraphie und Säugetierfaunen der Oberen Süßwassermolasse der Nordwestschweiz. Diss. ETH Zürich, Nr. 10152.

– 1997: Litho- und Biostratigraphie der mittel- bis obermiozänen Bois de Raube-Formation (Nordwestschweiz). *Eclogae geol. Helv.* 90/1, 97–114.

KEMNA, H. A. & BECKER-HAUMANN, R. 2002: Kornmorphologische Untersuchungen mit dem REM an der Wanderblock-Formation südlich von Basel. *Terra Nostra* 2002/6: DEUQUA-Tagung 2002, 165–169.

KOCH, R. 1923: Geologische Beschreibung des Beckens von Laufen. *Beitr. Geol. Karte Schweiz N. F.* 48/2, 62 S.

– , LEHNER, E., WAIBEL, A. & MUEHLBERG, M. 1936: Blätter Laufen, Bretzwil, Erschwil und Mümliswil, mit Erläuterungen von A. BUXTORF und P. CHRIST. *Geol. Atlas d. Schweiz* 1 : 25 000, 3, Hg. Geol. Komm. Schweiz. natf. Ges. Bern, 45 S.

KRINSLEY, D. & DOORNKAMP, J. 1973: Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge (University Press). 91 S.

LAUBSCHER, H. P. 1992: Jura kinematics and the Molasse Basin. *Eclogae geol. Helv.* 85/3, 653–675.

– 1998: Der Ostrand des Laufenbeckens und der Knoten von Grellingen: Die verwickelte Begegnung von Rheingraben und Jura. *Eclogae geol. Helv.* 91, 275–291.

– 2001: Plate interactions at the southern end of the Rhine graben. *Tectonophys.* 343, 1–19.

LEAR, C. H., ELDERFIELD, H. & WILSON, P. A. 2000: Cenozoic Deep-Sea Temperatures and Global Ice Volumes from Mg/Ca in Benthic Foraminiferal Calcite. *Science* 287, 269–272.

LINIGER, H. 1925: Geologie des Delsberger Beckens und der Umgebung von Movelier. *Beitr. Geol. Karte Schweiz N. F.* 55/4, 71 S.

– 1964: Beziehungen zwischen Pliozän und Jurafaltung in der Ajoie. Mit sedimentpetrographischen Analysen von F. HOFMANN. *Eclogae geol. Helv.* 57/1, 75–90.

– 1967: Pliozän und Tektonik des Juragebirges. Mit einem Anhang von F. HOFMANN: Sedimentpetrographische Untersuchungen an den Vogesen-sanden, Vogesenschottern und Sundgauschottern. *Eclogae geol. Helv.* 60/2, 407–490.

MACKENBACH, R. 1984: Jungtertiäre Entwässerungsrichtungen zwischen Passau und Hausruck (O.Österreich). *Geol. Inst. Univ. Köln, Sonderveröff.* 55, 175 S.

MAI, D. H. 1995: Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas. Jena (G. Fischer), 691 S.

MEIN, P. 1975: Biozonation du Néogène méditerranéen a partir des mammifères. In: Report on activity of RCMN working groups (1971–1975): 78–81.

MERIAN, P. 1829: Geognostischer Durchschnitt des deutschen Juragebirges. *Denkschr. schweiz. natf. Ges.* 1; Bern.

NAEF, H., DIEBOLD, P. & SCHLANKE, S. 1985: Sedimentation und Tektonik im Tertiär der Nordschweiz. *Nagra Techn. Ber. NTB* 85–14, 145 S.

REICHEL, G. 1961: Über Schotterformen und Rundungsgradanalyse als Feldmethode. *Peterm. Geogr. Mitt.* 105, 15–24.

RUTTE, E. 1950: Über Jungtertiär und Altdiluvium im südlichen Oberrheingebiet. *Ber. dt. natf. Ges.* 40, 23–122.

STEININGER, F. F., BERGGREN, W. A., KENT, D. V., BERNOR, R. L., SEN, S. & AGUSTI, J. 1996: Circum-Mediterranean Neogene (Miocene and Pliocene) marine-continental chronologic correlations of European Mammal Units. In: BERNOR, R. L., FAHLBUSCH, V. & MITTMANN, H.-W. (Eds.): The Evolution of western Eurasian Neogene mammal faunas. New York, 7–46.

THIRY, M. 1999: Diversity of continental silification features: examples from the Cenozoic deposits in the Paris Basin and neighbouring basement. In: THIRY, M. & SIMON-COINCON, R. (Eds.): Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits. *Int. Ass. Sedimentol. Spec. Publ.* 27, 87–128; Oxford (Blackwell).

VALETON, I. 1988: Verwitterung und Verwitterungslagerstätten. In: FÜCHTBAUER, H. (Ed.): Sedimente und Sedimentgesteine. Stuttgart (Schweizerbart), 11–68.

WINTER, K.-P. 1968: Die Untere Mittelterrasse im Südteil der Niederrheinischen Bucht. – *Geol. Inst. Univ. Köln Sonderveröff.* 15, 138 S.

WOPFNER, H. 1978: Silcretes of northern South Australia. In: LANGFORD-SMITH, T. (Ed.): Silcrete in Australia. Univ. of New England, Armidale, 93–142.

ZACHOS, J. C., FLOWER, B. P. & PAUL, H. 1997: Orbitally paced climate oscillations across the Oligocene/Miocene boundary. *Nature* 388, 567–570.

Manuskript eingegangen 18. März 2002

Revidierte Fassung angenommen 30. September 2002

Tafel 1

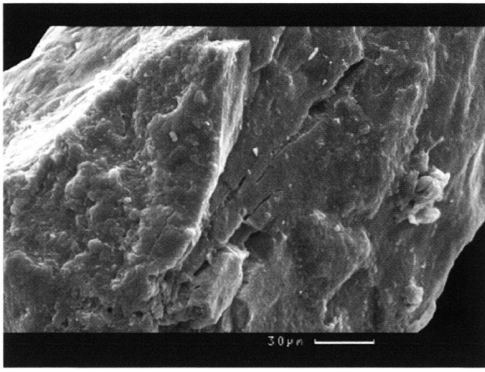
Abbildungen zur Kornmorphologie von Wanderblock-Bildungen und Jura-Nagelfluh des Laufener Beckens.

Wanderblock-Bildungen:

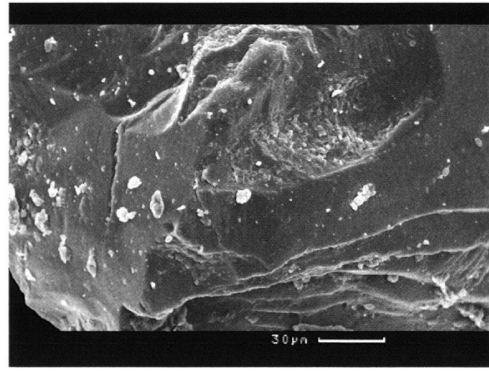
- a: Ungerundetes, verwittertes, leicht überkrustetes Korn, von komplexem Bruchmuster durchzogen, das auf mechanische Beanspruchung zurückzuführen ist (× 500, Helgenmatt, Ostrand des Laufener Beckens).
- b: Korn mit heterogenem Formenschatz; kurzer Riss, primäre, glatt abgeschliffene Flächen mit sekundären, treppenförmigen Brüchen ("skipping") sowie "Kratzern"; die Formen sind auf terrestrische Umlagerung zurückzuführen (× 550, Siglisberg, Ostrand des Laufener Beckens).
- c: Ätzfiguren infolge Verwitterung; Anzeichen für starke chemische Beanspruchung (× 3650, Helgenmatt).
- d: Treppenförmiges Bruchmuster unter gleichmäßig rauher Oberfläche mit kleinen Lösungsgruben; mechanische Beanspruchung vor chemischer Verwitterung (× 3550, Helgenmatt).
- e: Gleichmäßig angelöste Oberfläche; Anzeichen starker Verwitterung in aggressivem Milieu; hohe Ähnlichkeit mit Material aus der Oberen Süßwassermolasse in Süddeutschland (× 6700, frdl. mdl. Mitt., V. Sgibnev, Köln und eigene vergleichende Untersuchungen, Helgenmatt).
- f: Gut gerundetes Korn mit für äolischen Transport typischen Schlagmarken (× 220, Helgenmatt).

Jura-Nagelfluh des Laufener Beckens:

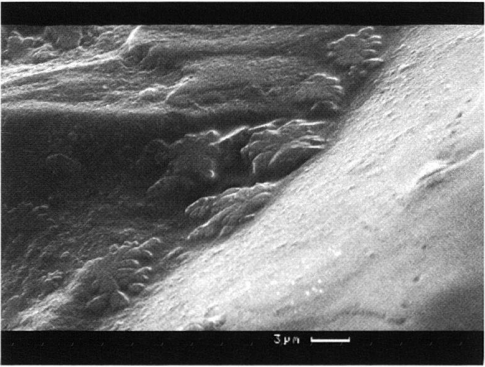
- g: Überschliffene, treppenförmige Brüche (vergl. Fig. b und d, × 510, Fehren, Ostrand des Laufener Beckens).
- h: Heterogen geformtes Korn mit abgeschliffenen Flächen neben frischen Bruchkanten; überkrustet und teilweise angeätzt (× 240, Fehren).



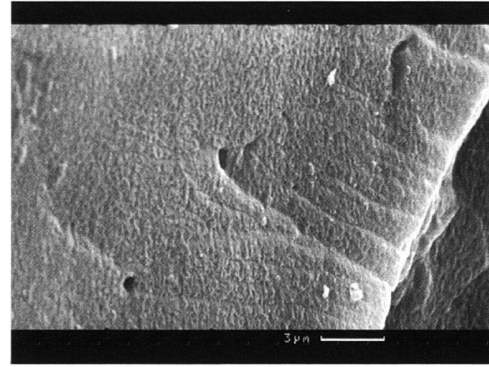
a



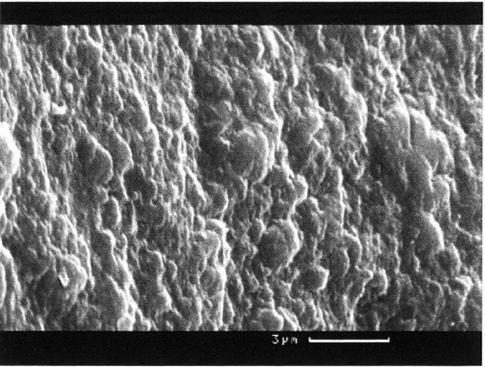
b



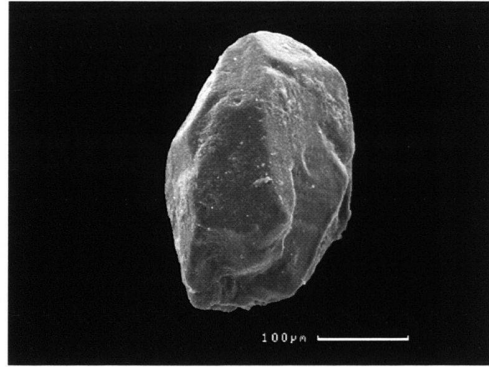
c



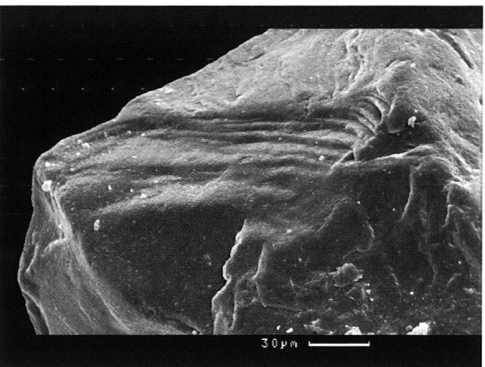
d



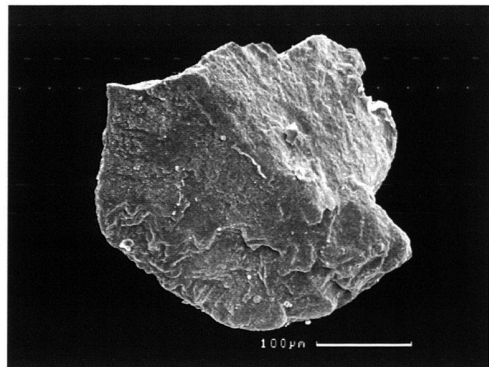
e



f



g



h

