

Der Posidonienschiefer der Nordschweiz : Lithostratigraphie, Biostratigraphie, Fazies

Autor(en): **Kuhn, Oliver / Etter, Walter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **87 (1994)**

Heft 1

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-167445>

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.

Der Posidonienschiefer der Nordschweiz: Lithostratigraphie, Biostratigraphie, Fazies

OLIVER KUHN¹ & WALTER ETTER²

Key words: Toarcian, posidonia, shale, black shale, stratigraphy, paleoecology

ABSTRACT

The Toarcian "Posidonienschiefer" (Posidonia Shales) of Northern Switzerland is a thinly-bedded, bituminous shale with intercalated, partially-laminated limestone beds. In Northern Switzerland, the "Posidonienschiefer" shows a slightly different development than its equivalent in S. W.-Germany. Its thickness is much reduced, and a vertical change in facies can be observed.

A new lithostratigraphical subdivision is proposed which takes the specific development of the "Posidonienschiefer" in Northern Switzerland into account. The lithological units are dated biostratigraphically, and correlations are made through the central part of Northern Switzerland. From NE to SW, a successive wedging-out of the younger units is documented. This pattern is interpreted as the result of post-depositional erosion.

The succession from "Kartonschieferfazies" to "Tonmergelfazies" reflects a rather sudden increase in sedimentation rate. This in turn influenced substrate texture, sedimentary structures, diagenesis, paleoecology and fossil preservation. Three different mechanisms were responsible for the origin of laminated sediment texture: short-term variation in sediment particle type, intensity of bioturbation, and growth of microbial mats.

All available data suggest that deposition took place in a dysoxic to anoxic environment. Compared to Southern Germany, however, anoxic phases appear to have been less common. This indicates deposition in a marginal part of the basin or on a local topographical high.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Posidonienschiefer (Toarcian) der Nordschweiz ist ein bituminöser, feingeschichteter Tonmergelstein mit eingeschalteten, teilweise laminierten Kalkbänken. Gegenüber den Verhältnissen in SW-Deutschland unterscheidet sich die nordschweizerische Ausbildung in erster Linie durch die stark reduzierte Mächtigkeit und einen vertikalen Fazieswechsel.

Es wird eine neue lithostratigraphische Gliederung vorgeschlagen, die den lokalen Verhältnissen angepasst ist. Die lithostratigraphische Gliederung ist mit biostratigraphischen Daten kalibriert. Mit Hilfe dieser Gliederung wurden Korrelationen durch den Nordschweizer Posidonienschiefer angefertigt. Das von Nordosten nach Südwesten fortschreitende Auskeilen der jeweils jüngsten Einheiten wird als Effekt einer postsedimentären, erosiven Reduktion der Mächtigkeit des Posidonienschiefers interpretiert.

Innerhalb des Posidonienschiefers lässt sich eine plötzliche Zunahme der Sedimentationsrate feststellen. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Substratbeschaffenheit, Sedimenttextur, Diagenese, Palökologie und Fossilhaltung spiegeln sich im Wechsel sogenannter Kartonschieferfazies zu Tonmergelfazies wider. Drei unterschiedliche Mechanismen führen zur Ausbildung von Laminationstextur: Wechsel der angelieferten Sedimentpartikel, Bioturbationsintensität und mikrobielle Besiedlung.

Die Daten belegen zwar eine Ablagerung im dysoxischen bis anoxischen Bereich, strikt anoxische Phasen sind aber seltener als im SW-deutschen Ablagerungsraum. Dies deutet auf eine Ablagerung in einem randlich marinen Bereich oder auf einer Schwelle hin.

¹ Geologisches Institut, ETH Zürich, Sonneggstrasse 5, CH-8092 Zürich

² Departement of Geological Sciences, University of Southern California, University Park, Los Angeles, CA 90089-0740 U.S.A.

RESUME

Le «Posidonienschiefer» (Schistes à Posidonies; Toarcien) de la Suisse septentrionale est une succession de marnes argileux, bitumineux et feuilletés avec de intercalations des bancs calcaires souvent laminés. Le «Posidonienschiefer» du nord de la Suisse se distingue de l'équivalent du sud-ouest de l'Allemagne par une épaisseur beaucoup réduite et un changement vertical de faciès.

Une nouvelle division lithostratigraphique, ajustée aux conditions régionales, est présentée. Les différentes unités lithologiques du «Posidonienschiefer» sont datées avec la biostratigraphie et sont tracées au nord de la Suisse. Ainsi la disparition successive des unités plus jeunes vers le sud-ouest est documentée et interprétée comme étant le résultat d'une érosion postsédimentaire.

Le changement du «Kartonschieferfazies» au «Tonmergelfazies» correspond à une augmentation rapide du taux de la sédimentation, influençant la stabilité du sédiment, les structures sédimentaires, la diagenèse, la paléoécologie et la fossilisation. Trois mécanismes produisant une texture laminée sont distingués: variations dans l'apport des particules sédimentaires, l'intensité de la bioturbation et la prolifération des voiles microbiens.

Toutes les données témoignent d'une déposition dans des conditions dysoxiques à anoxiques. Les phases anoxiques sont cependant beaucoup plus rares que dans le sud-ouest de l'Allemagne. Il semble donc que le «Posidonienschiefer» de la Suisse septentrionale a été déposé dans un domaine marginal du bassin ou sur une élévation topographique.

1. Einleitung

Der Posidonienschiefer Süddeutschlands und seine gleichaltrigen Äquivalente in anderen Gebieten Zentral- und Nordeuropas sind fast ausnahmslos gut untersucht (Posidonienschiefer Süddeutschlands: z. B. Einsele & Mosebach 1955; Brenner & Seilacher 1978; Kauffman 1978, 1981; Riegraf et al. 1984; Riegraf 1985; Bandel & Knitter 1986; Posidonienschiefer Norddeutschlands: Loh et al. 1986; Littke et al. 1991; Jet Rock von England: Hallam 1967; Morris 1979; 1980; Schistes Carton von Frankreich: Thomas 1977; Trümpy 1983; Debrand-Passard 1984). Demgegenüber ist der Posidonienschiefer der Nordschweiz bisher nur schlecht dokumentiert. Jordan (1982, 1983) untersuchte den Lias der zentralen Nordschweiz, nahm aber keine detaillierte, stratigraphische Gliederung des Posidonienschiefers vor. Eine auf der Mikrofauna basierende biostratigraphische Gliederung des unteren Toarcian wurde von Richter (1987) vorgeschlagen, doch ging dieser Bearbeiter kaum auf die faziellen Besonderheiten des Posidonienschiefers der Nordschweiz ein.

Der Posidonienschiefer der zentralen Nordschweiz (Fig. 1) ist ein bituminöser, feingeschichteter Tonmergelstein mit eingeschalteten, teilweise laminierten Kalkbänken (Stinkkalken). Während der Posidonienschiefer Südwestdeutschlands eine durchschnittliche Mächtigkeit von 10 Metern erreicht (Riegraf 1985), sind im Aargauer Faltenjura nur noch maximal 2–5 Meter ausgebildet. Westlich der Nord-Süd streichenden Linie Kienberg – Erlinsbach, die ziemlich exakt der Grenze der Kantone Aargau und Solothurn entspricht, keilt der Posidonienschiefer im Faltenjura vollständig aus (Jordan 1983). Zudem lässt sich in der Nordschweiz eine Faziesdifferenzierung zwischen unterem (Kartonschiefer) und oberem (Tonmergel) Posidonienschiefer feststellen (Jordan 1982; Kuhn 1992), welche im süddeutschen Gebiet nicht ausgebildet ist.

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist abzuklären, ob die reduzierte Mächtigkeit primär ist oder auf Erosion zurückgeführt werden muss. Zudem soll mit sedimentologischen, taphonomischen und palökologischen Methoden die Genese der beiden unterschiedlichen Faziestypen Kartonschiefer und Tonmergel geklärt werden.

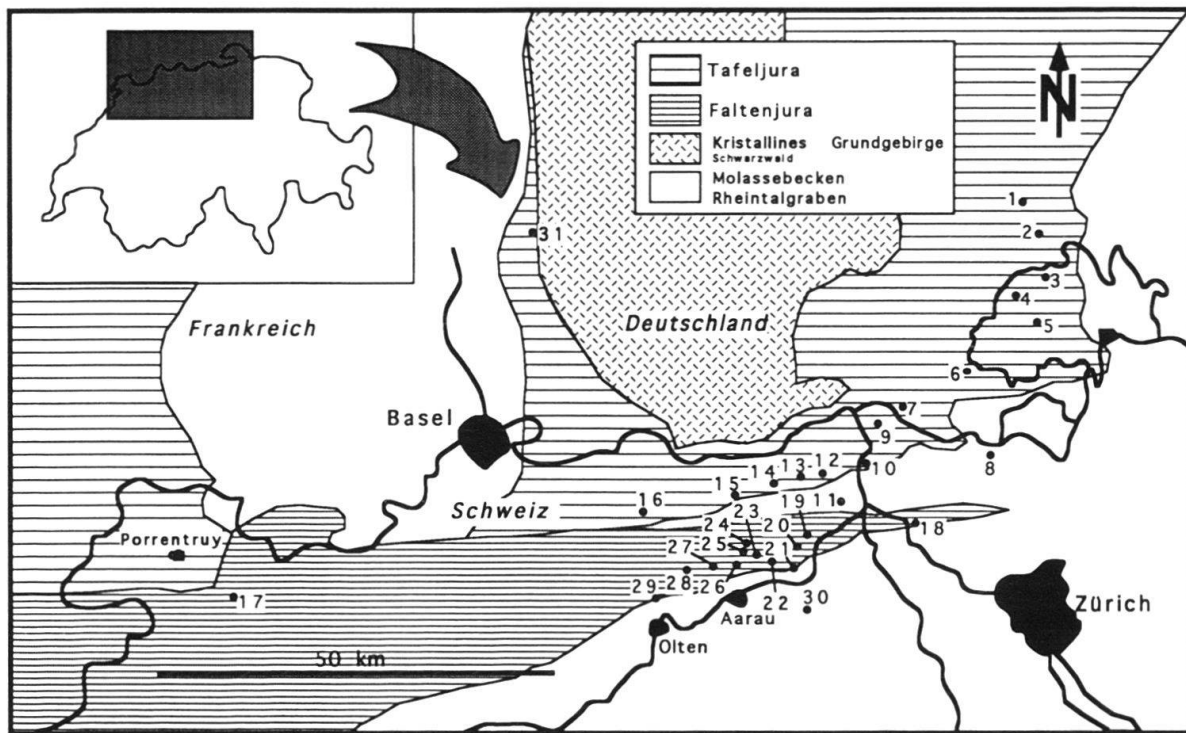


Fig. 1. Geographische und geologische Übersichtskarte des Arbeitsgebiets und Lage der Profile mit Profilnummern (s. Tab. 1).

2. Untersuchungsgebiet und Methodik

Das hauptsächliche Untersuchungsgebiet war die zentrale Nordschweiz (Kanton Aargau). Hier wurden vier Profile lückenlos und grossflächig (0.5–1.0 m²) abgebaut. Es handelt sich um die Lokalitäten Riethem, Schinznach, Gipf und Bänkerchlus. Dabei wurde die gesamte identifizierbare Makrofauna protokolliert. Die Schichtenunterteilung erfolgte bei lithologischen Wechselsn oder wurde bei homogenen Abfolgen in Schichtpaketen von 10–15 cm vorgenommen. Zahlreiche in der Literatur beschriebene Profile des Aargauer Tafel- und Faltenjura sowie des Schaffhauser Randens wurden zusätzlich einbezogen (Tab. 1). Sofern diese Lokalitäten noch zugänglich und aufgeschlossen waren, wurden sie besucht und die Literaturangaben verifiziert. Um Vergleiche mit den benachbarten Regionen durchführen zu können, wurden einige wichtige Profile Süddeutschlands und der Westschweiz einbezogen. Alle Profile sind in Tabelle 1 aufgeführt, und in Figur 1 ist ihre geographische Lage dargestellt.

Im Vordergrund der Datenaufnahme stand eine genaue lithologische Gliederung des Posidonienschiefers. Es erwies sich dabei als sinnvoll, für verschiedene Typen von Laminationstexturen eine Klassifizierung vorzunehmen (siehe 3.). Von allen neu aufgenommenen Profilen wurde die Makrofauna vollständig bestimmt. Für die fazielle Gliederung wurden, nebst lithologischen Gesichtspunkten, die taxonomische Zusammensetzung und die Häufigkeit des Benthos sowie die Art der Fossilerhaltung untersucht sowie die Bioturbationsintensität quantifiziert (siehe 5.).

No.	Lokalität	Koordinaten	Autor	Jahr
1	Aselfingen	34 61 280 / 53 00 990	Riegraf et al.	1984
2	Fützen	682 400 / 259 700	Schalch	1880
3	Beggingen	682 500 / 291 020	Wurstemberger	1876
4	Schleitheim	680 800 / 289 600	Schalch	1922
5	Siblingen	680 090 / 286 694	Richter	1987
6	Erzingen	672 400 / 279 700	Schalch	1922
7	Kadelburg	665 100 / 273 300	Württemberg	1867
8	Weiach (NAGRA)	676 750 / 268 620	Matter et al.	1988
9	Rietheim	663 000 / 272 100	Kuhn	1992
10	Beznau (NAGRA)	659 491 / 267 242	NAGRA	1984
11	Riniken (NAGRA)	656 604 / 261 780	Matter et al.	1987
12	Breitenmatt	654 040 / 265 280	Buser	1952
13	Galten	651 150 / 264 700	Haller	1968
14	Grünscholz	649 000 / 265 300	Brändlin	1911
15	Gipf	642 125 / 261 775	Kuhn	1992
16	Rickenbach	629 000 / 259 000	Buxtorf	1901
17	Mt. Terri	578 150 / 248 320	Rickenbach	1947
18	Ennetbaden	663 080 / 258 780	Senftleben	1923
19	Schinznach	652 000 / 256 250	Kuhn	1992
20	Willhard	648 900 / 254 900	Ziegler	1958
21	Müsenegg	625 570 / 253 350	Jordan	1983
22	Buessge	649 750 / 253 000	Jordan	1983
23	Staffelegg	647 000 / 254 025	Ziegler	1958
24	Asp	646 100 / 256 600	Kintschi & Gerber	1983
25	Gross Wolf	645 725 / 253 350	Jordan	1983
26	Bänkerchlus	644 950 / 253 100	Kuhn	1992
27	Salhöf	641 100 / 253 650	Jordan	1983
28	Petersweid	639 770 / 251 250	Jordan	1983
29	Erlimoos	633 400 / 247 050	Imhof	1980
30	Schafisheim (NAGRA)	653 620 / 246 760	Matter et al.	1988
31	Schwärze Badenweiler	34 01 120 / 52 98 060	Knitter & Ohmert	1984

Tab. 1. Verzeichnis aller in die Arbeit einbezogenen Profile, ihrer Lokalität und Bearbeiter. Die den Profilen zugeordnete Nummer wird in allen weiteren Darstellungen und im Text verwendet.

3. Sedimentologie und Lithostratigraphie

Erste detaillierte lithostratigraphische Untergliederungen des Posidonienschiefers wurden in Süddeutschland bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts vorgenommen (Oppel 1856; Quenstedt 1858). Die heute gültige Gliederung wurde von Hauff (1921) für den Holzmadener Raum erarbeitet und auch in die neuere Literatur übernommen (Riegraf et al. 1984). Für den nordschweizerischen Posidonienschiefer existiert ein einziger Vergleich der lithologischen Einheiten mit denjenigen des süddeutschen Raumes (Richter 1987). Während die von Richter (1987) verwendete Terminologie, welche sich an der Untergliederung von Quenstedt (1858) und Hauff (1921) orientiert, für das Gebiet des Randens (Kanton Schaffhausen) brauchbar ist, lässt sie sich nicht auf die Verhältnisse in der zentralen Nordschweiz (Kanton Aargau) übertragen. Hier wird deshalb eine neue lithostratigraphische Gliederung vorgeschlagen (Fig. 2), welche der reduzierten Mächtigkeit und den faziellen Besonderheiten des Posidonienschiefers in der zentralen Nordschweiz Rechnung trägt.

QUENSTEDT (1856)	HAUFF (1921)	RICHTER (1987)	NEUE GLIEDERUNG DES POSIDONIENSCHIEFERS SÜDLICH DES RHEINS
Bollensis - Lager	Contrarius - Mergel	Radians Mergel	N S Fucoidengrenzbank
Lederschiefer	Wilde Schiefer	Fucoidengrenzbank Bollensislager	
Kloake	Monotisbank	Monotisbank	Muschel-schillagen Monotisbank
	Kloake & Schlacken	Schlacken	Obere Bituminöse Tonmergel
Oberer Schiefer	Falchen	Schiefer	
	Schiefer	Schiefer	
Wilder Stein	Wilder Stein	Wilder Stein	Untere Bit. Tonmergel Homogene Kalkbänke mit <i>Coleo-discus minutus</i> Oberer Kartonschiefer
Oberer Stinkstein	Oberer Stein	Oberer Stein	
Mittlere Schiefer	Schiefer	Mittlere Schiefer	
	Gelbe Platte /Schiefer		
	Steinplatte	Steinplatte	
	Wolke	Wolke	
Unterer Stinkstein	Unterer Stein	Unterer Stein	Unterer Stein
Unterer Schiefer	Unterer Schiefer	Blaugraue Mergel	Untere Kartonschiefer
Posidonienfleins	Schieferfleins		Basisschicht
Hainzen	Hainzen Koblenzer		
Aschgraue Mergel	Aschgraue Mergel		
	Seegrasschiefer		
Tafelfleins	Tafelfleins		
	Blaugraue Mergel		

Fig. 2. Vorgeschlagene lithostratigraphische Gliederung für den Posidonienschiefer der Nordschweiz im Vergleich mit einer älteren (Richter 1987) und Gliederungen für den Posidonienschiefer Süd-West-Deutschlands (Quenstedt 1857, Hauff 1921).

3.1 Die Laminations-Textur im Posidonienschiefer

Zur Charakterisierung der verschiedenen Leitbänke und insbesondere als Merkmal zur Unterscheidung der Faziestypen erwies sich eine Zuordnung der verschiedenen Laminationstexturen zu einer von drei Typen als sinnvoll (Kuhn 1992; Tab. 2, Fig. 3). Die generell als Lamination bezeichneten Texturen variieren beträchtlich im Profil, bleiben aber in ihrer Ausbildung innerhalb eines Horizontes weitgehend konstant.

Die *Lamination – Typ A* (Fig. 3, A, B) besteht aus einer sehr regelmässigen, lateral kontinuierlichen Wechsellagerung von 0.5–2.0 mm mächtigen, hellen und dunklen Lagen. Die dunklen Laminæ bestehen hauptsächlich aus detritischen Tonmineralien und organischem Material, die hellen Laminæ sind vorwiegend aus mikritischen, linsenförmigen Kalzitpartikeln aufgebaut.

Die *Lamination – Typ B* (Fig. 3, C, D) ist charakterisiert durch eine grobe, undeutliche, lateral nicht kontinuierliche Wechsellagerung von Abschnitten mit Lamination – Typ A (helle Bereiche) und durch Mikrobioturbation homogenisierte Lagen (dunkle Bereiche). Die Mächtigkeit der einzelnen Lagen schwankt zwischen 5 mm und 20 mm.

Beschreibung	Lamination-Typ A	Lamination-Typ B	Lamination-Typ C
Vorkommen	-Untere Bituminöse Tonmergel -Obere Bituminöse Tonmergel	-Untere Bituminöse Tonmergel -Oberer Stein -Obere Bituminöse Tonmergel -Muschelschillagen	-Untere Kartonschiefer -Unterer Stein -Obere Kartonschiefer -Homogene Kalkbänke (im W) -(Oberer Stein)
Ausbildung vertikal lateral Mächtigkeit (Laminae)	deutlich kontinuierlich 0.5mm-2mm	undeutlich nicht kontinuierlich 5mm-20mm	deutlich kontinuierlich 2mm-10mm
helle Laminae			
Farbe	weiss	grau	gelblichweiss
Mineralbestand	-Calcit -Tonminerale -C-org -Pyrit -Quarz (Silt)	-Tonminerale -C-org -Calcit -Pyrit -Quarz (Silt)	-Calcit
Hauptbestandteil	faecal pellets (?)	Lamination-Typ A	<i>Girvanella</i> -Lagen
dunkle Laminae			
Farbe	grauschwarz	dunkelgrau	violettbraun - braunschwarz
Mineralbestand	-Tonminerale -C-org -Pyrit -Quarz (Silt)	-Tonminerale -C-org -Pyrit -Quarz (Silt)	-Tonminerale -C-org -Calcit -Pyrit -Quarz (Silt)
Hauptbestandteil	detritische Mineralien	bioturbiertes Sediment	organische Filme
andere Laminae	fossilreiche Lagen: -Vertebratenresten	fossilreiche Lagen: -Bivalven -Muschelschill -Vertebratenresten	mud flows (homogen)
Mechanismus	Unterschiedliche Sedimentpartikel	Unterschiedlich starke Infaunale Besiedlung (Homogenisierung)	Unterschiedliche mikrobielle Besiedlung

Tab. 2. Merkmale der drei unterschiedenen Laminationstexturen und deren Interpretation. Beispiele sind in Fig. 3 abgebildet.

Die *Lamination – Typ C* (Fig. 3, E, F) ist aus deutlichen, lateral kontinuierlichen Laminae von 2–10 mm Mächtigkeit aufgebaut. Die hellen, kalzitischen Lagen bestehen grösstenteils aus einem Netzwerk von Röhren der Cyanophycean-Gattung *Girvanella* und müssen als fossile Mikrobenmatten bezeichnet werden. Auf gelegentlich von Schrumpfrissen durchzogenen Schichtflächen kann die etwas unregelmässige Ausbildung dieser Lagen beobachtet werden. Die dunklen Laminae bestehen wie bei Lamination – Typ A vorwiegend aus detritischen Tonmineralien und organischen Filmen, sind aber mächtiger entwickelt.

3.2 Beschreibung der lithologischen Einheiten

Liegendes. – In den Profilen des Tafeljuras liegen unterhalb der Basisschicht die gelblich-grauen bis grüngrauen, leicht sandigen Tonmergel mit Kalkknauerbänken der Spinatus-Schichten. Im Faltenjura handelt es sich um grüngraue bis grauschwarze, sandige, glaukonitreiche Tonmergel mit einem grossen Anteil an weisslichen bis braungrauen, phos-

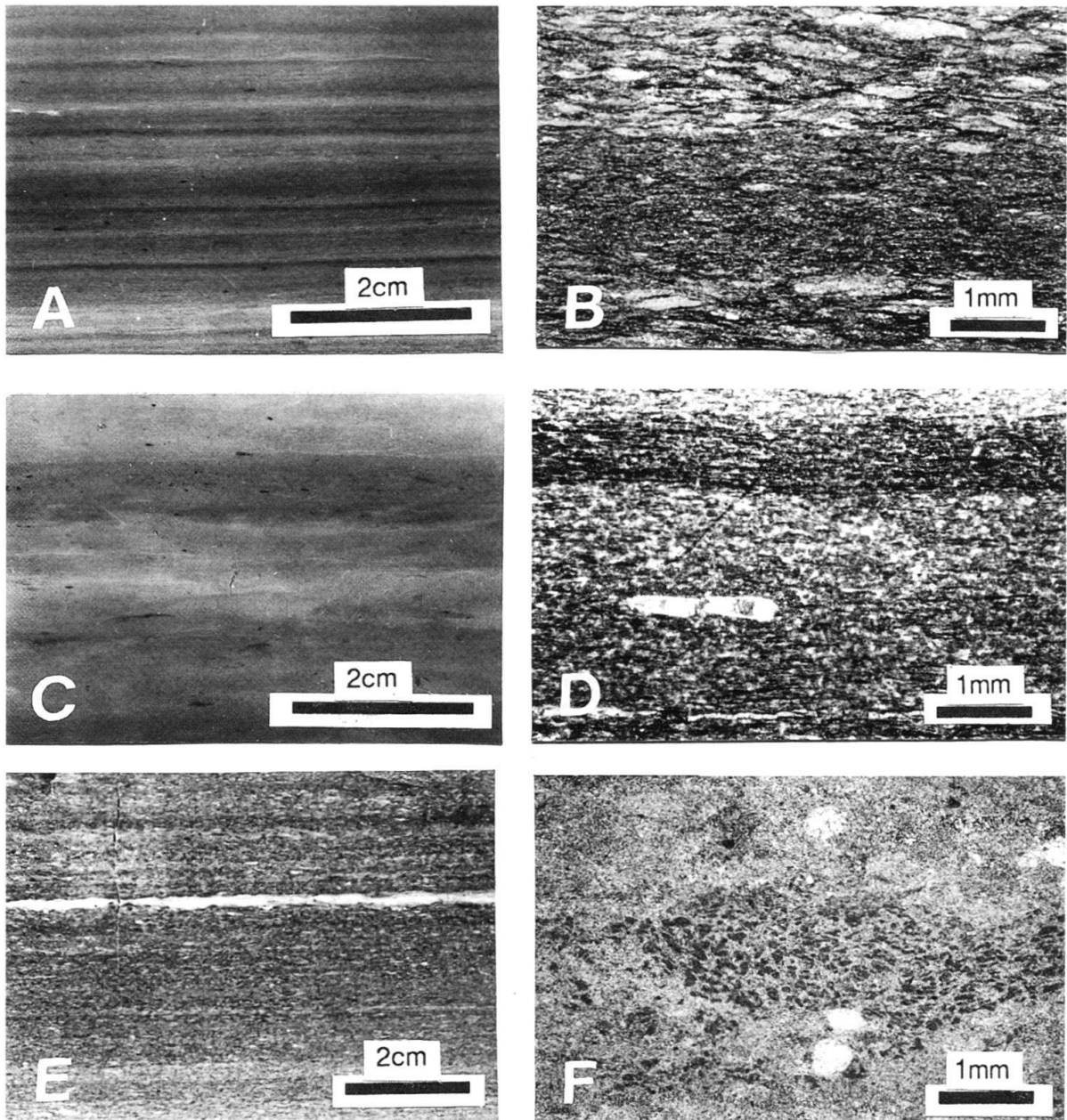


Fig. 3. Laminationstexturen im Posidonienschiefer. A, Radiographie eines Handstückes mit Lamination – Typ A. Bei den dunklen Objekten handelt es sich um Fischreste (Profil 9, Obere Bituminöse Tonmergel). B, Dünnschliff (Durchlichtaufnahme) mit Lamination – Typ A. Erkennbar sind helle, kalzitische, flachgepresste Kotpillen (?) und dunkel gefärbte organische Substanz und Tonmineralien (Profil 9, Obere Bituminöse Tonmergel). C, Radiographie eines Handstückes mit Lamination – Typ B. Das Sediment zeigt keine Feinlamination mehr. Undeutliche Bioturbation ist erkennbar (Profil 9, Obere Bituminöse Tonmergel). D, Dünnschliff (Durchlichtaufnahme) mit Lamination – Typ B. Erkennbar eine Zone mit deutlich geringerem Gehalt an dunkelgefärbter, organischer Substanz (Profil 9, Obere Bituminöse Tonmergel). E, Anschliff eines Handstückes mit Lamination – Typ C. Erkennbar ist die unregelmässig ausgebildete, karbonatische, mikrobielle Lamination (Profil 19, Unterer Stein). F, Dünnschliff (Durchlichtaufnahme) einer hellen Lamina von E; erkennbar sind die mit dunklem Mikrit gefüllten Röhren (Profil 19, Unterer Stein).

phoritischen Konkretionen und Fossilsteinkernen. Diese Schichten, welche von Jordan (1983) als «kondensiertes Pliensbachian» bezeichnet wurden, enthalten zahlreiche Belemniten, Muscheln und Schnecken. Ammoniten sind selten, sind aber durch Arten aus dem gesamten Ober-Pliensbachian repräsentiert (Jordan 1983). Fossilien und Konkretionen sind fragmentiert, abgerollt und inkrustiert. Besonders häufig sind *Lytoceras*-Steinkerne, Gryphaeen und andere Muscheln. Bei einigen der Phosphoritkonkretionen scheint es sich um aufgearbeitete und phosphoritisierte Kalklithoklasten zu handeln.

Basisschicht. – Diese nur im Tafeljura ausgebildete, 2–5 cm mächtige Schicht besteht aus grünlichgrauen bis schwarzgrauen Tonmergeln. Nach oben ist eine immer deutlicher werdende Laminationstextur und eine zunehmende Dunkelfärbung beobachtbar. Gelegentlich lassen sich undeutliche, grosse Spurenfossilien (*Chondrites*?, 0 bis 2 cm) beobachten. Im helleren unteren Teil tritt massenhaft die Muschel *Plicatula spinosa* (SOWERBY) auf; neben ihr finden sich verschiedene Brachiopoden (z. B. *Gibbirhynchia amalthei* (QUENSTEDT)). Im oberen, dunkleren Teil dominieren Fragmente von dünn-schaligen Muscheln. In den Profilen des Faltenjuras fehlt die Basisschicht. Die laminierten Posidonienschiefer (Untere Kartonschiefer) liegen dort direkt auf den kondensierten Schichten des Pliensbachian.

Untere Kartonschiefer. – Blättrig verwitternde, im frischen Zustand dunkelbraune, feinlamierte (Typ C) Tonmergel. Charakteristisch sind Rollspuren von Fischwirbeln, Schrumpfrisse und grosse gagatisierte Holzstücke. Häufig sind rostig verwitternde, einst pyritische Krusten mit pyritisierten Ammonitensteinkernen eingeschaltet. In den südlichsten Profilen des Faltenjuras finden sich gelegentlich in den untersten Zentimetern der Unteren Kartonschiefer phosphoritisierte Knöllchen, welche wahrscheinlich aus dem Kondensationshorizont des Pliensbachian aufgearbeitet wurden. Die Mächtigkeit der Unteren Kartonschiefer nimmt gegen Norden zu. Im Profil Bänkerchlus sind 8 cm, in Gipf 46 cm und in Rietheim 49 cm Untere Kartonschiefer ausgebildet. Mit zunehmender Mächtigkeit wird die in den südlichen Profilen ausgeprägte Lamination-Typ C und damit die Fazies der Kartonschiefer immer undeutlicher und kann in Süddeutschland nicht mehr von der Fazies der Bituminösen Tonmergel (Lamination – Typ A, B) unterschieden werden.

Unterer Stein. – Eine 20–25 cm mächtige Kalkbank mit ausgeprägter Lamination (Typ C) und muschel-splittigem Bruch. Weitere Charakteristika sind das Vorkommen von gut erhaltenen *Leptolepis coryphaenoides* AGASSIZ, syngedimentäre bis fröhdiagenetische Wickelfaltungs-Strukturen, Rollspuren von Fischwirbeln und Lagen mit *Girvanella* sp. In den südlichsten Profilen ist der Untere Stein schwach bioturbirt (*Chondrites* sp. und unbestimmbare, mit Echinodermentrümmern, Knochenresten und Phosphoritknöllchen verfüllte Gänge). Im Posidonienschiefer des Kanton Jura (Mt. Terri) ist der Untere Stein genau in derselben petrographischen Ausbildung zu finden, aber doppelt so mächtig (50 cm). Der Untere Stein ist ein wichtiger Leithorizont Süddeutschlands (Riegraf et al. 1984; Riegraf 1985). Ähnliche, zeitgleiche Leithorizonte sind auch aus Elsass-Lothringen (Schirardin 1914), S-Frankreich (Riegraf 1980) und England (Howarth 1962) beschrieben.

Obere Kartonschiefer. – Die 30–40 cm mächtigen Oberen Kartonschiefer sind lithologisch gleich wie die Unteren Kartonschiefer ausgebildet (Lamination – Typ C). Im Faltenjura ist zusätzlich eine konkretionäre kalkige Lage eingeschaltet. Lokal sind kleine Bioherme von *Liostrea falcifera* (QUENSTEDT) und Ansammlungen von adulten und juvenilen Exemplaren von *Pseudomonotis substriata* (MUNSTER) zu beobachten.

Homogene Kalkbänke mit Coelodiscus minutus. – Die Kartonschiefer werden überlagert durch eine Kalkbank (Faltenjura) oder zwei ca. 6–10 cm mächtige Kalkbänke, die durch eine bituminöse Tonmergellage schwankender Mächtigkeit getrennt werden (Tafeljura). Der hohe Pyritgehalt lässt die Bänke bei der Verwitterung rot anlaufen. Die Bänke erscheinen makroskopisch homogen dunkelgrau, zeigen in Radiographien aber eine Feinschichtung und sind weitgehend aufgebaut aus den Gehäusen des kleinen Gastropoden *Coelodiscus minutus* (SCHUEBLER). Diese lithologische Einheit entspricht ungefähr der «Steinplatte» SW-Deutschlands. Diese zeigt im Holzmadener Raum ebenfalls eine Zweiteilung. Im Faltenjura ist nur eine Bank zu finden. Ihre Schichtoberfläche weist Erosionsstrukturen (diskordant abgeschnittene Makrofossil-Steinkerne) auf, und wird von einer limonitischen Kruste überlagert. Gegen Westen werden die Homogenen Kalkbänke zunehmend deutlich laminiert (Lamination – Typ C) und die Häufigkeit der Gastropodengehäuse nimmt ab. Im Mt. Terri-Gebiet kann eine 30 cm mächtige, laminierte Kalkbank eventuell mit dieser lithologischen Einheit korreliert werden.

Untere Bituminöse Tonmergel. – Dies sind grauschwarze, undeutlich laminierte (Typ A, B), ca. 50–100 cm mächtige Tonmergel mit zwei eingeschalteten Bioturbationshorizonten. Sie werden mit den mittleren Schiefern aus Süddeutschland korreliert. Diese zeigen dort bis zu drei Bioturbationshorizonte, von welchen einer kalkig sein kann (Gelbe Platte) (Riegraf et al. 1984). Ein solcher verkalkter Bioturbationshorizont fehlt in der N-Schweiz. Die Mächtigkeit der Unteren Bituminösen Tonmergel nimmt gegen Westen und Süden zuerst leicht ab und keilt in der Gegend von Frick-Staffelegg vollständig aus. Die wichtigsten Fossilien aus dieser lithostratigraphischen Einheit sind einerseits Spurenfossilien (*Chondrites* sp., *Planolites* sp. und weitere, unbestimmbare Spuren), andererseits treten auch *Pseudomytiloides dubius* (SOWERBY), *Pseudomonotis substriata* (MUNSTER) und seltener andere Muscheln sowie Seeigel auf. Ammoniten der Gattung *Hildoceras* und *Dactylioceras* sind häufig, *Harpoceras* eher selten. Aus dem Profil Breitenmatt (12) beschreibt Buser (1952) eine 14 cm mächtige Sandsteinlage, die in diesen Bereich gehören dürfte. Zur Zeit existiert aber kein Aufschluss mehr an dieser Lokalität und es ist kein Belegmaterial vorhanden. Aufgrund des Fehlens einer solchen Horizontes in den benachbarten Profilen 11 und 13, und der Gleichförmigkeit der Ausbildung dieser lithologischen Einheit im Ablagerungsraum bezweifeln wir deren Existenz.

Oberer Stein. – Ein 24–30 cm mächtiger grauschwarzer, schwach bis stark bioturbierter, bituminöser Stinkkalk. Eine Lamination (Typ B oder C) ist in den Profilen Rietheim (9) und Weiach (8) ausgebildet, ist aber von mehreren homogenen Zwischenlagen unterbrochen. Weiter im Süden (Profile 10, 11, 19) ist die Bank nicht mehr laminiert und ähnelt wegen dem massenhaften Auftreten von *Coelodiscus minutus* den Homogenen Kalkbänken. Ammoniten der Gattungen *Hildoceras* und *Harpoceras* sind häufig. Im Posidonienschiefer des Mt. Terri-Gebietes ist an dieser Stelle keine prägnante Kalkbank ausgebildet.

Obere Bituminöse Tonmergel. – Grauschwarze, laminierte, bituminöse Tonmergel mit mehreren (in Rietheim: zehn) bioturbierten Lagen. An der Basis der Oberen Bituminösen Tonmergel befinden sich drei gut ausgeprägte Bioturbationshorizonte, welche mit ähnlich ausgebildeten im Wutachgebiet (Riegraf et al. 1984) korreliert werden können. In Schinznach sind nur noch zwei der drei Bioturbationshorizonte vorhanden. Die Mächtigkeit der Oberen Bituminösen Tonmergel nimmt von ca. 8 m NE auf 0 m gegen SW ab. Der mittlere Abschnitt ist laminiert (Typ A), und Muscheln sind hier sehr selten. Gelegentlich eingeschaltete Bioturbationshorizonte sind geringmächtig, die Spuren sind un-

deutlich, und ihr Durchmesser ist klein. Über diesem Abschnitt folgen wieder schwächer laminierte, bituminöse Tonmergel mit Bioturbationshorizonten. Die Fauna wird durch *Pseudomytiloides dubius* dominiert. Andere Muschelarten sind vorwiegend als juvenile Exemplare erhalten. Sehr selten sind Brachiopoden zu finden. Der grösste Anteil der Ammoniten wird von der Gattung *Harpoceras* gestellt. Gegen oben nimmt die Häufigkeit der Belemniten (hauptsächlich *Acrocoelites*) zu.

Monotisbank. – Eine zweigeteilte, 10–12 cm mächtige Kalkbank, welche nahezu vollständig aus Schalenrümern dünnschaliger Muscheln aufgebaut ist. Gelegentlich ist eine Flaser- oder Schrägschichtung ausgebildet. Auf der Schichtfuge, welche die Bank in Rietheim teilt, finden sich massenweise Ammoniten der Gattung *Dactylioceras*. Unter den benthischen Faunenelementen ist die namensgebende Muschel *Pseudomonotis substriata* vorherrschend. Alle Muschelarten treten als Adultexemplare auf. Die Monotisbank ist auch aus dem norddeutschen Ablagerungsraum in ähnlicher Ausbildung bekannt (Schmitz 1968). Nach Birzer (1936) ist sie eine Bildung des küstennahen Bereichs und darum in den tieferen Beckenteilen nicht ausgebildet. Im Gebiet des Mt. Terri fehlt eine entsprechende Bank.

Muschelschillagen. – Graue bis dunkelgraue, blättrig zerfallende, glimmerreiche, schwach bituminöse Tonmergel mit kalzitischen Filamenten, Muschelbruchstücken, Fischresten, gagatisiertem Holz und häufigen Belemnitenrostren. Diese im NE ca 1.5 m mächtige Einheit keilt gegen SW vollständig aus. In Beggingen und Siblingen (Kt. Schaffhausen) findet sich im oberen Abschnitt dieser Muschelschillagen sehr häufig *Bositra bronni* (ROEMER). Im Mt. Terri-Gebiet konnte kein entsprechender Abschnitt beobachtet werden.

Fucoidengrenzbank. – Alle Profile werden gegen das Hangende von einer mehrere cm mächtigen, stark bioturbierten Lage abgeschlossen. Die Bioturbation nimmt gegen oben zu und leitet schnell zu einem unlaminierten, bitumenfreien Tonmergel über. Die Spurenvergesellschaftung ist artenreicher als diejenige der Bioturbationshorizonte der darunterliegenden lithostratigraphischen Einheiten.

Das Hangende. – Der Posidonienschiefer wird von den gelblichen bis grauen Tonmergeln und Kalkbänken der Jurensis-Schichten überlagert. Die Mergelhorizonte enthalten zahlreiche Phosphoritkonkretionen und phosphoritische Fossilsteinkerne. In den westlichsten Profilen des Tafel- und Faltenjuras (15, 26, 31) findet sich an der Basis eine phosphoritische, metalloidreiche, stromatolithische Lage (bis 10 cm mächtig) mit mikritischen Spaltenfüllungen und aufgearbeiteten Kalkklasten. Bei den aufgearbeiteten Klasten handelt es sich um Material aus dem Posidonienschiefer (Unterer und Oberer Stein, Kalkbänke mit *Coelodiscus minutus*). Glaukonitisierte Schwammnadeln und Glaukonitpellets mit Schrumpfrissen treten häufig auf. Die grauen bis grauschwarzen Kalkbänke sind intensiv bioturbiert und weisen an den Schichtobergrenzen Inkrustierungen auf.

3.3 Lithostratigraphische Korrelation

Die weite geographische Verbreitung der einzelnen lithologischen Einheiten des Posidonienschiefers wurde von den Bearbeitern schon früh beobachtet (Oppel 1856; Quenstedt 1858) und war insbesondere in Süddeutschland Grundlage für die lithostratigraphische Gliederung (z. B. Hauff 1921). Die gut unterscheidbaren faziellen, taphonomischen und faunistischen Signaturen der lateral weit verfolgbaren, gleichartig ausgebildeten Sedi-

mentpakete und Leithorizonte erlauben auch für den nordschweizerischen Bereich eine lithostratigraphische Untergliederung des Posidonienschiefers.

In Form von Profilschnitten wurden lithostratigraphische Korrelationen durch das Arbeitsgebiet angefertigt (Fig. 4–6). Um Differenzen mit älteren Arbeiten aufzuzeigen, erfolgte die Darstellung bewusst in Anlehnung an Riegraf (1985), der allerdings nicht den Unteren, sondern den Oberen Stein als Bezugshorizont wählte. Der grösste Unterschied zwischen den beiden Darstellungen besteht in der Erklärung der starken Reduktion der Mächtigkeit des nordschweizerischen Posidonienschiefers. Bei Riegraf (1985) ist sie als reine Kondensationserscheinung gedeutet. Bei der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Lösung spielt neben Kondensation postsedimentäre, submarine Erosion eine entscheidende Rolle.

Die weiteste geographische Verbreitung der lithologischen Einheiten des nordschweizerischen Posidonienschiefers hat der Untere Stein (Kuhn 1992). Im Tafeljura (Fig. 4) lässt sich dieser Leithorizont vom Wutach-Randen-Gebiet (1, 2, 3, 4, 5, 6) ohne Unterbrechung bis in die Westschweiz (17) verfolgen. Die gleiche laterale Verbreitung zeigen die Unteren und Oberen Kartonschiefer sowie die Homogenen Kalkbänke. Die Unteren Bituminösen Tonmergel und der Obere Stein sind im östlichen Tafeljura (8, 9) nahezu gleich wie in Süddeutschland ausgebildet. In der Gegend von Breitenmatt-Grünscholz (12, 13, 14) nimmt die Mächtigkeit gegen Westen leicht ab, und in der Region Frick (15) keilen Untere Bituminöse Tonmergel und Oberer Stein vollständig aus. Das gleiche Muster lässt sich auch bei den Oberen Bituminösen Tonmergeln und der Monotisbank beobachten. Diese Einheiten keilen allerdings bereits weiter östlich bei Grünscholz (14) aus, und eine markante Reduktion der Mächtigkeit setzt bereits weiter östlich bei Rietheim-Beznau-Breitenmatt (9, 10, 12) ein. Auch die Muschelschillage erfährt in der Region Weiach-Rietheim (8, 9) eine Mächtigkeitsreduktion und keilt weiter im Westen (12, 13) vollständig aus.

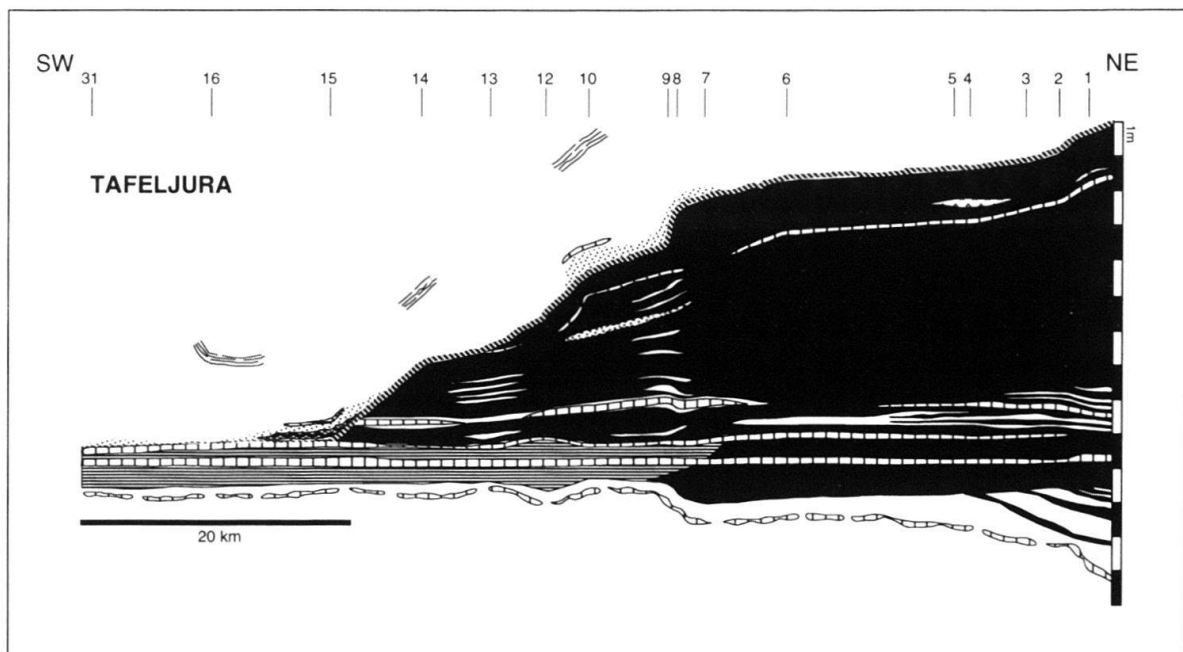


Fig. 4. Lithostratigraphische Korrelation durch den Tafeljura zwischen dem Randen im NE und dem Basler Tafeljura im SW. Die Ziffern stehen für die verwendeten Profile.

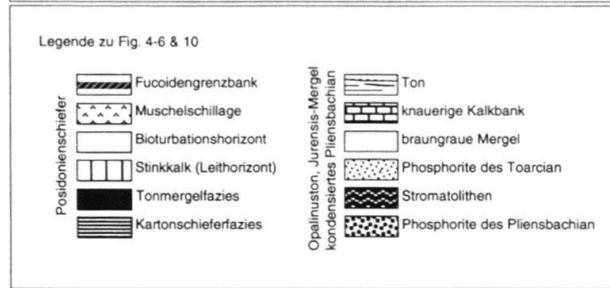
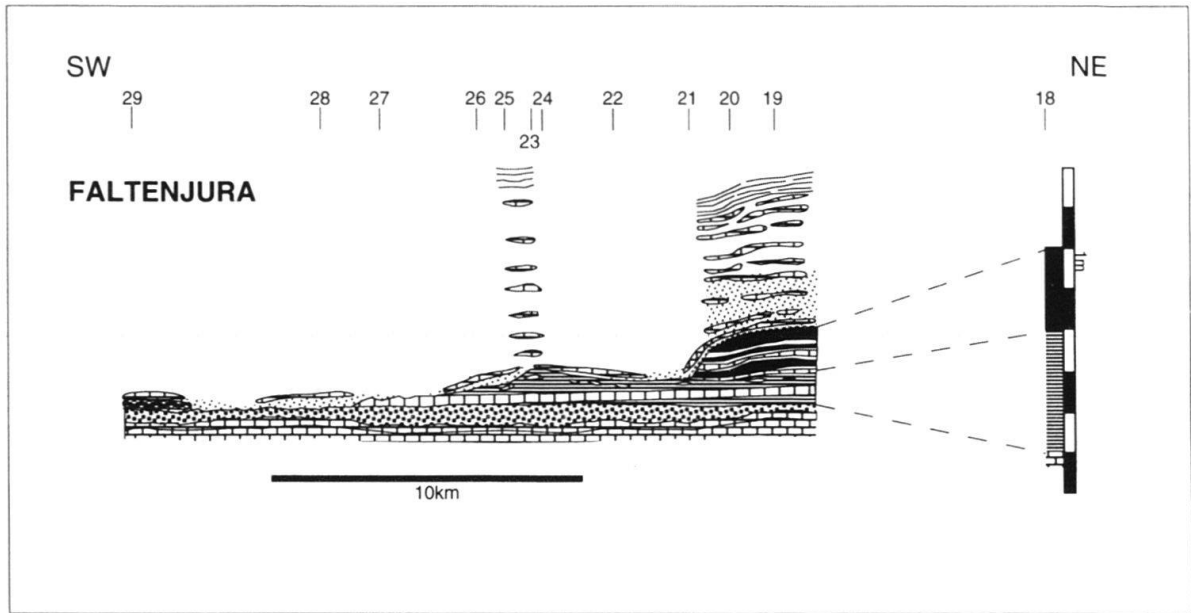


Fig. 5. Lithostratigraphische Korrelation durch den Faltenjura zwischen den Lägern im NE und dem Solothurner Faltenjura im SW. Die Ziffern stehen für die verwendeten Profile.

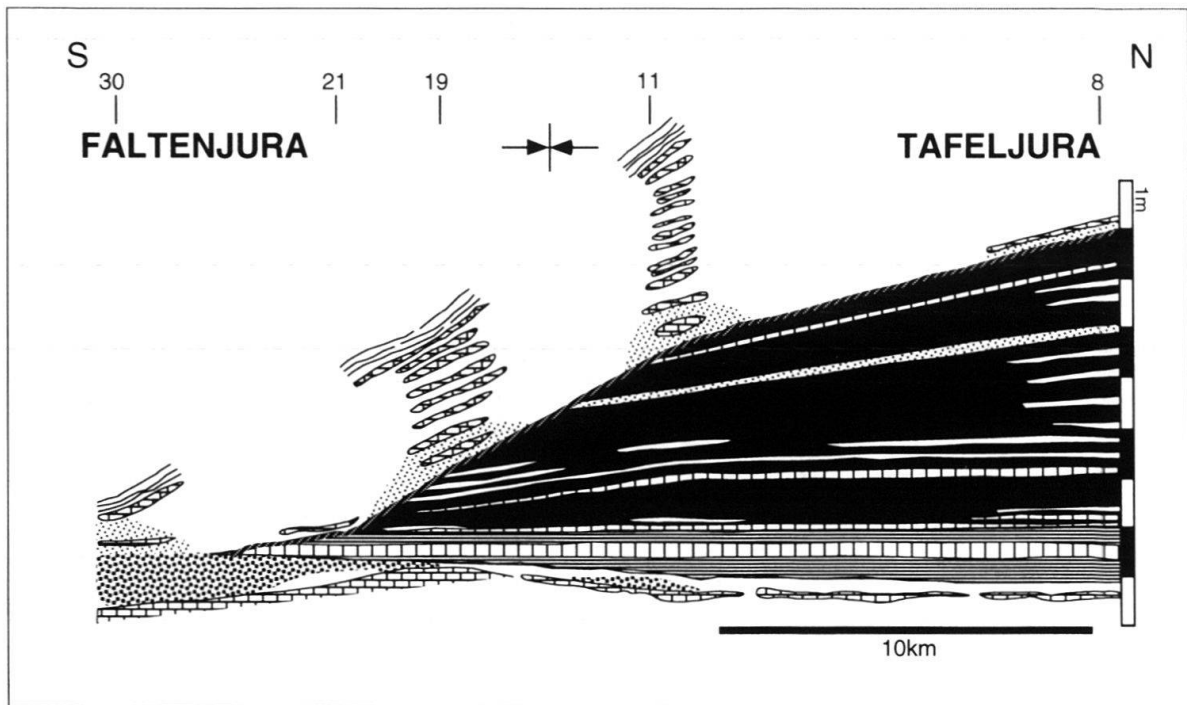


Fig. 6. Lithostratigraphische Korrelation durch den Tafel- und Faltenjura zwischen dem Randen im N und dem Molassebecken im S. Die Ziffern stehen für die verwendeten Profile.

Die laterale Verbreitung der einzelnen Schichtglieder des Posidonienschiefers im Faltenjura weicht gegenüber den im Tafeljura beobachteten Verhältnissen stark ab (Fig. 5). Der Untere Stein lässt sich gegen Westen bis Salhöf (27) verfolgen. Weiter südwestlich keilt der gesamte Posidonienschiefer vollständig aus (Jordan 1983; Kuhn 1992). Die Unteren und Oberen Kartonschiefer, an der Westlägern (18) zusammen noch über 2 m mächtig (Senftleben 1923), ziehen in deutlich reduzierter Mächtigkeit bis in die Gegend der Staffelegg (25, 26). Weiter westlich fehlen sie. Die Homogenen Kalkbänke, Untere und Obere Bituminöse Tonmergel sowie Oberer Stein sind bereits in der Gegend von Schinznach–Veltheim (19, 20) nur noch in stark reduzierter Mächtigkeit vorhanden. Etwas weiter westlich (21) keilt dieser obere Teil des Posidonienschiefers im Faltenjura aus.

Ein vom Tafeljura im Norden zum Faltenjura im Süden ziehender Profilschnitt (Fig. 6) ist wegen der Unsicherheit über das Ausmass der Aufschiebung der Juraketten nur mit Schwierigkeiten zu konstruieren. Im Aargauer Tafeljura lässt sich von Norden nach Süden eine Reduktion der Mächtigkeit vor allem des oberen Posidonienschiefers beobachten. Innerhalb des Faltenjuras keilt der obere Teil des Posidonienschiefers vollständig aus, und weiter im Süden bei Schafisheim (30) ist auch der untere Teil des Posidonienschiefers nicht mehr ausgebildet.

Die lithostratigraphische Korrelation belegt für den Posidonienschiefer der Nordschweiz von Osten nach Westen sowie von Norden nach Süden eine Mächtigkeitsabnahme und ein Auskeilen in der zentralen Nordschweiz. Dass diese Mächtigkeitsabnahme nicht in erster Linie auf Kondensation, sondern auf postsedimentäre Erosion zurückzuführen ist, kann einerseits aus dem sukzessiven Auskeilen von zunehmend älteren Leitbänken geschlossen werden, andererseits ist Erosion auch direkt durch aufgearbeitete Komponenten des Posidonienschiefers in den Schichten des Hangenden nachgewiesen.

4. Biostratigraphie

Um das lithostratigraphisch dokumentierte Auskeilen des oberen und in geringerem Masse auch des unteren Posidonienschiefers zu datieren, wurde eine biostratigraphische Gliederung der Profile des nordschweizerischen Posidonienschiefers erarbeitet. Die Zonierung wurde vorwiegend aufgrund der Ammoniten vorgenommen, teilweise wurden auch andere Faunenelemente in die Überlegungen einbezogen. Für die biostratigraphische Gliederung des Untertoarcian wurde die Zonierung von Rieggraf et al. (1984) und für das Obertoarcian diejenige von Knitter & Ohmert (1985) übernommen.

4.1 Ergebnisse

In den Schichten des Liegenden finden sich im Tafeljura keine Ammoniten. Aufgrund anderer Faunenelemente (Belemniten, Muscheln, Foraminiferen) lässt sich aber zweifelsfrei auf Pliensbachian-Alter schliessen. Im Faltenjura ist das Liegende ein verschiedene Ammonitenzonen des späten Pliensbachian umfassender Kondensations- und Aufarbeitungshorizont. Die jüngsten darin enthaltenen Faunenelemente belegen die spinatum-Zone (Jordan 1983).

Die Unteren Kartonschiefer, die direkt über den Tonmergeln oder dem Kondensationshorizont des Pliensbachian liegen, sind biostratigraphisch schwer einzuordnen. In Riethem dokumentiert aber der Fund eines *Acrocoelites rau* (WERNER) unmittelbar an

der Basis, dass die Unteren Kartonschiefer erst in der exaratum-Subzone der *falciferum*-Zone einsetzt. Die *tenuicostatum*-Zone des frühesten Toarcian sowie die basale *falciferum*-Zone (*elegantulum*-Subzone) konnte auch in keinem der anderen untersuchten Profile nachgewiesen werden. Aufgrund von Funden von *Harpoceras exaratum* (YOUNG & BIRD) und *Nodicoeloceras crassoides* (SIMPSON) im Unteren Stein, den darüberliegenden Oberen Kartonschiefern und über den Homogenen Kalkbänken in den untersten Bituminösen Tonmergeln kann geschlossen werden, dass die exaratum-Subzone bis in die Unteren Bituminösen Tonmergeln reicht. Der Beginn der *elegans*-Subzone wird mit dem Einsetzen von *Harpoceras elegans* (SOWERBY) gezogen, welcher in der ältesten *elegans*-Subzone noch zusammen mit *Harpoceras exaratum* und *Hildoceras levisoni* (SIMPSON) vorkommt. Der obere Teil der Unteren Bituminösen Tonmergel, der Obere Stein und der basale Teil der Oberen Bituminösen Tonmergel kann aufgrund von Funden häufiger *Harpoceras elegans* in die *elegans*-Subzone gestellt werden. Im mittleren Abschnitt der Oberen Bituminösen Tonmergel setzt *Harpoceras falciferum* (SOWERBY) ein, das Indexfossil der *falciferum*-Subzone. Dieser Abschnitt enthält im Gegensatz zu den Bereichen der *elegans*-Subzone auch zahlreiche Belemniten.

Die *commune*-Subzone (früheste *Bifrons*-Zone) ist im Untersuchungsgebiet nur noch im nordöstlichen Tafeljura (9) nachgewiesen. Hier dokumentieren Funde von *Dactyloceras commune* (SOWERBY), dass die Grenze zu dieser Subzone noch unterhalb der Monotisbank in den Oberen Bituminösen Tonmergeln gezogen werden muss. Ein Überlappen der Zonenleitfossilien *H. falciferum* und *D. commune* konnte nicht beobachtet werden. In keinem der untersuchten Profile konnten die späteren Subzonen der *Bifrons*-Zone in bituminöser Ausbildung nachgewiesen werden.

In den hangenden Jurensismergeln sind als aufgearbeitete und umgelagerte phosphatisierte Steinkerne zahlreiche Ammoniten der *crassum*-Subzone der *Bifrons*-Zone (*Catacoeloceras crassum* (YOUNG & BIRD), *Hildoceras semipolium* (BUCKMAN)) neben Formen der *variabilis*- (*Haugia* sp., *Oesperlioceras* sp.) und der *thouarsense*-Zone (*Grammoceras thouarsense* (D'ORIGNY), *Grammoceras fallaciosum* (BAYLE), *Polyplectus discoides* (ZIETEN)) vorhanden. Neben den erwähnten Ammonitensteinkernen finden sich auch zahlreiche flachgedrückte, unbestimmbare Mergelsteinkerne von Ammoniten.

4.2 Biostratigraphische Korrelation

Die Ergebnisse der biostratigraphischen Untersuchung stützen die oben vorgenommene lithostratigraphische Gliederung und bestätigen die Isochronie der Leithorizonte. Das Pliensbachian ist in den Profilen des Tafeljuras schlecht belegt, in den Profilen des Faltenjuras konnte eine verschiedene Ammonitenzonen umfassende Kondensation und Aufarbeitung nachgewiesen werden (Jordan 1983). Die bituminöse Fazies, welche in Süddeutschland maximal von der frühesten *tenuicostatum*-Zone (*paltum*-Subzone) bis in die späteste *Bifrons*-Zone (*crassum*-Subzone) reicht (Riegraf et al. 1984), ist in der Nordschweiz auf die *falciferum*-Zone und früheste *Bifrons*-Zone (*commune*-Subzone) beschränkt (Fig. 7). Die *tenuicostatum*-Zone und die *elegantulum*-Subzone der *falciferum*-Zone konnte in keinem der Profile nachgewiesen werden. Ob die von Richter (1987) erwähnten Ostracoden tatsächlich auch in Profilen des Aargauer Juras die *tenuicostatum*-Subzone belegen, bleibt wegen der Faziesabhängigkeit dieser Mikrofossilien zweifelhaft. Die *exaratum*-Subzone ist zwar nicht gut belegt (fazielle Ursachen), aber in allen Profilen

vorhanden. Die Schichten der elegans-Subzone und der falciferum-Subzone keilen gegen SW aus. Die Bifrons-Zone ist in den nordöstlichen Profilen durch die commune-Subzone nachgewiesen. Die crassum-Subzone ist durch eine aufgearbeitete, phosphoritisierte Fauna zusammen mit Formen der variabilis- und thouarsense-Zone belegt.

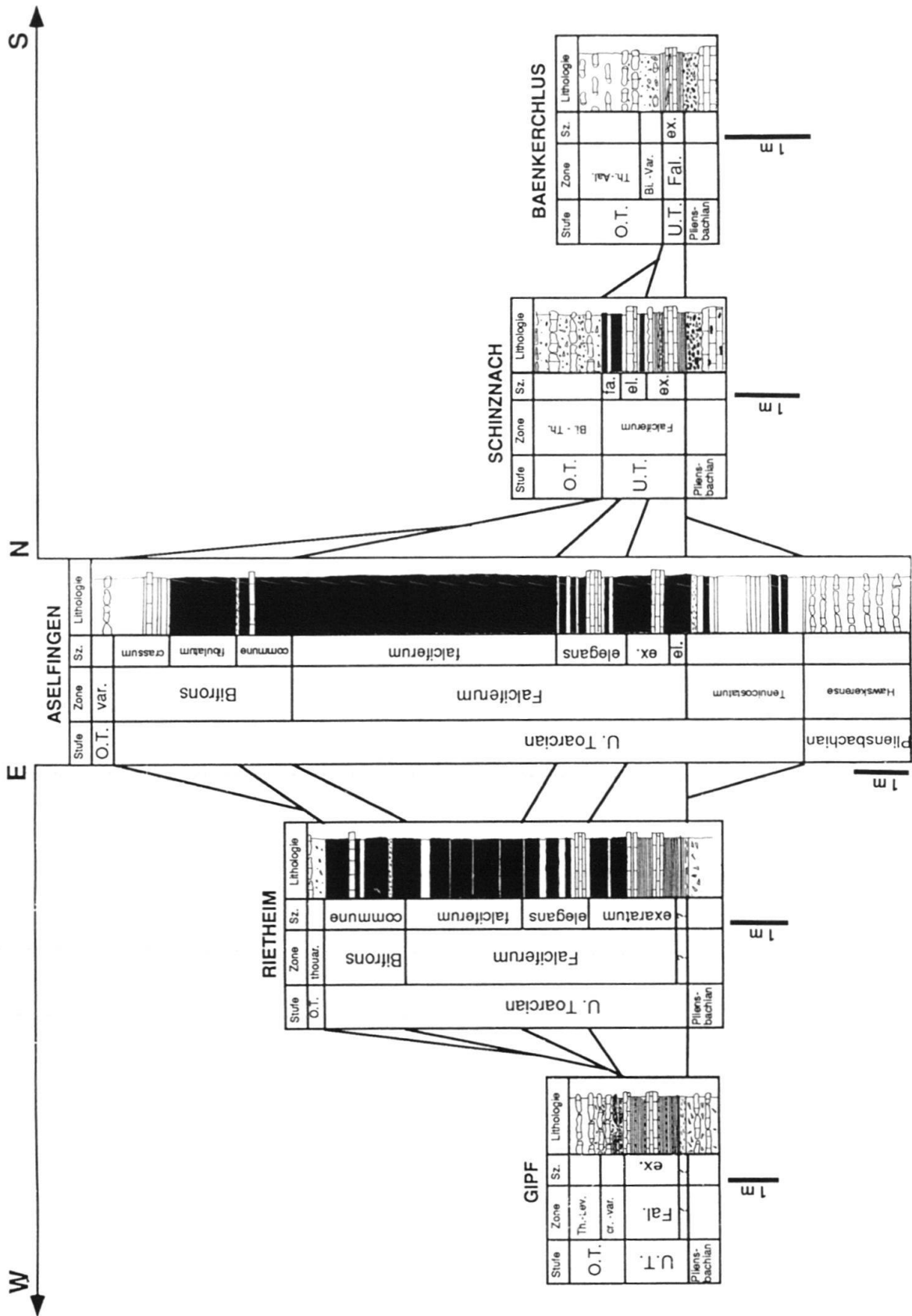
5. Fazies

Der Posidonienschiefer der Nordschweiz wurde generell unter dysoxischen (2.0–0.2 ml O₂/l) bis suboxischen (0.2–0.0 ml O₂/l) Verhältnissen abgelagert, wie dies trotz der unterschiedlichen Auffassungen der einzelnen Bearbeiter auch für den süddeutschen Posidonienschiefer angenommen wird (Brenner & Seilacher 1978, Kauffman 1978, 1981, Riegraf et al. 1984, Riegraf 1985). Die Ablagerung unter generell sauerstoffarmen Bedingungen wird durch die Erhaltung der Lamination, das Vorhandensein von nur wenig diversem Benthos, die auf bestimmte Horizonte beschränkte und nur unvollständige Bioturbation sowie die teilweise hervorragende Erhaltung artikulierte Fossilreste belegt (Kuhn 1992). Zur Fazies des süddeutschen Posidonienschiefers bestehen dennoch einige gewichtige Unterschiede; einerseits reduzierte Mächtigkeit und andererseits Faziesdifferenzierung in Kartonschiefer (unten) und Bituminöse Tonmergel (oben; Jordan 1982). Die Genese dieser unterschiedlichen Faziestypen respektive die ihnen zugrundeliegenden Ablagerungsräume und Umweltbedingungen soll anhand von Beobachtungen der Sedimentstrukturen, taphonomischer Eigenheiten, Auszählung und Bestimmung der Makrofauna und Quantifizierung der Bioturbationsintensität (Tab. 3; Fig. 9) geklärt werden.

5.1 Beschreibung

Kartonschieferfazies: Lamination (Typ C) ist gut entwickelt und lateral über mehrere Dezimeter kontinuierlich verfolgbar. Eingeschaltet sind zum Teil hellbraune, homogene Lagen (mud flows). Zwei prägnante kalkige Leithorizonte (Unterer Stein, Homogene Kalkbänke) weisen eine ähnliche, aber nicht durch Kompaktion veränderte Textur auf, und es ist deutlich zu erkennen, dass die hellen Lagen aus einem feinen Geflecht von kalkigen Röhren aufgebaut sind. Die Röhren sind mit einer feinen Mikritmasse verfüllt. Die Mächtigkeit einer solchen Lamina übersteigt nie 2 mm. In diesen Lagen fehlt Pyrit und organisches Material vollständig. In durch drusigen Sparit ausgefüllten Hohlräumen unterhalb heller Lagen scheint Pyrit angereichert zu sein. Neben diesen Lagen treten auch limonitisch verwitternde, einstmals wohl pyritische Krusten auf, welche viele Ammoniten enthalten.

In den Profilen des Tafeljuras (31, 15, 9) finden sich im oberen Abschnitt des Unteren Steins Lagen, in denen die Lamination durch Wickel- oder «Slump»-Faltung gestört wird (Fig. 8). Der Kontakt des umgelagerten Sedimentpaketes zu den liegenden und häufig auch zu den hangenden Schichten ist makroskopisch völlig homogenisiert. Mikroskopisch kann aufgearbeitetes Material festgestellt werden. Häufig ist eine Ausbildung von Bruch- oder Aufschiebungsgeometrien zu beobachten. Unter den vollständig homogenisierten Lagen finden sich oft vorzüglich erhaltene Fische und Rollmarken von Fischwirbeln. Neben vollständigen Fischskeletten finden sich auch abgetrennte Flossen, artikulierte Köpfe oder Schuppenaggregate. Die Häufigkeit von Fischresten beträgt durch-



schnittlich 400 Knochenelemente/0.1 m³. Es wurden auch vollständige Crustaceen mit Antennen und Scheren gefunden. Ein Fund einer nahezu vollständigen Libelle aus dem Unteren Stein betont zusätzlich die aussergewöhnlichen Bedingungen, die zur selektiven Erhaltung von organischem Material und artikulierte Fossilresten führte.

Echinodermenreste konnten nur in Verfüllungen von Grabspuren beobachtet werden. Dibranchiata Cephalopoden sind selten, Belemnitenhäkchen fehlen vollständig. Ammoniten sind einerseits als Pyritsteinkerne in Limonitkrusten und andererseits in Karbonatkonkretionen zu finden. Letzere weisen eine unvollständige Verfüllung mit teilweise laminiertem Sediment auf. Alle Muscheln sind schwach kompaktiert und kaum fragmentiert. Es wurden nur Einzelklappen beobachtet. Eine schwache Einkippung von Schalen mit der gewölbten Seite nach oben (65%) konnte beobachtet werden. Bioherme von *Liostrea falcifera* (QUENSTEDT) (max. Durchmesser: 12 cm; max. Höhe: 3 cm) sind nicht selten zu finden. Sporomorphen fehlen vollständig.

Die in der Tonmergelfazies an eine bestimmte lithologische Abfolge gebundene benthische Fossil-Assoziations-Abfolge (siehe unten; Fig. 9) lässt sich auch in der Kartonschieferfazies beobachten. Die Mächtigkeit der Abfolgen ist hier um etwa einen Faktor 10 geringer als in der Tonmergelfazies, Spurenfossilien fehlen, und die Faunenelemente unterscheiden sich leicht auf unterer taxonomischer Ebene.

Bituminöse Tonmergel: Die Lamination besteht aus einer gut entwickelten, über mehrere dm verfolgbaren, in ihrer Mächtigkeit konstanten Wechsellagerung des Typ B, oder liegt als Typ A vor. Bioturbationshorizonte, wie sie von Riegraf et al. (1984) und Savdra & Bottjer (1989, 1991) aus dem süddeutschen Posidonienschiefer beschrieben wurden, sind auch in der Nordschweiz zu finden. Ihre Mächtigkeit scheint jedoch in der Nordschweiz grösser zu sein, und ihr Vorkommen ist nicht nur auf die tenuicostatum-Zone und elegans-Subzone beschränkt.

Eine sich wiederholende Abfolge von Lithologien konnte beobachtet werden. Sie beginnt mit einem feinlaminierten Abschnitt. Darüber folgt eine strukturlose Zone, und gegen oben schliesst ein Bioturbationshorizont die Abfolge ab (siehe Fig. 9). Die Mächtigkeit dieser Abfolgen schwankt zwischen 25 cm in der elegans-Subzone und 75 cm in der falciferum-Subzone. Je geringmächtiger die Abfolge ausgebildet ist, desto grösser ist der relative Anteil des Bioturbationshorizontes. Fischreste sind in der Tonmergelfazies fast ausnahmslos disartikuliert erhalten. Die Häufigkeit von Fischresten übersteigt nie 260 Knochenelemente/0.1 m³. Die Häufigkeit von Ammoniten und Belemniten scheint negativ miteinander korreliert zu sein. Beide Fossilgruppen sind aber immer häufig. Messungen an eingeregeltten Belemniten ergeben eine generell S->N bis SW->NE gerichtete Bodenwasser-Strömungsrichtung an. 40% aller Belemnitenrostron und 5–15% aller Ammoniten sind schräg eingebettet. Selten finden sich auf der Aussenseite von Muscheln feine verkalkte Röhrchen (*Girvanella* sp.) als Aufwuchs. 70% der wichtigsten Muschelart (*Pseudomytiloides dubius*) liegen als isolierte Einzelklappen, 25% als Einzel-

Fig. 7. Biostratigraphische Korrelation, unter Einbezug des Profils Aselfingen (RIEGRAF 1985). Abkürzungen: U. T.: Unteres Toarcian; O. T.: Oberes Toarcian; Fal.: falciferum-Zone; Bi.: Bifrons-Zone; Var.: variabilis-Zone; Th, thouar.: touarsense-Zone; ele.: elegantulum-Subzone; ex.: exaratum-Subzone; el.: elegans-Subzone; fa.: falciferum-Subzone; cr.: crassum-Subzone. Position der Profile siehe Figur 1.

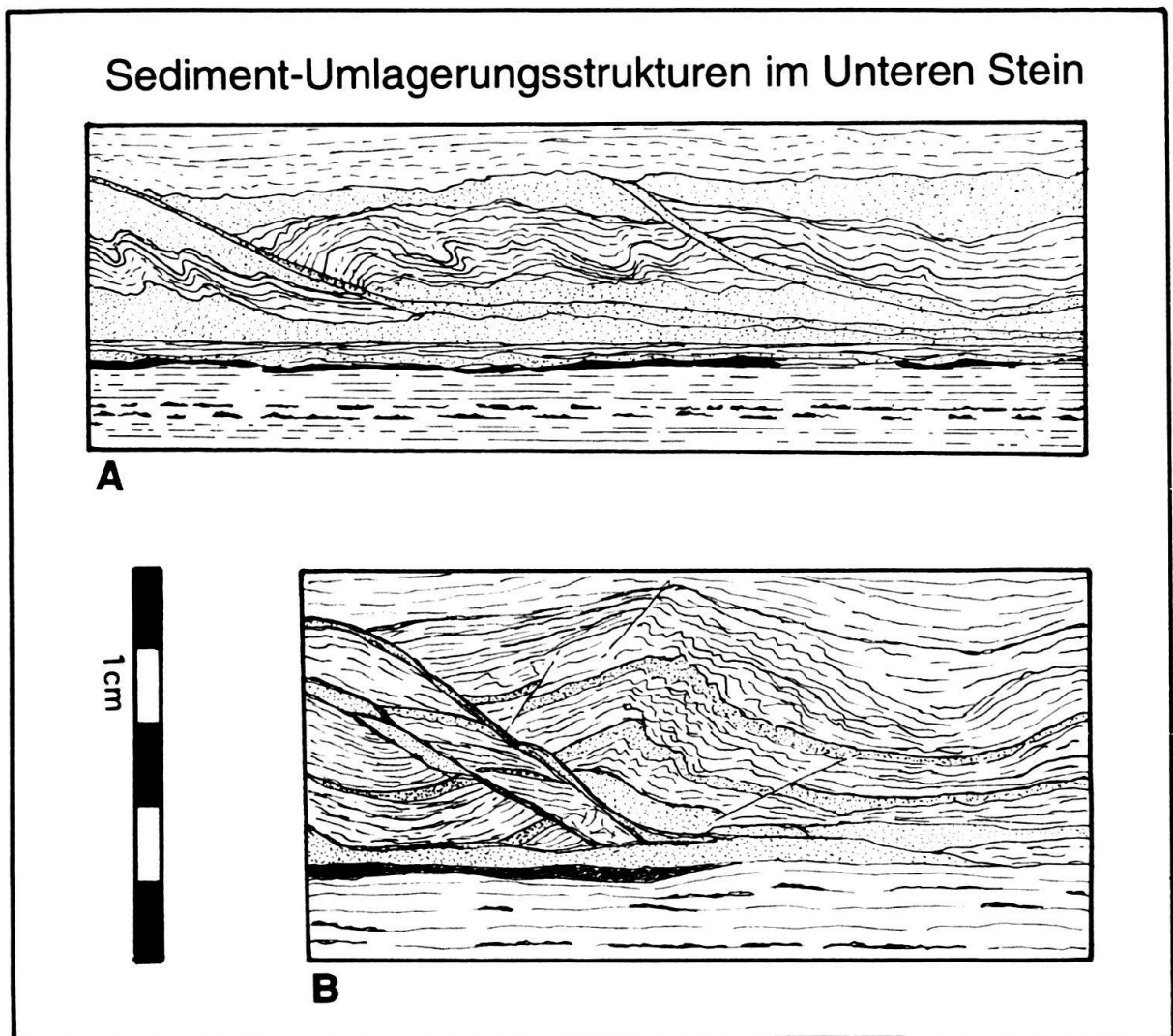


Fig. 8. Sediment-Umlagerungsstrukturen im Unteren Stein aus den Tongruben Frick (A) und Gipf (B) (siehe Kap. 5.1).

klappen in Gruppen und 5% als Doppelklappen vor. Die Erhaltungsweise ist variabel, doch ist Pyritisierung immer häufig. Sporomorphen sind immer vorhanden.

5.2 Faziestypen und Palökologie

Aufgrund der Faziesabhängigkeit der wichtigsten Muscheln des Posidonienschiefers (Kauffman 1981; aber siehe auch Seilacher 1982) wird die Ansicht vertreten, dass es sich vorwiegend um benthische Arten handelt. Insbesondere die Muschel *Pseudomytiloides dubius* (SOWERBY) zeigt eine deutlich negative Abhängigkeit von der Intensität der Bioturbation (Kuhn 1992). Mittels palökologischer Studien wurden vier benthische Assoziationen ausgeschieden. Sie setzen sich vor allem aus Muscheln zusammen. Es lässt sich eine Abfolge dieser Assoziationen beobachten, welche sich in den Profilen in ähnlicher Art mehrfach wiederholt (Tab. 4, Fig. 9). Die Aufeinanderfolge dieser Fossil-Assoziatio-

Beobachtungen	Tonmergelfazies	Kartonschieferfazies
Sedimentstrukturen		
Lamination	Typ A / B	Typ C
Störung der Lamination	Bioturbation, Bodenströmungen	Wickelfaltung, Homogenisierung, Entwässerung
Strömungsanzeichen	Flaserschichtung, Schrägschichtung	Rollspuren von Fischwirbeln
Schrumpfrisse	sehr selten	selten
limonitische Lagen	-	+
Bankmächtigkeit	ca. 50cm	ca. 5cm
Diagenese		
Kompaktion des Gesteins	1:10 - 1: 15	0 - 1:5
Kompaktion der Fossilien	stark	keine bis mässig
Konkretionen	Pyrit	Karbonat
Rekristallisation	selten Karbonat, Phosphorit schwach	stark
Geochemie		
$\delta^{13}\text{C}$ (CaCO_3) (nach KÜSPERT 1982)	Fazies B, C: positiv (0 bis 2‰)	Fazies A: negativ (-9 bis 0‰)
Fossilhaltung		
Aragonit-	-	-
Calcit-	mässig bis schlecht	gut
Periostrakum-	+ (pyritisiert)	-
Pyrit-	häufig	selten (limonitische Lagen)
Hohlraum-	-	+
Nagelkalkkruste	+	-
Biostratinomie		
Einbettung	schichtparallel; schräg	schichtparallel
Einkippung	?	keine bis schwach
Einsteuerung	selten (SW-NE)	-
Disartikulation		
Mehrteilskelette	vollständig	keine bis gering
Zweiteilskelette	mittel	gering bis mittel
Fragmentation		
	-	selten (<i>Phylloceras</i>)
Palökologie (Benthos)		
Makrofauna		
	epi- & endobenthische Bivalven	epibenthisch byssate & zementierte Bivalven
	Gastropoden	Liegeformen
	Echinoiden	Brachiopoden
	Bioturbation (<i>Chondrites</i> sp., <i>Planolites</i> sp.)	Serpuliden
		Crustaceen
		keine
Mikrofauna		
nach RICHTER 1987	Ostracoden	
	Foraminiferen	
Fossilassoziationen (Wichtigkeit)		
Ichnofossil Ass.	++	-
diverse Ass.	+	++
juv. <i>Pseudomonotis</i> Ass.	++	++++
<i>Pseudomytiloides</i> Ass.	++++	+++
Macerale & Flora		
Holzreste		
	feine Pflanzenhäcksel	-
	grosse gagatisierte Stücke	grosse gagatisierte Stücke
	sehr häufig (<i>Tasmanites</i>)	-
Palynomorphe		
<i>Girvanella</i> sp.	Einzelröhrchen im Sediment netzartig auf Fossilien	netzartig verwobenene, dichte Lagen

Tab. 3. Gegenüberstellung der wichtigsten Beobachtungen für die zwei Faziestypen Kartonschiefer und Tonmergel.

nen ist an lithologische Wechsel gebunden. Der Fauneninhalt der Assoziationen und Assoziationsabfolgen in der Tonmergelfazies und der Kartonschieferfazies ist recht ähnlich, aber die Mächtigkeiten der ganzen Assoziationsabfolgen unterscheiden sich um den Faktor 10 (siehe Fig. 9). Diese an fazielle Parameter gebundenen Assoziationsabfolgen können als allogene Sukzession in einem Umweltgradienten interpretiert werden (Miller 1986). Als wichtigste Umweltfaktoren kommen sowohl der Sauerstoffgehalt des Bodenwassers als auch die Sedimentbeschaffenheit in Frage. Ersteres ist kontrolliert durch die Sauerstoffzufuhr (Zirkulation des Ozeanwassers) und den Sauerstoffverbrauch (Eintrag von organischem Material; z. B. Wetzel 1991); letzteres wird durch die Sedimentationsrate, die mineralogische Zusammensetzung, den Gehalt an organischem Material und die Besiedlung des Sedimentes reguliert. Wie Busch & Keller (1981) zeigten, werden die zwei letzten Parameter ebenfalls vom Sauerstoffgehalt des Bodenwassers kontrolliert.

5.3 Interpretation

Kartonschiefer: Das Auftreten von Austern-Biohermen und die geringe Mächtigkeit der Fossil-Assoziationsabfolgen weisen auf eine geringe Sedimentationsrate hin. Das Vorkommen von epibenthischen Liegeformen, zementierten Muscheln und bruchhafter Deformation in Umlagerungsstrukturen werden als Anzeichen für festes bis zähes Substrat gewertet. *Girvanella*-Röhrenflechte könnten die Überreste der mikrobiellen Besied-

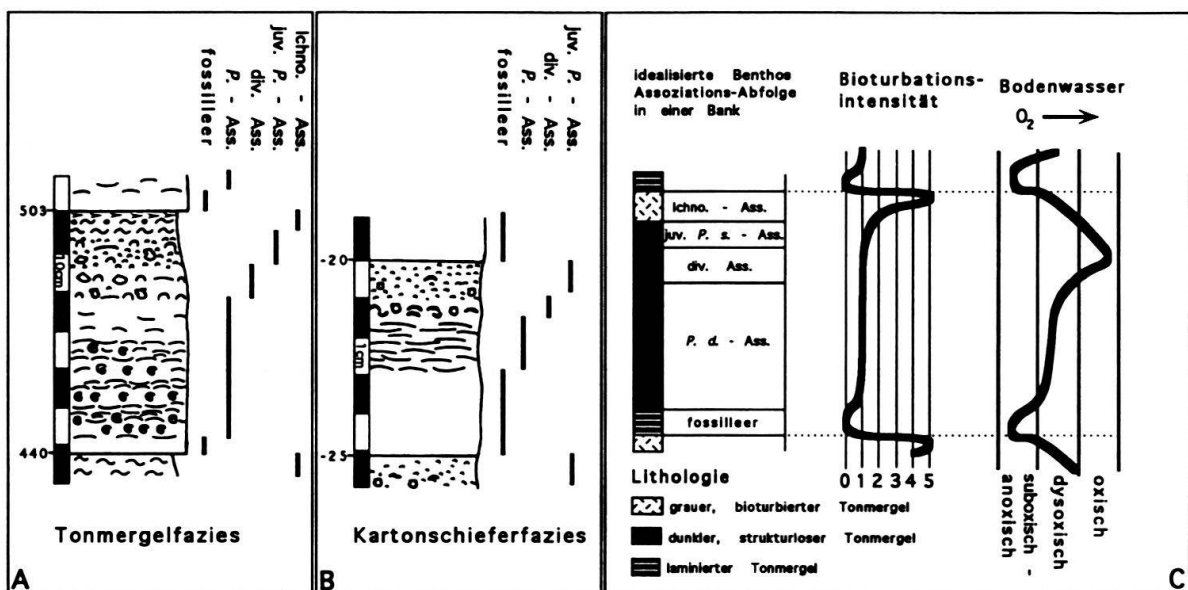


Fig. 9. Abfolge der benthischen Assoziationen in den Bänken der Tonmergelfazies (A) und den Schichten der Kartonschieferfazies (B) anhand von je einem ausgewählten Abschnitt aus dem Profil Rietheim. Die genaue stratigraphische Position im Profil ist durch den Abstand (in cm) vom Leithorizont Unterer Stein angegeben. In C ist links ein idealisiertes Schema der Lithologien, der Fossil-Assoziationen und der Bioturbationsintensität dargestellt. Gegen dieses ist eine Interpretation der Sauerstoffgehalt-Veränderung im Bodenwasser aufgetragen. Es wird angenommen, dass die benthische Fauna der diversen Assoziation die Phase der höchsten Sauerstoffkonzentration darstellt und Spuren auf niedrigere Sauerstoffgehalte (dysoxisches Milieu) hinweisen. Abkürzungen: P.-Ass. = *Pseudomytiloides* Assoziation, div. Ass. = diverse Assoziation, juv. P. s.-Ass. = juvenile *Pseudomonotis substriata* Assoziation, Ichno.-Ass. = Ichnofossil Assoziation.

Benthische Assoziationen	Kartonschieferfazies	Tonmergelfazies
Diverse Assoziation	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Pseudomonotis substriata</i> (Adult) -<i>Pseudomytiloides dubius</i> -<i>Liostraea falcifera</i> -<i>Plicatula spinosa</i> -<i>Gervillia lanceolata</i> -<i>Eopecten</i> sp. -<i>Oxytoma inaequivalvis</i> -<i>Gibbirynchia amalthei</i> <p>S=6-8/0.1m³ A=10-100/0.1m³ B=0-1 M=5-10%</p>	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Pseudomytiloides dubius</i> -<i>Eopecten</i> sp. -<i>Oxytoma inaequivalvis</i> -<i>Pseudomonotis substriata</i> (Adult) -<i>Cucculea</i> sp. -<i>Unicardium bollense</i> -<i>Diademopsis crinifera</i> -<i>Gervillia lanceolata</i> <p>S=7-11/0.1m³ A=10-50/0.1m³ B=1-5 M=5-15%</p>
juvenile Pseudomonotis substriata-Assoziation	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Pseudomonotis substriata</i> (juvenil) -<i>Pseudomytiloides dubius</i> -<i>Liostraea falcifera</i> -<i>Plicatula spinosa</i> -<i>Gervillia lanceolata</i> -<i>Eopecten</i> sp. -<i>Oxytoma inaequivalvis</i> <p>S=5-8/0.1m³ A=100-2000/0.1m³ B=0-1 M=10-20%</p>	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Pseudomonotis substriata</i> (juvenil) -<i>Pseudomytiloides dubius</i> -<i>Oxytoma inaequivalvis</i> -<i>Eopecten</i> sp. -<i>Mesomiltha pumila</i> -<i>Propeamusium pumilus</i> -<i>Gervillia lanceolata</i> <p>S=6-10/0.1m³ A=50-800/0.1m³ B=1 M=5-15%</p>
Pseudomytiloides-Assoziation	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Pseudomytiloides dubius</i> -<i>Pseudomonotis substriata</i> <p>S=2/0.1m³ A=20-100/0.1m³ B=0-1 M=50-60%</p>	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Pseudomytiloides dubius</i> -<i>Diademopsis crinifera</i> -<i>Pseudomonotis substriata</i> -<i>Eopecten</i> sp. <p>S=3/0.1m³ A=20-1000/0.1m³ B=1-3 M=55%</p>
Ichnofossil-Assoziation	-	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Chondrites</i> sp. -<i>Planolites</i> sp. -<i>Thalassinoides</i> sp. <p>S=2-3/0.1m³ A=? B=1-5 M=1-50%</p>
Fossilleer	B=0 M=20-30%	B=0 M=5-10%

Tab. 4. Fossilassoziationen im Posidonienschiefer der Nordschweiz. Es sind für die zwei unterschiedenen Fazies-typen jeweils der Fauneninhalt (benthische, schalentragende Makrofauna und Ichnofossilien) angeführt. Die Reihenfolge entspricht (von oben nach unten) den Dominanzverhältnissen, mit denen die Fossilien in einer Assoziation auftreten. Zusätzlich werden Werte für die durchschnittliche Artenzahl (S), die Individuenhäufigkeit (A), die Bioturbationsintensität (B) und den Anteil, den die Assoziation an der gesamten Bankmächtigkeit (M) einnimmt, angeführt.

lung darstellen, welche das Sediment versiegelte (Riegraf 1984). Die stark negativen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Karbonates im unteren Posidonienschiefer (Tab. 3) werden als Effekt von Karbonatbildung in der Sulfatreduktionszone gedeutet (Küspert 1982; Hallam 1987; vgl. Raiswell 1988). Die gute Erhaltung von Mehrteilskeletten und Oberflächenspuren lässt ein zeitweise völliges Fehlen von Bodenwasserbewegung vermuten. Hervorragende Fossilhaltung stellt aber die Ausnahme dar und ist vielfach direkt unter «mud flow»-

Lagen zu finden. Die vorzügliche Erhaltung lässt sich also eher durch plötzliche Einbettung als durch völlige Stagnation erklären (vgl. Brett & Seilacher 1991). Da Bioturbationshorizonte fehlen, Lagen mit erhöhter Benthos-Diversität aber dennoch anzutreffen sind, muss die Redoxgrenze an die Sediment-Wasser-Grenze gebunden gewesen sein. Ein solch scharfer Sauerstoffgradient deutet auf chemisch oder biologisch regulierte Bedingungen an der Substratoberfläche, beispielsweise mikrobielle Matten, hin (Sageman et al. 1991).

Tonmergelfazies: Starke Kompaktion, fehlende Korrosion und Abrasion, geringe Fragmentationsrate der Fossilien sowie die relativ grosse Mächtigkeit von lithologischen Abfolgen und Fossil-Assoziationsabfolgen (siehe 5.2) weisen auf mittlere bis hohe Sedimentationsraten hin. Das Fehlen von epibenthischen Liegeformen und zementierten Arten, das Vorhandensein von Endobenthos sowie die schräge Einbettung von Cephalopodenschalen sind Anzeichen für weiche bis suppage Sedimentbeschaffenheit (vgl. Hewitt 1988). Der hohe Prozentsatz von Einzelklappen und disartikulierten Fischskeletten und die Einsteuerung von elongaten Objekten können Anzeichen für episodische bis kontinuierliche Bodenwasserbewegung sein (Brenner & Seilacher 1978). Das Vorkommen von relativ artenreichen benthischen Assoziationen kann als Anzeichen für episodische Sauerstoffzufuhr gewertet werden. Das Auftreten von Bioturbationshorizonten bedeutet, dass Sauerstoff auch in den oberen Sedimentschichten vorhanden war. Da eine Wechsellagerung von laminierten und bioturbirten Sedimenten beobachtet werden kann, muss angenommen werden, dass die Redoxgrenze sowohl ins Substrat als auch in die Wassersäule verschoben werden konnte. Das Auftreten von Prasinophyceen an der Grenze Tonmergelfazies/Kartonschieferfazies wird als Anzeichen einer thermohalinen Stratifizierung der Wassermassen interpretiert (Riegel et al. 1986, Prauss et al. 1991).

Da in der Nordschweiz Benthos deutlich dominanter zu sein scheint als in Süddeutschland (Bioherme von *Liostrea falcifera*, mächtigere Bioturbationshorizonte; Kuhn 1992), dürfte der nordschweizerische Raum einer randlichen Fazies, vermutlich auf einer Schwelle, entsprochen haben. Hochfrequente Meeresspiegeländerungen, respektive Schwankungen in der Ausbildung der Sauerstoffminimumzone, äusserten sich deshalb in dieser Region stärker als im tieferen süddeutschen Becken. Im unteren Teil des Posidonienschiefers ist sowohl die Erhaltung der Fossilien als auch des organischen Materials (Küspert 1982; Prauss et al. 1991) bei gleichzeitig geringerer Sedimentationsrate deutlich besser als im oberen Teil des Posidonienschiefers. Diese Beobachtung lässt sich am besten mit dem «expanding puddle»-Modell von Wignall & Hallam (1991) erklären; danach werden bituminöse Schwarzschiefer bevorzugt zu Beginn einer Transgression gebildet. Mit zunehmender Sedimentverfüllung nähert sich die Sedimentoberfläche der kritischen Wassertiefe der Thermo-/Halokline und der Sturmwellenbasis. Bei andauernder Sedimentakkumulation oder bei Meeresspiegelfall können keine Schwarzschiefer mehr gebildet werden.

6. Schlussfolgerungen

Kleinräumige Änderungen der Mächtigkeit und Fazies sind typisch für die Gesteinsformationen des nordschweizerischen Lias (Jordan 1983). Einerseits können diese Unterschiede auf primäre Ursachen wie z. B. Kondensation oder Grenze des Ablagerungsraumes zurückgeführt werden. Andererseits scheint dabei auch spätere Erosion von Schicht-

paketen eine Rolle zu spielen (Wetzel et al. 1993). Verschiedene Autoren interpretieren diese Charakteristika des nordschweizerischen Ablagerungsraumes als ein Zusammenspiel der Sedimentation mit einem präexistentem Relief (Frank 1930, Trümpy 1980, Imhof 1980, Wetzel et al. 1993). Die gegenüber den süddeutschen Verhältnissen abweichende Ausbildung des Posidonienschiefers der Nordschweiz kann im wesentlichen auf zwei Faktoren zurückgeführt werden: geringere Mächtigkeit infolge postsedimentärer Erosion, und vertikaler Fazieswechsel als Folge zunehmender Sedimentationsrate.

Die geringere Mächtigkeit ist in erster Linie auf Erosion zurückzuführen, geringere Sedimentation spielte nur eine untergeordnete Rolle (Fig. 10). Von NE nach SW und N nach S keilen sukzessive immer ältere lithologische Einheiten aus. Im NE gehören die jüngsten noch vorhandenen Sedimente, die in bituminöser Fazies vorliegen, der unteren Bifrons-Zone an (commune-Subzone, evt. fibulatum-Subzone). Die ältesten Leitformen, die als aufgearbeitete, phosphoritisierte Steinkerne in den Sedimenten der variabilis- oder touarsense-Zone gefunden werden, gehören der obersten Bifrons-Zone an (crasum-Subzone). Die Erosion reicht im Tafeljura bis in die exaratum-Subzone hinein. Im Faltenjura wird gegen Süden und Westen sogar die gesamte *falciferum*-Zone, und somit der gesamte Posidonienschiefer, von der erosiven Reduktion erfasst. Aufgrund der biostratigraphischen Untersuchung muss gefolgert werden, dass die kalkigen Einschaltungen (insbesondere der Untere Stein) isochron sind und wie in Süddeutschland als Leithorizonte verwendet werden können (vgl. Riegraf et al. 1984).

Die Fazies der Kartonschiefer ist auf den unteren Teil des Posidonienschiefers der zentralen Nordschweiz (Kanton Aargau) beschränkt. Die gegenüber den bituminösen Tonmergeln abweichende Ausbildung kann auf eine deutlich geringere Sedimentations-

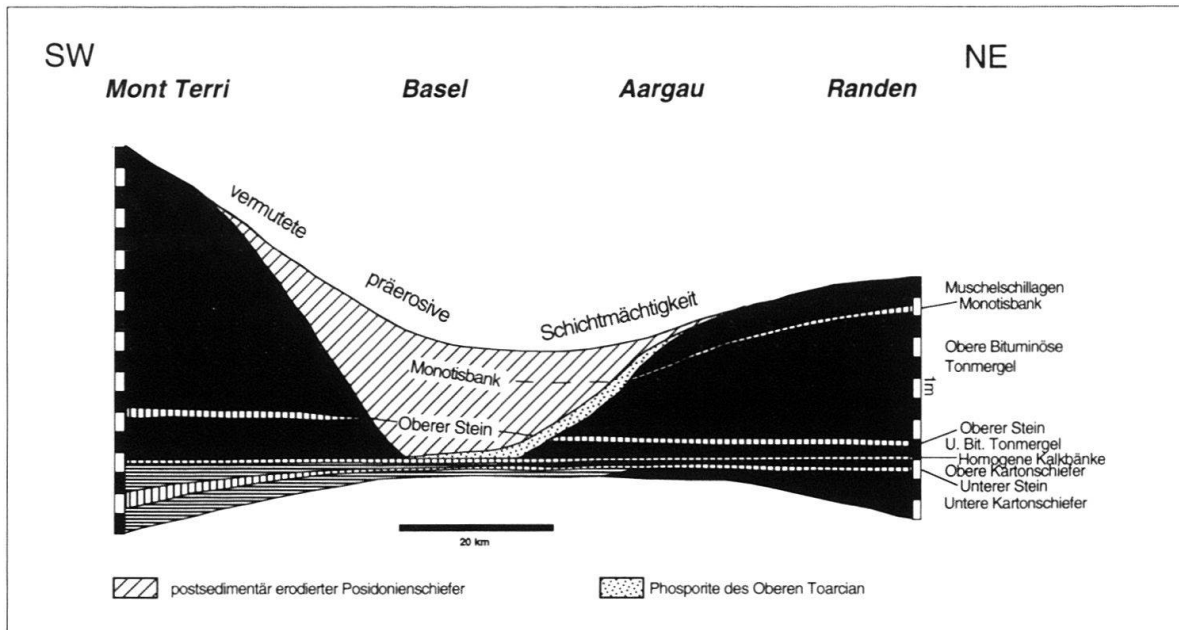


Fig. 10. Stratigraphische Korrelation durch den Tafeljura vom Randen bis ins Mt. Terri-Gebiet. Leithorizonte finden sich auf beiden Seiten der Erosionsrinne in gleicher Ausbildung. Weiter im Süden, im Bereich des zentralen Faltenjuras, reicht die Erosion bis in das Pliensbachian. Phosphoritführende Gesteine über dem Posidonienschiefer finden sich in der Nordschweiz nur im inneren Bereich der Erosionsrinne. Legende siehe Figur 5.

rate, die stärkere Oberflächenversiegelung des Substrates durch Mikrobenmatten und, damit zusammenhängend, die Ausbildung einer scharfen Redox-Diskontinuität an der Substratoberfläche zurückgeführt werden.

Die Daten der Sedimentologie, Taphonomie und Palökologie belegen eine Ablagerung im dysoxischen bis anoxischen Bereich, wobei strikt anoxische Phasen deutlich weniger häufig waren als im süddeutschen Raum. Dies deutet darauf hin, dass die Ablagerung des nordschweizerischen Posidonienschiefers in einem randlichen Bereich oder auf einer Schwelle erfolgte, wo sich die Stagnationsphasen weniger deutlich manifestierten als im zentralen Beckenbereich (Wutach, Holzmadener Gegend).

Verdankungen

Wir möchten Dr. S. Feist-Burckhardt, Dr. K. Föllmi, S. Hennig, Dr. H. Hilbrecht, G. Shields, Prof. Dr. H. R. Thierstein und Prof. Dr. A. Wetzel für ihre Unterstützung und die kritische Durchsicht des Manuskriptes herzlich danken.

LITERATURVERZEICHNIS

- BANDEL, K. & KNITTER, H. 1986: On the origin and diagenesis of the bituminous Posidonia Shale (Toarcian) of Southern Germany. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg* 60, 151–177.
- BIRZER, F. 1936: Die Monotisbank in den Posidonienschiefern, besonders Franken. *Abh. geol. Landesuntersuch. bayer. Oberbergamt* 26, 3–32.
- BRAENDLIN, E. 1911: Zur Geologie des nördlichen Aargauer Tafeljuras zwischen Aare und Fricktal. *Diss. Univ. Basel*.
- BRENNER, K. & SEILACHER, A. 1978: New aspects about the origin of the Toarcian Posidonia Shales. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 157, 11–18.
- BRETT, C. E. & SEILACHER, A. 1991: Fossil Lagerstätten: a taphonomic consequence of event sedimentation. In: *Cycles and Events in Stratigraphy*. (Ed. by EINSELE, G., RICKEN, W. & SEILACHER, A.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 281–297.
- BUSCH, W. H. & KELLER, G. H. 1981: The physical properties of peru – chile continental margin sediments – the influence of coastal upwelling on sediment properties. *J. sediment. Petrol.* 51, 705–719.
- BUSER, H. 1958: Beiträge zur Geologie von Blatt Bözen (Nr. 33) im schweizerischen Tafeljura. *Diss. Univ. Zürich*.
- BUXTORF, A. 1901: Geologie der Umgebung von Gelterkinden im Basler Tafeljura. *Beitr. Geol. Karte Schweiz*, N. F. 11.
- DEBRAND-PASSARD, S. 1984: Synthèse Géologique du Sud-Est de la France. *Mém. Bur. Rech. géol. min.* 125, 126.
- EINSELE, G. & MOSEBACH, R. 1955: Zur Petrographie, Fossilhaltung und Entstehung der Gesteine des Posidonienschiefers im Schwäbischen Jura. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 101, 319–430.
- FRANK, M. 1930: Beiträge zur vergleichenden Stratigraphie und Bildungsgeschichte der Trias-Lias-Sedimente im alpin-germanischen Grenzbereich der Schweiz. *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont. (B)* 64, 325–346.
- GSELL, F. 1968: Geologie des Falten- und Tafeljuras zwischen Aare und Wittnau und Betrachtungen zur Tektonik des Ostjuras zwischen dem unteren Hauenstein und der Aare im E. *Diss. Univ. Zürich*.
- HALLAM, A. 1967: An environmental study of the Upper Domesian and Lower Toarcian in Great Britain. *Phil. Trans. R. Soc. London, Ser. B* 252, 393 – 445.
- 1987: Mesozoic marine organic rich shales. In: *Marine Petroleum Source Rocks*. (Ed. by BROOKS, J. & FLEET, A. J.). *Geol. Soc. Spec. Publ.* 26, 251–261.
- HALLER, J. 1958: Geologische Untersuchungen im Aargauer Jura, unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.
- HAUFF, B. 1921: Untersuchungen der Fossilfundstätten von Holzmaden im Posidonienschiefer des oberen Lias Württembergs. *Palaeontographica* 64, 1–42.
- HAUFF, B. & HAUFF, R. B. 1981: Das Holzmadenbuch. 3. Auflage. Fellbach.
- HEWITT, R. A. 1988: Nautiloid shell taphonomy: interpretations based on water pressure. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 63, 15–25.

- HOWARTH, M. K. 1962: The Jet Rock series and the Alum Shale series of the Yorkshire coast. *Proc. Yorkshire geol. Soc.* 33, 381–422.
- IMHOF, B. 1980: Der Lias zwischen Olten und Langenbruck. Unpubl. Diplomarbeit Univ. Basel.
- JANICKE, A. 1990: Sedimentologie, Mineralogie und Geochemie des nordwestdeutschen Posidonienschiefers (Toarcium). Unpubl. Diss. Univ. Hannover.
- JORDAN, P. 1982: Der Lias zwischen Unterem Hauenstein und Schinznach. Unpubl. Diplomarb. Univ. Zürich.
- 1983: Zur Stratigraphie des Lias zwischen Unterem Hauenstein und Schinznach (Solothurner- und Aargauer-Faltenjura). *Eclogae geol. Helv.* 76, 355–379.
- KAUFFMAN, E. G. 1978: Benthic environments and paleoecology of the Posidonienschiefer (Toarcian). *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 157, 18–36.
- 1981: Ecological reappraisal of the German Posidonienschiefer (Toarcian) and the stagnant basin model. In: *Communities of the Past.* (Ed. by GRAY, J., BOUCOT, A. J. & BERRY, W. B. N.). Hutchinson Ross, Stroudsbury, Penn., 311–381.
- KINTSCHL, U. & GERBER, A. 1983: Profil Asp (im Schlössli). Unpubl. Feldnotizen, Uni Basel.
- KNITTER, H. & OHMERT, W. 1983: Das Toarcium der Schwärze bei Badenweiler. *Jh. geol. LA. Baden-Württemberg* 25, 233–281.
- KÜSPERT, W. 1982: Environmental changes during oil shale deposition as deduced from stable isotope ratios. In: *Cyclic and Event Stratification* (Ed. by EINSELE, G. & SEILACHER, A.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 482–501.
- KUHN, O. 1992: Der Posidonienschiefer der Nordschweiz. Sedimentologie, Stratigraphie, Palaeontologie. Unpubl. Diplomarb. Univ. Zürich.
- LITCKE, R., BAKER, D. R., LEYTHAEUSER, D. & RULLKÖTTER, J. 1991: Keys to the depositional history of the Posidonia Shale (Toarcian) in the Hils Syncline, northern Germany. In: *Modern and ancient continental shelf anoxia.* (Ed. by TYSON, R. V. & PEARSON, T. H.). *Geol. Soc. Spec. Publ.* 58, 311–333.
- LOH, H., MAUL, B., PRAUSS, M. & RIEGEL, W. 1986: Primary production, maceral formation and carbonate species in the Posidonia Shale of NW Germany. *Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg* 60, 397–421.
- MATTER, A., PETERS, T.J., BLÄSI, H.-R., MEYER, J., ISCHI, H. & MEYER, CH. 1987a: Sondierbohrung Weiach Geologie, Nagra technischer Bericht NTB 86–02.
- MATTER, A., PETERS, T.J., ISENSCHMID, CH., BLÄSI, H.-R. & ZIEGLER, H. J. 1987b: Sondierbohrung Riniken Geologie, Nagra technischer Bericht NTB 86–01.
- MATTER, A., PETERS, T.J., BLÄSI, H.-R., SCHENKER, R. F. & WEISS, H. P. 1988: Sondierbohrung Schafisheim Geologie Textband. Nagra technischer Bericht NTB 86–03.
- MILLER III, W. 1986: Paleocology of benthic community replacement. *Lethaia* 19, 225–231.
- MORRIS, K. A. 1979: A classification of Jurassic marine shale sequence, and an example from the Toarcian (Lower Jurassic) of Great Britain. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 26, 117–126.
- 1980: Comparison of major sequences of organic-rich mud deposits in the British Jurassic. *J. geol. Soc. London* 137, 157–170.
- NTB 84–34 1984: Die Kernbohrung Beznau. Nagra Tech. Ber. NTB 84–34. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung* 66.
- OPPEL, A. 1858: Die Juraformationen Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands; nach ihren einzelnen Gliedern eingeteilt und verglichen. Stuttgart, Ebner & Senbet.
- PRAUSS, M., LIGOUIS, B. & LUTERBACHER, H. 1991: Organic matter and palynomorphs in the “Posidonienschiefer” (Toarcian, Lower Jurassic) of southern Germany. In: *Modern and ancient continental shelf anoxia.* (Ed. by THYSON, R. V. & PEARSON, T. H.). *Geol. Soc. Spec. Publ.* 58, 335–351.
- QUENSTEDT, F. A. 1858: Der Jura. Laupp – Tübingen.
- RAISWELL, R. W. 1988: Chemical model for the origin of minor limestone – shale cycles by anaerobic methane oxidation. *Geology* 16, 641–644.
- RICHTER, H. 1987: Die Mikrofauna des Unteren Toarciums der Nordschweiz. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 176, 137–155.
- RICKENBACH, E. 1947: Die Vorkommen von bituminösen Schiefen. *Beitr. Geol. Schweiz Geotech. Serie Lieferung* 26/1, 44–54.
- RIEGEL, H., LOH, W., MAUL, B. & PRAUSS, M. 1986: Effects and causes in a black shale event – the toarcian Posidonia shales of NW-Germany. *Lecture Notes in Earth Science* 8, 267–276.
- RIEGRAF, W. 1982: The bituminous Lower Toarcian at the Truc de Balduc near Mende. In: *Cyclic and Event Stratification.* (Ed. by EINSELE, G. & SEILACHER, A.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 506–511.

- 1985: Mikrofauna, Biostratigraphie und Fazies im Unteren Toarcium Südwestdeutschlands und Vergleiche mit benachbarten Gebieten. *Tübinger Mikropaläont. Mitt.* 3.
- RIEGRAF, W., WERNER, G. & LÖRCHER, F. 1984: Der Posidonienschiefer. Biostratigraphie, Fauna und Fazies des südwestdeutschen Untertoarciums (Lias zeta). Enke Verlag, Stuttgart.
- SAGEMANN, B. B., WIGNALL, P. B. & KAUFFMAN, E. G. 1991: Biofazies models for oxygen-deficient facies in epicontinental seas: tool for paleoenvironmental analysis. In: *Cycles and Events in Stratigraphy*. (Ed by EINSELE, G., RICKEN, W. & SEILACHER, A.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 542–564.
- SAVDRA, C. E. & BOTTJER, D. J. 1989: Trace fossil model for reconstructing oxygenation histories of ancient marine bottom waters: application to Upper Cretaceous Niobara Formatio, Colorado. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 74, 49–74.
- SAVDRA, C. E., BOTTJER, D. J. & SEILACHER, A. 1991: Redox-related benthic events. In: *Cycles and Events in Stratigraphy*. (Ed by EINSELE, G., RICKEN, W. & SEILACHER, A.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 524–541.
- SCHALCH, F. 1880: Die Gliederung der Liasformation des Donau Rheinzuges. *N. Jb. Geol. Paläont.* 1, 177–266.
- 1922: Erläuterungen zu Blatt 157, Griessen, der geologischen Spezialkarte von Baden 1:25 000. *Bad. geol. Landesanst. u. Schweiz. geol. Komm.*
- SCHIRARDIN, J. 1914: Der obere Lias von Barr-Heiligenstein. *Mitt. geol. LA. Els.-Lothr.* 8, 339–448.
- SCHLATTER, R. 1982: Zur Grenze Pliensbachian – Toarcian im Klettgau (Kanton Schaffhausen, Schweiz). *Ecolgae geol. Helv.* 75, 759–771.
- SCHMITZ, H.-H. 1968: Untersuchungen am nordwestdeutschen Posidonienschiefer und seiner organischen Substanz. In: *Zur Kenntnis des nordwestdeutschen Posidonienschiefers*. (Ed. by GARTNER, H. R., KRÖPELIN, H., SCHMITZ, H. H., FESSER, H., MÄDLER, K., JACOB, H. & HOFFMANN, K.). *Beih. geol. Jb.* 58, 1–220.
- SENFLEBEN, G. 1923: Beiträge zur geologischen Erkenntnis der Westlägern und ihrer Umgebung. *Diss. Univ. Zürich.*
- THOMAS, M. 1977: Les schistes bitumineux du Toarcien de Franche-Comté. *Ann. sci. Univ. Besançon* (3) 28, 73–76.
- TRÖSTER, J. 1987: Biostratigraphie des Obertoarciums und der Toarcium-Aalenium Grenze der Bohrungen Weiach, Beznau, Riniken und Schafisheim (Nordschweiz). *Ecolgae geol. Helv.* 80, 431–447.
- TRÜMPY, D. 1983: Le Lias moyen et supérieur des Grandes Causses et de la région de Rodez. *Unpubl. Diss. Univ. Zürich.*
- TRÜMPY, R. 1980: *Geology of Switzerland – a guide-book*. Basel (Wepf).
- WETZEL, A. 1991: Stratification in black shales: depositional models and timing – an overview. In: *Cycles and Events in Stratigraphy*. (Ed by EINSELE, G., RICKEN, W. & SEILACHER, A.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 508–523.
- WETZEL, A., ALLIA, V., GONZALEZ, R. & JORDAN, P. 1993: Sedimentation und Tektonik im Ostjura. Bericht über die Exkursion der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft am 29. 9. 1992. *Ecolgae geol. Helv.* 86, 313–332.
- WIGNALL, P. B. & HALLAM, A. 1991: Biofacies, stratigraphic distribution and depositional models of British onshore Jurassic black shales. In: *Modern and ancient continental shelf anoxia*. (Ed by TYSON, R. V. & PEARSON, T. H.). *Geol. Soc. Spec. Publ.* 58, 291–309.
- WÜRTEMBERGER, L. 1867: Die Schichtfolge des Schwarzen und Braunen Jura im Klettgau. *N. Jb. Min.* 8, 39–59.
- WÜRSTEMBERGER, A. R. C. 1876: Über Lias Epsilon, *Jh. Ge. Naturkunde in Württemberg*, 32, 193–233.
- ZIEGLER, M. 1958: Geologische Untersuchungen zwischen der Staffelegg und dem Bözberg (Aargauer Jura). *Unpubl. Diplomarbeit ETH.*

Manuskript eingegangen 29. April 1993

Revidierte Fassung angenommen 20. Dezember 1993