

Der "Dogger " (oberes Aalénien) in den Bohrungen Herdern-1, Berlingen-1 und Kreuzlingen-1 (Nordostschweiz) und seine Beziehung zu den gleichaltrigen Schichten im Nordjura

Autor(en): **Burkhalter, Reto M. / Bläsi, Hans-Rudolf / Feist-Burkhardt, Susanne**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **90 (1997)**

Heft 2

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-168159>

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 «Dogger β » (oberes Aalénien) in den Bohrungen Herdern-1, Berlingen-1 und Kreuzlingen-1 (Nordostschweiz) und seine Beziehung zu den gleichaltrigen Schichten im Nordjura

RETO M. BURKHALTER^{1,2}, HANS-RUDOLF BLÄSI¹ & SUSANNE FEIST-BURKHARDT³

Key words: «Dogger β », Aalenian, northern Switzerland, facies, palynostratigraphy, sequence stratigraphy, sedimentation rates, isopach map

ZUSAMMENFASSUNG

Die lithostratigraphische Einheit «Dogger β » (oberes Aalénien) der Bohrungen Herdern-1, Berlingen-1 und Kreuzlingen-1 (Kanton Thurgau, Nordostschweiz) besteht aus einer unterschiedlichen Anzahl von «shallowing upward»-Parasequenzen aus Ton- und Sandstein, wobei jedes Sandsteinintervall einen geringmächtigen Sedimentkörper («offshore bar» oder Sanddecke) repräsentiert. Im Dach jeder Parasequenz, z. T. auch innerhalb derselben, treten Aufarbeitungshorizonte auf, die während kurzfristiger Omissionsphasen gebildet wurden. Die durchschnittliche Sedimentationsrate der «Dogger- β »-Parasequenzen lag zwischen 17 und 23 m/Ma. Die palynologische Analyse zeigt einen deutlichen terrigenen Einfluss aus Richtung E bis NE; aufgearbeitete Pollen und Sporen weisen zudem auf die Erosion von karbonischen und triassischen Gesteinen im Liefergebiet hin.

Die palynostratigraphische Datierung weist die «Dogger- β »-Sedimente in die Opalinum- bis Murchisonae-Zone. Die Untergrenze wird nach sequenzstratigraphischen Kriterien definiert; sie liegt in der Comptum-Subzone (obere Opalinum-Zone). Die Concavum-Zone (oberstes Aalénien) konnte in keiner der drei Bohrungen nachgewiesen werden. Sie dürfte zusammen mit unterschiedlichen Anteilen des unteren Bajociens im Kondensationshorizont im Hangenden des «Dogger β » enthalten sein. Zusammen mit der variablen Anzahl von «Dogger- β »-Parasequenzen, die jeweils auch chronostratigraphische Einheiten darstellen, bedeutet dies, dass der Zeitabschnitt zwischen spätem Aalénien und frühem Bajocien, wie fast überall in der Nordschweiz, nur zum kleinen Teil durch nicht kondensiertes Sediment überliefert ist.

Die regionale Isopachenkarte der «Dogger- β »-Sedimente und ihrer lateralen Äquivalente zeigt eine SW-NE-orientierte Hochzone mit geringmächtigen Ablagerungen, die sich vom Berner Jura zum Südschwarzwald erstreckt. Sie ist von Depotzentren umrahmt, in denen vorwiegend Sand zur Ablagerung kam. Ein weiteres Depotzentrum mit vorwiegender Sandsedimentation erstreckt sich vom Bodenseegebiet Richtung NE (Schwäbisches Becken). Als Sedimentquellen dürften sowohl der Vindelizische Rücken als auch die Rheinische Masse in Frage kommen.

ABSTRACT

The lithostratigraphic unit «Dogger β » (upper Aalenian) of the Herdern-1, Berlingen-1 and Kreuzlingen-1 boreholes (northeastern Switzerland) is composed of a varying number of shallowing-upward claystone-sandstone parasequences. Each sandstone interval represents a thin sediment body (offshore bar or sand sheet). The parasequences are capped by reworked horizons, which were formed during short phases of non-deposition. In some instances reworked horizons also occur within a parasequence. The average sedimentation rate of «Dogger β » parasequences was 17 to 23 m/Ma. Palynological analysis revealed a marked terrigenous influence from a (north-)easterly direction; additionally, reworked pollen and spores point to erosion of Carboniferous and Triassic sedimentary rocks in the hinterland.

The «Dogger β » sediments were dated as Opalinum to Murchisonae zones using palynostratigraphy. Their lower boundary, defined on a sequence-stratigraphic basis, is situated within the Comptum subzone (upper Opalinum zone). The Concavum zone (uppermost Aalenian) could not be identified in any of the three cores. It is thought to be contained, together with variable portions of the lower Bajocian, in a condensed section overlying the «Dogger β ». This condensed section and the varying number of «Dogger β » parasequences, each of which is a chronostratigraphic unit, mean that the non-condensed stratigraphic record of the late Aalenian and earliest Bajocian is very incomplete, a feature that can be observed throughout most of northern Switzerland.

The regional isopach map of the «Dogger β » and its lateral equivalents depicts a SW-NE-oriented high, thinly covered with sediment, extending from the Bernese Jura to the southern Black Forest. It is surrounded by depocenters where mainly sand was deposited. A further sandy depocenter extends from the Lake Constance area to the NE (Swabian Basin). Sediment is interpreted to originate both from the Vindelician High and the Rhenish Massif.

1. Einleitung

Die Ausbisslinie der Einheiten mit Aalénien-Alter verläuft zwischen dem Ostende des Juras und dem Randengebiet mehr oder weniger geradlinig und ist weitgehend von Quartärablagerungen bedeckt. Die spärlichen Oberflächenaufschlüsse vermitteln deshalb nur ein lückenhaftes und auf einen schmalen

Geländestreifen beschränktes Bild von Fazies und Stratigraphie dieser Schichten. Dank der Tiefbohrungen der SEAG (Aktiengesellschaft für Schweiz. Erdöl) und der Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) in den Kantonen Thurgau und Zürich ist es jedoch möglich, ihre räumliche Entwicklung in diesem Gebiet zu erfassen.

1 Geologisches Institut, Universität Bern, CH-3012 Bern

2 Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern

3 Geologisch-Paläontologisches Institut, Technische Hochschule Darmstadt, D-64287 Darmstadt

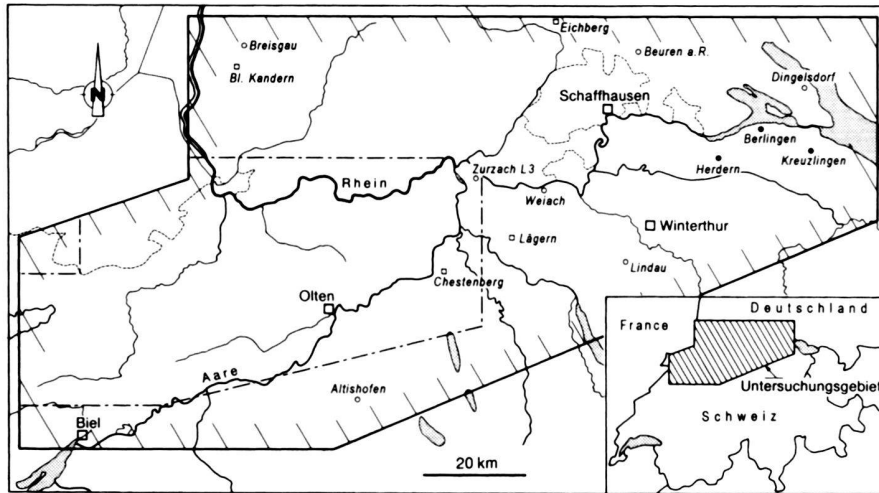


Fig. 1. Lage der drei untersuchten Bohrungen (schwarze Punkte) sowie des erweiterten Untersuchungsgebietes (schraffierter Rand) mit den für die Konstruktion der Isopachenkarte (Fig. 11) verwendeten Bohrungen (Kreise) und Oberflächenaufschlüssen (Quadrate). Siehe Burkhalter (1996) für die innerhalb des strichpunktirt umrandeten Gebietes liegenden Datenpunkte.

Die vorliegende Arbeit fasst Teilergebnisse eines Forschungsprojektes am Geologischen Institut der Universität Bern zusammen. Der «Dogger β » der drei Bohrungen Herdern-1, Berlingen-1 und Kreuzlingen-1 (Fig. 1, Tab. 1) wird detailliert beschrieben und mittels Palynomorphen biostratigraphisch datiert. Zusammen mit Literaturdaten aus weiteren nordostschweizerischen und süddeutschen Bohrungen sowie den Resultaten der stratigraphischen Neubearbeitung seines Äquivalents im nördlichen Schweizer Jura (Burkhalter 1993) folgt im abschliessenden Kapitel ein Beitrag zur Rekonstruktion der Paläogeographie des Gebietes zwischen Ajoie und Bodensee während des späten Aaléniens.

2. Definition des Dogger β , Synonyme

Der Name Dogger β ist eigentlich eine Mischung aus der in Süddeutschland verwendeten Quenstedt-Nomenklatur (Brauner Jura bzw. Braunjura α bis ζ) und der in Mitteleuropa verbreiteteren, auf Opper zurückgehenden Gliederung des Jura-Systems (Lias, Dogger, Malm).

Im chronostratigraphischen Sinn entspricht der Dogger β dem oberen Teil des Aaléniens. Er umfasst die Comptum-Subzone (oberste Subzone der Opalinum-Zone), die Murchisonae-Zone und die Concavum-Zone (Tab. 2; s. a. Burkhalter 1996).

Die lithostratigraphische Einheit «Dogger β » hat regional unterschiedliche Bezeichnungen: «Eisensandstein» in der Ostalb und im deutschen Alpenvorland, «Ludwigienton» in der Westalb, «Murchisonae-Oolith» (inkl. Concavum-Zone) im südlichen Oberrheingraben (Geol. Landesamt Baden-Württemberg 1995) und «Murchisonae-Concava-Schichten» (Bläsi 1987) im Schweizer Jura. Weitere Synonyme sowie Untereinheiten sind u. a. in Weber (1964), Geyer & Gwinner (1986), Geol. Landesamt Baden-Württemberg (1995) und Burkhalter (1996) aufgeführt. Die Murchisonae-Concava-

Tab. 1. Lage der Bohrungen und Teufe der untersuchten Kernabschnitte.

Bohrung	Jahr	Koordinaten	Kote OKT [m ü. M.]	Basis Dogger β Teufe [m]	Top Dogger β Teufe [m]	Mächtigkeit Dogger β [m]
Kreuzlingen-1	1962	729.201/276.169	538	2173,31	2150,40	22,91
Berlingen-1	1964	719.685/280.195	593	1909,96	1885,85	24,11
Herdern-1	1981/82	711.308/274.597	527	1726,85	1711,59	15,26

Tab. 2. Stratigraphische Stellung und Gliederung des untersuchten Intervalls.

Gliederung Nordjura (neu)		Gliederung Nordjura (alt) und angrenzende Gebiete	Quenstedt-Gliederung (S-Deutschland, NE-Schweiz)	Biozonen -subzonen	Stufen
Passwang-Alloformation (p.p.)			Dogger γ (Braunjura γ)	Sauzei	unteres Bajocien (p.p.)
	Hirnichopf-Sch.	Sowerby-Schichten		Laeviuscula	
	Hauenstein-Schichten	Murchisonae-Concava-Schichten	Dogger β (Braunjura β)	Concavum	Aaléniens
	Sissach-Schichten			Murchisonae	
Opalinus-Ton		Dogger/Braunjura α	Comptum	Opalinum	

Schichten wurden als allostratigraphische Einheit neu definiert und in Sissach-Schichten und Hauenstein-Schichten (Untereinheiten der Passwang-Alloformation) umbenannt (Burkhalter 1996). Die Sissach-Schichten entsprechen den Murchisonae-Schichten s. str., die Hauenstein-Schichten den Concava- bzw. Concavum-Schichten.

Der Einfachheit halber wird für die untersuchte stratigraphische Einheit der bereits von Büchi et al. (1965) verwendete

Name «Dogger β» beibehalten, zumal die schwäbische Fazies vorliegt. Eine Benennung der einzelnen Sandsteinabschnitte wie in den Bohrungen nordöstlich des Bodensees (Schneider 1962, s. a. Weber 1964) wird wegen der lateralen Variabilität der Schichten und der grossen Korrelationsdistanzen nicht vorgenommen. Da im «Dogger β» der drei Bohrungen die Concavum-Zone fehlt oder stark kondensiert ist (Kap. 7.4), wird der Name dort in Anführungszeichen gesetzt, wo er im lithostratigraphischen Sinn, d.h. für die nichtkondensierten Ablagerungen aus der Dogger-β-Zeit, verwendet wird.

3. Bisherige Arbeiten im Gebiet der Nordostschweiz

Erdöl- und Erdgasfunde im süddeutschen Molassebecken und dessen mesozoischem Untergrund (Geyer & Gwinner 1986) veranlassten Ende der fünfziger, anfangs der sechziger Jahre die SEAG zur Durchführung einer Explorationskampagne im schweizerischen Mittelland (Hauber 1961, Büchi 1971). In diesem Rahmen wurden 1962 und 1964 in der Nordostschweiz die Bohrungen Kreuzlingen, Berlingen und Lindau abgeteuft; in letzterer wurde der «Dogger β» nicht gekernt. Büchi et al. (1965) parallelisierten die Fazies des «Dogger β» in Berlingen und Kreuzlingen mit derjenigen auf deutscher Seite des Bodensees (Schneider 1962) und bestätigten damit die Hypothese Trümpys (1959) zur Ausbildung des oberen Aaléniens im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens.

1981/82 wurde die Bohrung Herdern in einer weiteren Prospektionsphase der SEAG abgeteuft (Büchi 1982). Stratigraphische Ergebnisse wurden damals keine veröffentlicht.

Als Teil des Untersuchungsprogrammes der Nagra zur Standortwahl eines Endlagers wurde 1983 die Bohrung Weiach abgeteuft (Matter et al. 1988a). Bläsi (1987) fasste die den Dogger, insbesondere den Opalinus-Ton und das obere Aaléniens betreffenden Resultate der drei Nagra-Bohrungen Weiach, Schafisheim und Riniken zusammen und korrelierte die Bohrprofile mit Profilen im Aargauer Jura und im Randengebiet.

4. Untersuchungsmethoden

- Die untersuchten Kernabschnitte wurden detailliert aufgenommen und mikrofaziell analysiert. Die mittlere Korngrösse des siliziklastischen Detritus (Korngrössen > 20 µm) wurde durch Auszählen von 150–200 Körnern pro Schliff bestimmt.
- Die Lithologie fehlender Kernabschnitte wurde mit Hilfe der petrophysikalischen Logs (Gamma Ray, Sonic und elektrischer Widerstand) interpretiert.
- Aus den bearbeiteten Intervallen der drei Bohrungen wurden 21 Proben palynostratigraphisch datiert und Ammoniten-Zonen zugeordnet. Die palynologische Aufbereitung der Proben erfolgte nach der üblichen Präparationsmethode mit HCl, HF und Schwerentrennung. Der Rückstand wurde bei einer Maschenweite von 15 µm gesiebt und anschliessend mit HNO₃ oxidiert.

5. Fazies

5.1 Einleitung

Der «Dogger β» der drei Bohrungen Herdern, Berlingen und Kreuzlingen besteht aus «shallowing upward»-Parasequenzen, die generell aus der Abfolge Tonstein – sandflaseriger Tonstein – tonflaseriger Sandstein bestehen. Im Dach und teilweise auch innerhalb der Parasequenzen treten intraklastenreiche, z.T. eisenoolithische Aufarbeitungshorizonte auf.

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff Parasequenz etwas weiter gefasst als von Van Wagoner et al. (1988, 1990) definiert; er umfasst sowohl Parasequenzen s. str. als auch «fourth-order sequences» (Van Wagoner et al. 1990) bzw. «high-frequency sequences» (Mitchum & Van Wagoner 1991) und bezieht sich auf sedimentäre Zyklen, die durch Meeresspiegelschwankungen 4. und 5. Ordnung (ca. 0,5–1 bzw. 0,02–0,1 Ma; Quellenangaben in Burkhalter 1993, s. a. Miall 1997) verursacht wurden. Für weiter gehende Erläuterungen sei auf Burkhalter (1996), für Synonyme des Begriffs u. a. auf Homewood et al. (1992) verwiesen.

5.2 Beschreibung

5.2.1 Tonsteine

Schwarzgraue, siltige bis feinsandige Tonsteine («mudstones»), selten leicht biodetritus- und glimmerhaltig, mit vereinzelt hellgrauen, mm- bis cm-dicken Grobsilt- und Feinsandsteinlinsen und -laminae. Im Hangenden des «Dogger β» z. T. etwas mergelig, Schwach verwühlt. Wenige lagige, unscharf begrenzte sideritische Areale sowie kleine Pyritkonkretionen. Mittlere Korngrösse des terrigenen Quarzes: ca. 50–75 µm.

5.2.2 Sandflaserige Tonsteine

Diese Fazies (Fig. 2), auch «Sandflaserschichten» genannt (Werner 1959), zeigt einen fließenden Übergang aus den Tonsteinen bzw. in die tonflaserigen Sandsteine; eine genaue Abgrenzung ist deshalb nicht möglich. Gegenüber den Tonsteinen ist der Silt- bzw. Feinsandgehalt erhöht, sowohl durch diffuse Verteilung in toniger Matrix als auch durch nach oben häufigeres Auftreten und grössere Dicke von Einschaltungen in Form von Linsen und Schmitzen («Linsen-» und «Flaserschichtung», z. B. Rogowski 1971). Bei einem Grossteil davon handelt es sich um Wühlgangfüllungen oder durch Verwühlung und differentielle Kompaktion zwischen ton- und sandreichem Sediment deformierte primäre Strukturen. Klar identifizierbare primäre Sedimentstrukturen wie Rippeln, ebene Feinschichtung im mm-Bereich oder gradierte Lagen sind eher selten. Die Bioturbation ist mässig stark; schwach verwühlte und völlig bioturbirte Lagen wechseln sich ab. Von den Ichnofossilien konnten *Thalassinoides* isp., «*Cylindrichnus*» isp. sensu Fürsich (s. Uchman & Krenmayr 1995) und *Chondrites* isp. identifiziert werden. Vereinzelt treten z. T. unscharf begrenzte Sideritkonkretionen von bis zu 5 cm Durchmesser, seltener kleine Pyritkonkretionen auf.

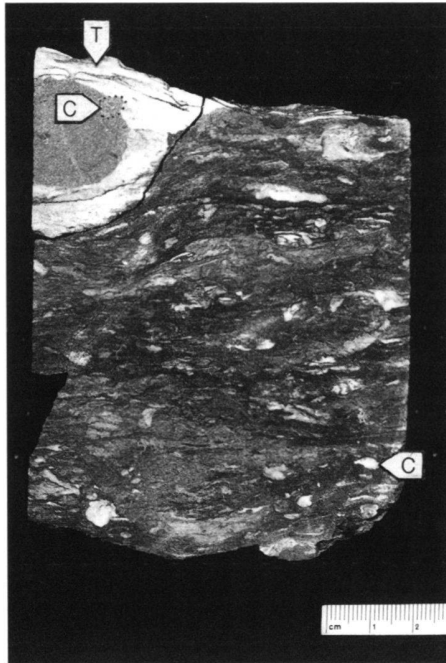


Fig. 2. Sandflaseriger Tonstein mit zahlreichen Exemplaren von ?«*Cylindrichnus*» isp. (C). Links oben *Thalassinoides* isp. (T) mit Pyritkonkretion. Bohrung Herdern-1, 1726.02 m. Gesägte Probe.

5.2.3 Tonflaserige Sandsteine

Hellgraue, schwach kalkige bis kalkfreie, mehr oder weniger tondurchsetzte Feinsandsteine (Fig. 3). Der Feinsand, dessen mittlere Korngrösse zwischen ca. 75 und 125 μm variiert und nach oben zunimmt, ist sehr gut sortiert. Im cm- bis dm-Bereich lässt sich eine unregelmässige, durch Bioturbation verwechelte Wechsellagerung von tonreicherem und -ärmerem Sediment erkennen. Prägendes Merkmal der Sandsteine ist ihre starke Durchwühlung. Im Gegensatz zu den sandflaserigen Tonsteinen ist die vertikale Verteilung der Bioturbation homogen. An Ichnofossilien treten auf: *Thalassinoides* isp. mit einem Durchmesser der Gänge bis zu 3 cm, «*Cylindrichnus*» isp., *Phycosiphon* isp. (s. Wetzel & Bromley 1994), *Chondrites* isp., seltene Exemplare von *Rosselia socialis* DAHMER (schriftl. Mitt. A. Wetzel, Basel) sowie einige nicht näher bestimmte Wühlspuren. Die folgenden primären Sedimentstrukturen sind zu finden: oft gradierte, mm- bis cm-dicke Feinsandsteinlagen, z. T. mit scharfer Basis, daneben selten kleine Strömungs- und Wellenrippeln und isolierte, cm-dicke, auf kurze Distanz ausgeilende Feinsandsteinlinsen ohne diagnostische Internstruktur. Abschnittsweise kommen zahlreiche diffus begrenzte, lagige oder rundliche Siderit- sowie vereinzelte Pyritkonkretionen vor.

Aufgrund ihrer Zusammensetzung lassen sich die Sandsteine nach Folk (1974) als Subarkosen bezeichnen. Ihre klastischen Komponenten setzen sich grösstenteils aus monokristallinen Quarzen zusammen, Feldspäte (vorwiegend K-Fsp.) und

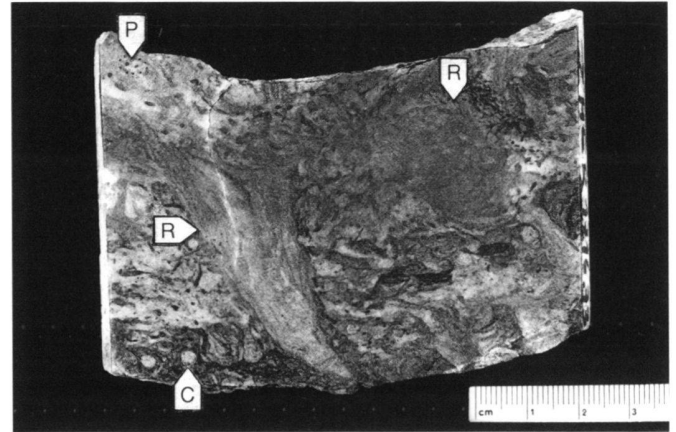


Fig. 3. Tonflaseriger Sandstein mit zwei Exemplaren von *Rosselia socialis* DAHMER (R). Daneben *Phycosiphon* isp. (P), «*Cylindrichnus*» isp. (C) und *Chondrites* isp. Bohrung Herdern-1, 1716.73 m. Gesägte Probe.

Gesteinsbruchstücke sind dagegen nur untergeordnet vorhanden. Polykristalline Quarze bilden den Hauptanteil der Gesteinsbruchstücke; daneben finden sich untergeordnet auch Metamorphite, Sand- und Tonsteinklasten, saure Vulkanite und Karbonatklasten. Zusätzlich treten detritischer Muskovit und Biotit in geringer Menge auf. Als Schwerminerale sind Turmalin, Zirkon sowie vereinzelt Anatas und nicht identifizierte opake Klasten vorhanden. Die Matrix ist sehr inhomogen; sie besteht aus eisenkalzitischem Pseudosparit und z. T. Ankerit und schlierig verteilten tonigen Lagen (Illit, Illit/Smectit, Chlorit, Kaolinit in stark wechselnder Zusammensetzung) (s. Burkhalter & Hartmann 1994).

5.2.4 Aufarbeitungshorizonte

Die Fazies der Aufarbeitungshorizonte ist mit derjenigen der «Konglomeratlagen» und «konglomeratischen Dachbänke» in der östlichen Schwäbischen Alb (z. B. Werner 1959, Weber 1964) vergleichbar. Es handelt sich um durchschnittlich 10–15 cm mächtige Bänke mit wechselndem Gehalt an matrixgestützten, cm-grossen Lithoklasten in einer mehr oder weniger kalkigen oder tonigen, partiell sideritisierten Grundmasse.

Nebst den meist vorherrschenden Lithoklasten treten in der Grundmasse variable Anteile von Silt bzw. Feinsand, chamositische oder durch Fe-Kalzit ersetzte Eisenooide sowie meist feiner Biodetritus auf (Bruchstücke von z. T. angebohrten Bivalven, Echinodermen, benthische Foraminiferen und Gastropoden, selten Ammoniten, Serpuliden, Bryozoen sowie Schwammbruchstücke). Der Biodetritus ist im allgemeinen kaum abradert.

Die Lithoklasten sind meist gut bis sehr gut gerundet, vorwiegend sphärisch bis scheibenförmig und haben eine mittlere Korngrösse um 1 cm; der grösste beobachtete Klast misst 9 cm (Tab. 3). Sie bestehen zum weitaus grössten Teil aus kalkig gebundenen Sandsteinen. Weniger häufig sind biodetritusführende oder matrixreiche Sandkalke und Mikrite. Selten treten

Tab. 3. Die Aufarbeitungshorizonte in den untersuchten Kernabschnitten. KH = Kondensationshorizont, OD, RD = Omissions-, Regressionsdiskontinuität «Stromatolith»: inkl. Hartgrund. Tst = Tonstein, sT = sandflaseriger Tonstein, Sst = tonflaseriger Sandstein.

Bohrung, Horizont	Mächtigkeit [cm]	Fazies Liegendes	Fazies Hangendes	Intraklasten	Maximale Korngrösse Lithoklasten [cm]	Umkrustung, Anbohrung	Hartgrund, Stromatolithen	Interpretation
Herdern								
Her D ₃	10	Tst	Tst	ja	5,5	teilweise	Hartgrund	OD, KH
Her D ₂	39	Sst	Tst	ja	2	teilweise	—	OD, KH
Her D ₁	10	Sst	Sst	ja	4,1	—	—	Event Bed
Her C	7	Tst	sT	—	—	—	—	RD
Her B	10	Tst	Tst	—	0,8	—	—	OD?, Event B.?
Her A	15	Tst	Tst	—	3	—	Stromatolith	OD
Berlingen								
Ber E	12	Tst	Tst	ja	5	—	Hartgrund	OD
Ber D	17	Sst	Tst	ja	9	teilweise	Stromatolith	OD
Ber C	9	Tst	sT	—	8	?	—	(RD)
Ber B	33	Sst	Tst	ja	1	teilweise	—	OD
Ber A	11	Tst	sT	—	3	teilweise	—	RD
Kreuzlingen								
Kre G ₃	5,5	Tst	Tst	—	—	—	Stromatolith	KH
Kre G ₂	?	?	Tst	?	0,5	ja	—	OD/KH
Kre G ₁	?	Sst	?	—	5	ja	—	OD
Kre F ₂	5	Sst	sT	ja	1	—	—	OD
Kre F ₁	12	Sst	Sst	ja	5	ja	—	Event Bed
Kre E	12	sT	Sst	—	1,5	teilweise	—	RD?
Kre D	11	Sst	Tst	ja	3	ja	—	OD
Kre C ₂	14	Sst	sT	ja	6	—	—	OD
Kre C ₁	8	Sst	Sst	ja	2	—	—	Event Bed
Kre B	16	Sst	Tst	ja	4	ja	—	OD
Kre A	6	Tst	sT	—	4	—	—	RD

Konglomeratklasten mit gut gerundeten Sandsteinklasten in einer lithologisch identischen Matrix («Aggregatknollen», Werner 1959) auf sowie Klasten, denen Reste von eisenooxidführender Matrix anhaften. Schliesslich sind die Einzelfunde eines minetteähnlichen Eisenooliths (vgl. Burkhalter 1996; Aufarbeitungshorizont Kre G₁, Fig. 8) und eines Gastropoden-Biosparits (Kre F₁) zu nennen. In Aufarbeitungshorizonten im Hangenden von Sandsteinen treten z. T. Sandsteinklasten auf, deren mittlere Quarzkorngrösse Werte erreicht, die im Liegenden nicht vorkommen (z. B. Her D₂, Fig. 6).

Ein Teil der Lithoklasten zeigt randliche Verfärbung, Anbohrung oder dünne mikrobielle Umkrustung aus Eisenkalzit, der ursprünglich vorhandenen Chamosit ersetzt haben dürfte. Eigentliche Onkoide, d. h. Lithoklasten mit dickerem Bewuchs, sind selten.

Die Aufarbeitungshorizonte sind meist verwühlt. In einigen Fällen lässt sich jedoch eine scharfe untere und obere Begrenzung, eine subhorizontale Einregelung flacher Klasten sowie eine reliktsche Gradierung erkennen (Fig. 4), die bei

mächtigeren Aufarbeitungshorizonten (z. B. Her D₂) auch mehrfach sein kann. Hartgründe treten, mit Ausnahme von Her A, im Dach des Kondensationshorizontes über dem «Dogger β» bzw. in dessen Hangendem auf. In zwei Horizonten (Her A und Kre G₃) sind sie von Stromatolithen aus Eisenkalzit und Pyrit (wohl ursprünglich Chamosit, vgl. Burkhalter 1995) überwachsen.

Jede «Dogger-β»-Parasequenz wird durch einen Aufarbeitungshorizont, eine sogenannte Dachbank (z. B. Bayer et al. 1985), abgeschlossen. Zudem können Aufarbeitungshorizonte in folgenden beiden Positionen innerhalb einer Parasequenz auftreten: (1) an der scharfen Basis des Sandsteinintervalls, d. h. über Tonsteinen oder sandflaserigen Tonsteinen und gefolgt von Sandsteinen sowie (2) innerhalb des Sandsteinintervalls (Fig. 4). Letztere treten meist in geringem vertikalen Abstand unterhalb von Dachbänken auf. In der Bohrung Herdern liegen ausserdem zwei – allerdings zum Opalinus-Ton gestellte – Aufarbeitungshorizonte vor (Her A u. B), die von Tonsteinen unter- und überlagert werden.



Fig. 4. Event-Bed: (Sehr) gut gerundete Sandsteinklasten in einer Matrix aus tonflaserigem Sandstein. Einige der Klasten sind randlich verfärbt (Oxidationssäume?). Trotz der Verwühlung lässt sich eine leichte Gradierung erkennen. Horizont Her D₁, Bohrung Herdern-1, 1712,35 m. Gesägte Probe.

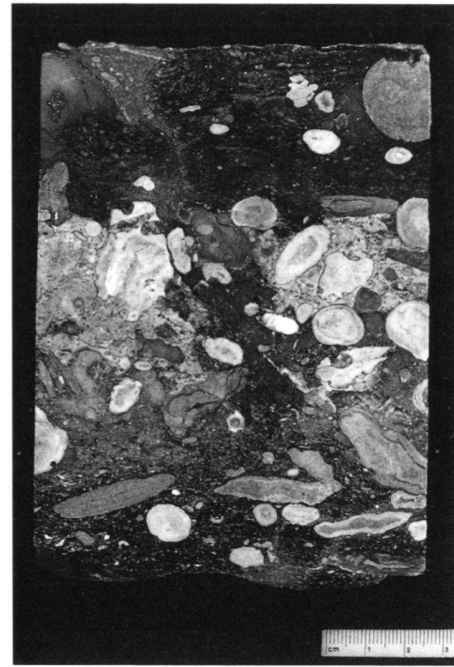


Fig. 5. Hartgrund am Top des Kondensationshorizonts Her D₃, bestehend aus einer bis 3,5 cm dicken, diskontinuierlichen Lage aus leicht sandigem, eisen-oolithischem Mikrit mit Lithoklasten. Bohrung Herdern-1, 1711,43 m. Anschliff.

Generell sind die Dachbänke etwas mächtiger als die übrigen Aufarbeitungshorizonte (Tab. 3). Zudem treten Hartgründe (Fig. 5) und Stromatolithen ausschliesslich, mehrfache Gradierung mehrheitlich in Dachbänken (bzw. Kondensationshorizonten, Kap. 5.3.4) auf. Ansonsten hängt die fazielle Ausbildung der Aufarbeitungshorizonte, mit Ausnahme des vom Liegenden beeinflussten Klastenspektrums, nicht von ihrer Stellung innerhalb einer Parasequenz ab.

5.3 Interpretation

5.3.1 Tonsteine

Die Tonsteine wurden unter generell ruhigen Verhältnissen unterhalb der Sturmwellenbasis bzw. jenseits des Einflusses sturminduzierter Strömungen abgelagert. Im Bereich des Untersuchungsgebietes kann für das Aalénien und Bajocien von einer Tiefe der Sturmwellenbasis von etwa 20 bis 30 m ausgegangen werden (Gonzalez 1993, Allia & Wetzel 1995). Bioturbation und Sideritkonkretionen (Spears 1989) zeigen an, dass im obersten Bereich des Sedimentes mindestens zeitweise aerobe Bedingungen herrschten.

5.3.2 Sandflaserige Tonsteine

Die hangendwärts zunehmenden Sandeinschaltungen in den sandflaserigen Tonsteinen, insbesondere die gradierten Lagen, belegen den Eintrag von grobkörnigerem Material durch

höher energetische Ereignisse in ein nach wie vor generell ruhiges Ablagerungsmilieu mit vorherrschender Tonsedimentation. Sie werden als distale Event-Beds (Tempestite) interpretiert und weisen zusammen mit den reliktsch erhaltenen Rippeln auf eine Ablagerungstiefe wenig oberhalb der Sturmwellenbasis hin. Die sandigen Wühlgangfüllungen sind durch die Auswaschung des Feinanteils durch wühlende Organismen («biowinning», Bromley 1990) entstanden. Die vertikal schwankende Intensität der Verwühlung deutet auf fluktuierende ökologische Faktoren (Sedimentationsrate, Durchlüftung, Nahrungsangebot, möglicherweise auch Salinität) im Ablagerungsraum hin.

5.3.3 Tonflaserige Sandsteine

Die starke Bioturbation der tonflaserigen Sandsteine dokumentiert vorherrschend ruhige hydrodynamische Bedingungen bei einer geringen Sedimentationsrate. Im Vergleich zu den gleichaltrigen Sandkalken im Jura sind die tonflaserigen Sandsteine jedoch weniger stark durchwühlt, was zusammen mit dem fehlenden Biodetritus als Hinweis auf etwas weniger günstige Lebensbedingungen für die entsprechenden Organismen (möglicherweise zeitweilig erniedrigte Salinität; vgl. Aldinger 1968) gedeutet werden kann. Die wenigen erhaltenen primären Sedimentstrukturen zeigen auch hier periodischen Sandtransport durch sturminduzierte oder -verstärkte Strömungen an. Das Sand/Ton-Verhältnis und die mittlere Korn-

grösse des Sandes nehmen nach oben zu, was zusammen mit dem Auftreten vertikaler Wühlgänge auf eine allmählich sich vermindernde Ablagerungstiefe hinweist. Als Wassertiefe bei der Ablagerung der tonflaserigen Sandsteine wird der Bereich zwischen Sturm- und Schönwetterwellenbasis angenommen. Die gute Sortierung des Feinsandes ist einerseits durch intermittierenden Transport zu erklären, der ein «progressive sorting» (Swift et al. 1991) zur Folge hat, andererseits durch eine gute Vorsortierung im Liefergebiet, sei es durch mehrfache Umlagerung oder tiefgreifende Verwitterung (Aldinger 1953). Aufgrund der ähnlichen Fazies und insbesondere der guten Sortierung und des gleichen Korngrössenspektrums des Feinsandes ist anzunehmen, dass die tonflaserigen Sandsteine des «Dogger β» wie die gleichaltrigen Sandkalke im Jura sich als uniforme, sehr flache Sedimentkörper bzw. Sedimentdecken erstrecken. Ob es sich dabei, wie teilweise im Jura auch, um Füllungen von bezüglich der Umgebung rascher subsidierenden Gebieten handelt (Burkhalter 1996) ist fraglich; die zu geringe Aufschlussdichte lässt es nicht zu, Hinweise hierfür zu finden, wie z. B. den abrupten Übergang in Kondensationshorizonte. Wahrscheinlicher scheint deshalb, dass die tonflaserigen Sandsteine der drei Bohrungen wie ihre Äquivalente in der Schwäbischen Alb und im Untergrund des süddeutschen Molassebeckens als Sedimentkörper mit positivem Relief abgelagert wurden (Wild 1951, Aldinger 1953, 1968, Bayer & McGhee 1985, vgl. auch Bloos 1976).

5.3.4 Aufarbeitungshorizonte

Die überwiegende Mehrheit der Lithoklasten in den Aufarbeitungshorizonten sind «Dogger-β»-Gesteine. Es handelt sich dabei, in Analogie zu ähnlichen Klasten in Eisenoolithhorizonten im Jura und in den «Konglomeratlagen» in der Schwäbischen Alb, um exhumierte, frühdiagenetisch zementierte, primär sphärische (und deshalb nicht unbedingt transportgerundete) Konkretionen aus dem Liegenden des jeweiligen Aufarbeitungshorizonts (vgl. Werner 1959), d. h. um Intraklasten, die zu Lags konzentriert wurden. Die Lithologien der seltenen «exotischen» Klasten (minetteähnlicher Eisenoolith, Gastropoden-Biosparit) sind aus den Sissach-Schichten bekannt, treten aber auch dort nur selten auf (Burkhalter 1996).

Die Intraklasten dokumentieren somit zeitweilige Erosion im Ablagerungsraum des «Dogger β». Da Konkretionen bereits früh nach der Ablagerung des Sediments und deshalb unter geringer Bedeckung zu wachsen beginnen, dürfte die Erosion maximal einige Meter tief gereicht haben (Einsele 1985, Wetzel & Allia 1996). Besonders interessant sind die Sandstein-Intraklasten, deren mittlere Quarkorngrösse grösser ist als diejenige im liegenden Sandstein; sie zeigen an, dass das «coarsening upward» weiter ging, bevor die Aufarbeitung einsetzte.

Anbohrung, Umkrustung und randliche Verfärbung (Oxidationssäume?) zeigen eine lange Verweildauer der Intraklasten auf der Sedimentoberfläche und somit – zusammen mit den Eisenoolithen – eine stark verminderte Sedimentation an.

Auf noch ausgeprägtere Mangelsedimentation weisen Hartgründe und Stromatolithen.

Die Verwühlung bildet den hydrodynamisch ruhigen Normalzustand im Bildungsmilieu der Horizonte ab. Reliktisch erhaltene Gradierung weist auf Aufarbeitung und eventuellen kurzen Transport durch grundberührende Sturmwellen bzw. sturminduzierte Strömungen hin. Mehrfache Gradierung, allseitig umkrustete Klasten und insbesondere Konglomeratklasten zeigen wiederholte Aufarbeitung an.

Der bathymetrische Bereich der Bildungsmilieus der Aufarbeitungshorizonte dürfte zwischen Sturm- und Normalwellenbasis gelegen haben (Diskussion in Burkhalter 1996).

Ihre Position innerhalb von Parasequenzen lässt – durch den Vergleich mit den Sissach-Schichten im Jura – bei einer Mehrzahl der Aufarbeitungshorizonte weitere Rückschlüsse auf ihre Bildungsbedingungen zu. Die Dachbänke am Top der Parasequenzen entsprechen den Eisenoolithhorizonten an Omissionsdiskontinuitäten (OD, Burkhalter 1995) und dürften wie diese durch Omission («starvation») infolge eines raschen Meeresspiegelanstiegs gebildet worden sein.

Die Aufarbeitungshorizonte an der scharfen Basis des Sandsteinintervalls sind mit den Eisenoolithhorizonten an Regressionsdiskontinuitäten (RD, Burkhalter 1995) zu vergleichen. Diese wurden durch Mangelsedimentation infolge des Gleichgewichts zwischen Sedimentation und Erosion (Netto-Omission) während einer raschen Meeresspiegelabsenkung gebildet.

Bei beiden Diskontinuitätstypen hat, nebst dem durch Meeresspiegelschwankungen gesteuerten Rückgang der Sedimentzufuhr, die wiederholte Aufarbeitung des Sediments zu einem «winnowing» und somit zu einer Verminderung der Nettoakkumulation geführt. In dieser durch hochenergetische Ereignisse geprägten Art der Mangelsedimentation dürfte auch der Grund liegen, weshalb die Aufarbeitungshorizonte ärmer an Eisenoolithen sind als ihre Äquivalente im Jura (vgl. Burkhalter 1995).

Analog zu den Verhältnissen im Jura lag wohl auch hier die zur Bildung einer Diskontinuität bzw. eines Aufarbeitungshorizonts benötigte Dauer der Omissionsphase unterhalb der Schwelle des Auflösungsvermögens biostratigraphischer Datierungen. Beide Diskontinuitätstypen sind im Jura weitflächig verbreitet. In Bereichen, in denen länger anhaltende Omission herrschte, können sie, z. T. mit weiteren Diskontinuitäten, in biostratigraphisch dokumentierbaren Kondensationshorizonten zusammenfallen.

Bei den mit Dachbänken vergesellschafteten Aufarbeitungshorizonten handelt es sich um Event-Beds (Tempestite). Sie dokumentieren einen Transport von Material aus einem Bereich, in welchem Aufarbeitung und Mangelsedimentation früher eingesetzt hatten, in einen solchen, bei dem die Sedimentakkumulation noch nicht zum Stillstand gekommen war. Diese Verhältnisse deuten auf ein Relief im Ablagerungsraum. Die Vergesellschaftung von einzelnen Tempestitlagen mit z. T. mehrfach aufgearbeiteten Omissionsdiskontinuitäten (Dachbänken) dokumentiert den Grenzbereich der stratigraphischen

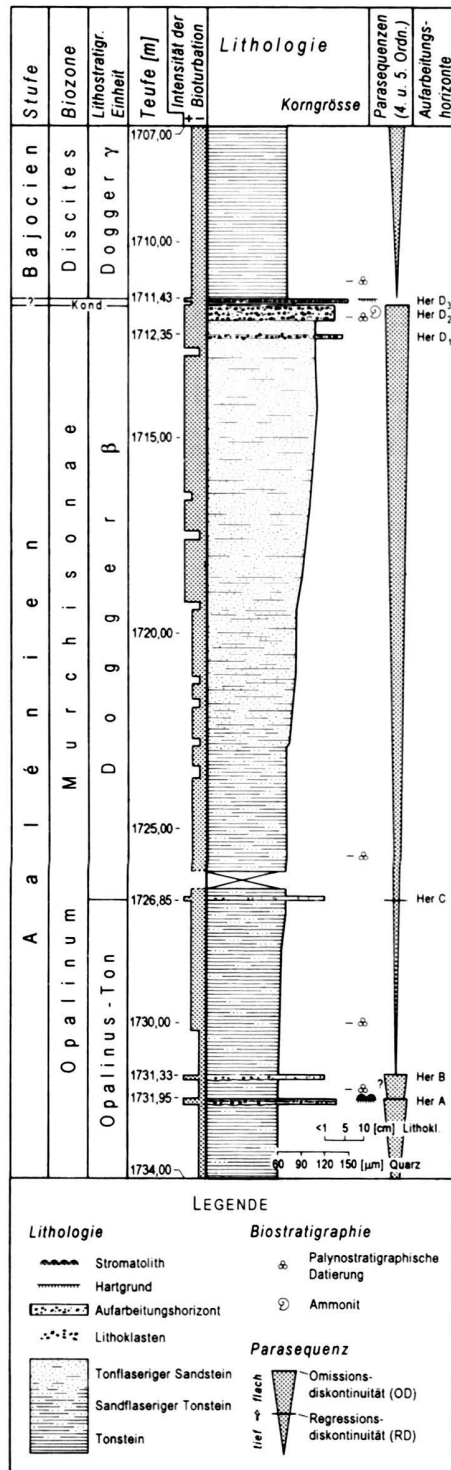


Fig. 6. Detailprofil «Dogger β», Bohrung Herdern-1.

Auflösung zwischen einzelnen Events und dem über längere Zeit vorherrschenden («time-averaged») Sedimentationsgeschehen.

Aus dem Rahmen fallen die beiden untersten Aufarbeitungshorizonte in der Bohrung Herdern. Her A entspricht den von Bläsi (1987) aus dem oberen Opalinus-Ton der zentralen Nordschweiz beschriebenen biomikritischen Bänken mit z.T. angebohrten Knollen, die als Dachbänke (OD) von hierarchisch untergeordneten (Kap. 5.1), nur aus Tonsteinen aufgebauten Parasequenzen interpretiert werden (Bläsi 1987, Burkhalter 1996). Bei Her B ist die Interpretation schwierig. Es könnte sich wie Horizont Her A sowohl um eine zweite Dachbank (vgl. Strasser et al. 1996) als auch um ein Event-Bed handeln.

5.3.5 Palynologische Resultate zum Ablagerungsraum

Die Proben aus dem Aalenien weisen einen hohen Anteil an Pollen und Sporen sowie Holz und Reste von pflanzlichem Gewebe auf. Dieser Anteil ist höher als in den gleichaltrigen Schichten am Eichberg und in der Bohrung Weiach (unveröff. Daten S. Feist-Burkhardt), was auf einen terrigenen Einfluss aus östlicher bis nordöstlicher Richtung hinweist. Im Bajocien lässt der terrigene Einfluss nach.

Aufgearbeitete Pollen und Sporen weisen auf Erosion von karbonischen und triassischen Sedimenten im Liefergebiet hin (Kap. 7.1.2).

6. Beschreibung der untersuchten Kernstrecken

Im Folgenden werden die Parasequenzen in den untersuchten Kernstrecken summarisch beschrieben (Fig. 6–8, Tab. 3). Die Strecken umfassen zusätzlich zum «Dogger β» noch kurze Abschnitte von dessen Liegendem und Hangendem. Die Beschreibung erfolgt jeweils von stratigraphisch unten nach oben.

6.1 Herdern-1 (Fig. 6)

1734,00–1731,95 m: Oberer Teil einer untergeordneten, nur aus Tonsteinen aufgebauten Parasequenz. Den Abschluss bildet eine leicht eisenoolithische Dachbank (OD, Her A), welche Klasten aus kalkigem Siltstein und Mikrit enthält und mit einem angebohrten Hartgrund und einer stromatolithischen Kruste endet.

1731,95–1731,33 m: Tonsteinlage mit einem darüber folgenden leicht eisenoolithischen Aufarbeitungshorizont (OD, evtl. auch Event-Bed; Her B). Wegen der unsicheren Interpretation von Her B (Kap. 5.3.4) bleibt offen, ob dieser Tonsteinabschnitt der unteren oder oberen Parasequenz zugeordnet werden muss oder ob es sich um eine eigenständige, untergeordnete Parasequenz handelt.

1731,33–1711,43 m: Diese Parasequenz beginnt mit einem 4,5 m mächtigen Tonsteinintervall, in welchem der Gehalt an detritischem Quarz, dessen mittlere Korngrösse im Bereich der Silt/Sand-Grenze liegt, nach oben zunimmt. Bei 1726,85 m folgt ein Aufarbeitungshorizont (RD, Her C), der als Besonderheit weder Klasten noch Eisenooide enthält. Aus diesem Horizont konnte ein korrodiertes Ammonitenbruchstück

(Vertreter der Unterfamilie der Hammatoceratinae) geborgen werden. Her C wird von einem 14,8 m messenden Abschnitt überlagert, der unten aus sandfaserigen Tonsteinen besteht, die nach 3–4 m fließend in tonfaserige Sandsteine übergehen. Die mittlere Korngrösse des Quarzes nimmt innerhalb dieses Intervalls von 70 auf 110 μm zu. Bei 1712,35 m ist ein Event-Bed (Her D₁, Fig. 4) eingeschaltet. Zwischen 1711,98 und 1711,43 m folgt eine als eigentlicher Geröllhorizont ausgebildete Dachbank (Her D₂ u. D₃), die mehrfach gradiert und im oberen Teil durch eine dünne Tonsteinlage unterbrochen ist. Her D₃ wird durch einen Hartgrund abgeschlossen (Fig. 5). Einige der in dieser Dachbank auftretenden Intraklasten haben eine mittlere Quarzkorngrösse von bis zu 130 μm , d.h. grösser als im liegenden Sandstein (Kap. 5.3.4). In Her D₂ wurde ein Bruchstück einer *Ludwigia (Brasilia)* sp. gefunden.

1711,43–1707,00 m: Basis der hangenden Parasequenz, bestehend aus leicht sandfaserigem Tonstein.

6.2 Berlingen-1 (Fig. 7)

In der Bohrung Berlingen fehlen infolge Kernverlusts zwei relativ lange Abschnitte des «Dogger β », und zwar von 1906,50–1901,50 und von 1895,50–1886,40 m. Mit Hilfe des geophysikalischen Logs, aus welchem die Verteilung von Ton- und Sandsteinen hervorgeht, sowie einzelnen Sandsteinbrocken kann die vertikale Faziesentwicklung jedoch abgeleitet werden.

1913,15–1900,80 m: Der aufgeschlossene Teil der unteren Parasequenz, deren Basis unterhalb der gekernten Strecke liegt, beginnt mit einer 3,2 m mächtigen Tonsteinfolge mit Siltsteinlinsen sowie Pyrit- und Sideritkongkretionen, die von einem Aufarbeitungshorizont (RD, Ber A) gefolgt wird, welcher neben Echinodermendetritus und vereinzelt Eisenooide vorwiegend Sandkalkklasten führt. Darüber liegen 8,8 m tonfaserige Sandsteine mit Siderit- und Pyritkongkretionen. In diesem Intervall nimmt die mittlere Quarzkorngrösse von ca. 80 auf 110 μm zu. Abgeschlossen wird die untere Parasequenz mit einer Dachbank (OD, Ber B), die überwiegend Intraklasten enthält.

1900,80–1885,85 m: Der untere Teil der folgenden Parasequenz besteht aus 3,2 m siltigen Tonsteinen mit Sideritkongkretionen; darüber liegt ein Aufarbeitungshorizont (RD, Ber C), der biodetritusreich ist und zahlreiche Sandsteinklasten sowie vereinzelte Eisenooide führt. Hangendwärts folgt ein 11,5 m mächtiger Abschnitt, der zuunterst aus sandfaserigen Tonsteinen besteht, die nach etwa 1,5 m in tonfaserige Sandsteine übergehen. In diesem Intervall nimmt die mittlere Quarzkorngrösse von ca. 90 auf 130 μm zu. Den Abschluss der Parasequenz bildet eine eisenoolithische Dachbank (OD, Ber D), an deren Top ein Hartgrund mit stromatolithischer Kruste ausgebildet ist und die als Besonderheit von einer 10 cm langen subvertikalen Spalte durchschlagen wird. Die Spaltenfüllung besteht aus grobem eisenkalzitischem Pseudosparit.

1885,85–1882,30 m: Parasequenz aus siltigen, glimmerführenden Tonsteinen bis -mergeln, die von einer 12 cm mächtigen

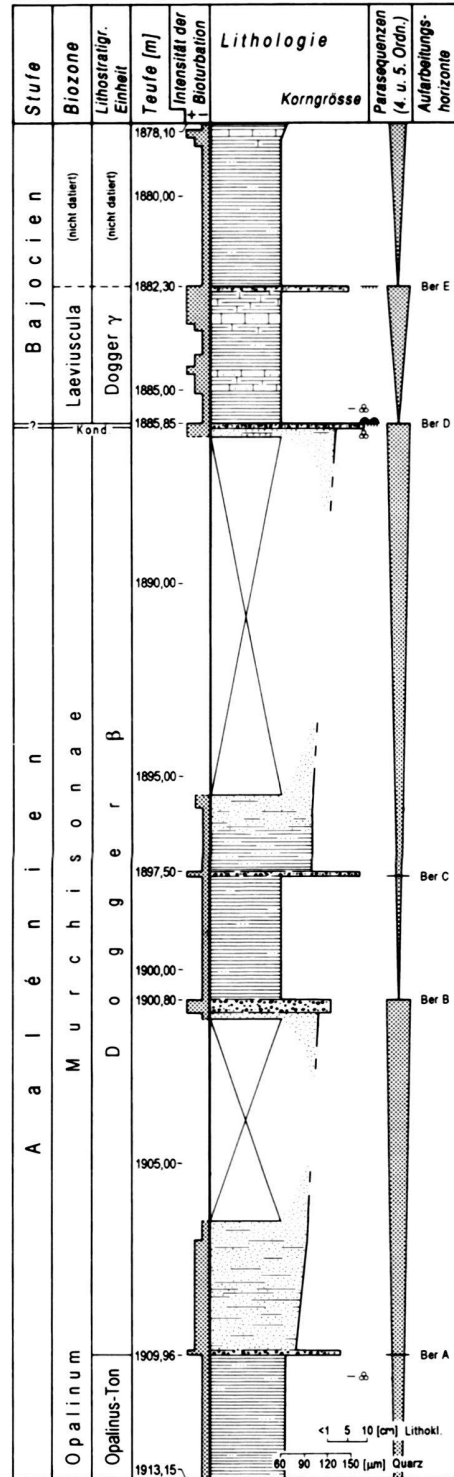


Fig. 7. Detailprofil «Dogger β ». Bohrung Berlingen-1 (Legende siehe Fig. 6).

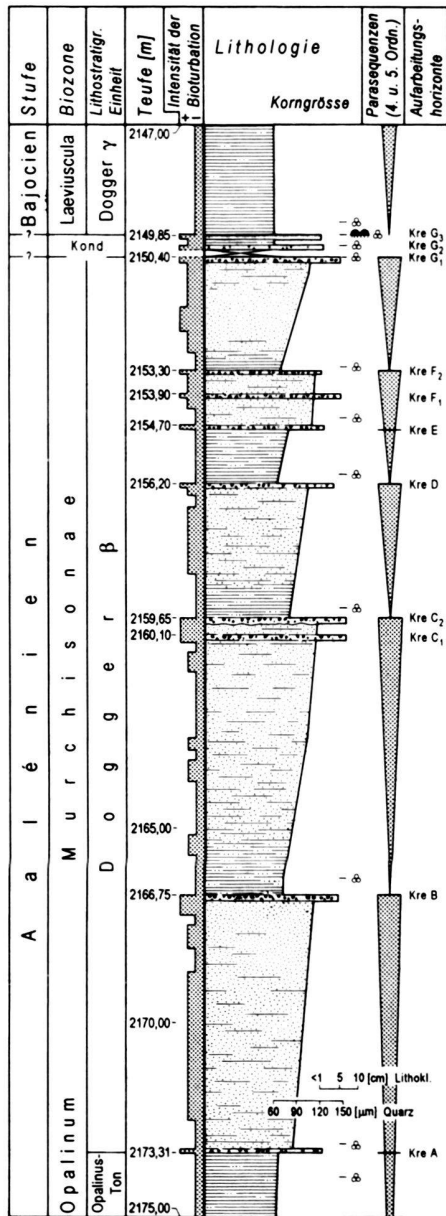


Fig. 8. Detailprofil «Dogger β», Bohrung Kreuzlingen-1 (Legende siehe Fig. 6).

tigen, von einem Hartgrund abgeschlossenen Dachbank (OD, Ber E) überlagert werden.

1882,30–1878,10 m: Tonsteinabfolge, die den unteren Teil der nächsthöheren Parasequenz bildet. Dicht unter dem oberen Ende der gekernten Strecke liegt eine dm-mächtige biode-tritusreiche Kalkbank.

6.3 Kreuzlingen-1 (Fig. 8)

2175,00–2166,75 m: Die Basis der untersten Parasequenz wurde nicht gekernt. Nach 1,7 m Tonsteinen folgt ein leicht

eisenoolithischer Horizont (RD, Kre A), der nur sehr wenig Lithoklasten enthält, dann ein 6,3 m mächtiges Sandsteinintervall und schliesslich eine biode-tritusreiche Dachbank (OD, Kre B) mit z. T. angebohrten Intraklasten. Die mittlere Quarzkorngrösse nimmt im Sandsteinintervall von 75 auf 100 μm zu.

2166,75–2159,65 m: Die zweitunterste Parasequenz misst 7,1 m. Die untersten 1 bis 1,5 m bestehen aus Tonsteinen, dann folgen etwa bis zur Mitte der Parasequenz sandfaserige Tonsteine und schliesslich tonfaserige Sandsteine. Im unteren Teil dieser Sequenz ist die Durchwühlung vergleichsweise weniger intensiv, so dass etliche primäre Sedimentstrukturen (Rippeln, ebene Feinschichtung, gradierte Lagen) erhalten geblieben sind. 0,6 m unterhalb des Tops liegt ein geringmächtiges Event-Bed (Kre C₁); abgeschlossen wird die Parasequenz durch eine biode-tritusreiche Dachbank (OD, Kre C₂), deren Klasten mehrfache Aufarbeitung belegen. Die mittlere Quarzkorngrösse nimmt von 65 auf 120 μm zu.

2159,65–2156,20 m: Die Mächtigkeit der drittuntersten Parasequenz beträgt 3,45 m, wovon der unterste Meter auf sandfaserige Tonsteine, der Rest auf tonfaserige Sandsteine entfällt. Die Dachbank (OD, Kre D) enthält angebohrte Intraklasten. Innerhalb dieser Parasequenz nimmt die mittlere Quarzkorngrösse nach oben auf 100 μm zu.

2156,20–2153,30 m: Die folgende, 2,9 m messende Parasequenz zeigt einen etwas komplexeren Aufbau: Ein Aufarbeitungshorizont (RD, Kre E) trennt das 1,4 m mächtige untere Intervall, das unten aus Tonsteinen, oben aus sandfaserigen Tonsteinen besteht, vom gleich mächtigen, aus tonfaserigen Sandsteinen bestehenden oberen Intervall. In der Mitte des Sandsteinintervalls tritt ein Event-Bed (Kre F₁) mit mehrfach aufgearbeiteten Intraklasten auf, zuoberst die geringmächtige Dachbank (OD, F₂), die nur sehr wenig Aufarbeitungsmaterial enthält. Die mittlere Quarzkorngrösse erreicht einen Wert von ca. 100 μm.

2153,30–2149,85m: Abgesehen von einem knapp 0,5 m messenden basalen Abschnitt aus sandfaserigen Tonsteinen besteht diese 3,45 m mächtige Parasequenz im wesentlichen aus tonfaserigen Sandsteinen, deren mittlere Korngrösse von unten 70 auf oben 110 μm ansteigt. Abgeschlossen wird sie von einer aus drei dünnen Horizonten (Kre G₁–G₃) bestehenden Dachbank. G₂ und G₃ werden durch eine geringmächtige Tonsteinlage getrennt, zwischen G₁ und G₂ wurde kein Kernmaterial geborgen. G₁ enthält Lithoklasten, G₁ und G₂ führen chamositische Onkoide, G₃ ist durch einen Hartgrund mit stromatolithischem Bewuchs abgeschlossen.

2149,85–2147,00 m: Homogene, siltige, leicht mergelige Tonsteine. Basis der nächsthöheren Parasequenz.

6.4 Zusammenfassung

In den drei Kernstrecken treten drei (Herdern), vier (Berlingen) bzw. sechs (Kreuzlingen) Parasequenzen auf, die jedoch nicht alle dem «Dogger β» zugerechnet werden (Kap. 7.3.3) und von denen zwei pro Strecke nur teilweise gekernt sind. Die geringmächtigste der vollständig gekernten Parasequenz

zen misst 2,9 m (Kreuzlingen), die mächtigste 19,9 m (Herdern; deren unterer Teil wird zum Opalinus-Ton gerechnet, s.u.). Zusätzlich zur Dachbank (Omissionsdiskontinuität), die in jeder Parasequenz mit gekerntem Top auftritt, enthalten fünf Parasequenzen eine Regressionsdiskontinuität. In Herdern und Berlingen nimmt die mittlere Quarzkorngrösse gesamthaft bis in das Dach des Sandsteinabschnitts zu, in Kreuzlingen wird das Maximum in der zweituntersten Parasequenz erreicht.

7. Stratigraphie

Der «Dogger β» der drei Bohrungen wurde, zusammen mit den mitgekernten Abschnitten in seinem Liegenden und Hangenden, mittels Palynomorphen biostratigraphisch datiert. Zusätzlich wurde mit einem sequenzstratigraphischen Ansatz eine genaue und konsistente Abgrenzung und damit eine verfeinerte Korrelation sowie eine möglichst detaillierte Gliederung angestrebt.

7.1 Palynostratigraphie

7.1.1 Einleitung

Die semiquantitative palynologische Untersuchung hatte zum Ziel, die Proben palynostratigraphisch zu datieren und sie Ammoniten-Zonen zuzuordnen. Die Datierungen stützen sich auf die Untersuchungen von Feist-Burkhardt (1990, 1992) und Feist-Burkhardt & Wille (1992) über das Aalénien und Bajocien in Süddeutschland und in der Nordschweiz. Für die Zuordnung der Proben zu Ammoniten-Zonen wurde vor allem das mittels Ammoniten datierte Profil am Westhang des Eichbergs bei Blumberg (Wutachgebiet, Süddeutschland) verwendet (Feist-Burkhardt 1992). In den neuesten publizierten palynostratigraphischen Zonierungen von Riding & Thomas (1992) für Grossbritannien und von Partington et al. (1993) für die Nordsee und angrenzende Gebiete werden zum Teil die selben Dinoflagellatenzysten als Leitarten verwendet. Die genauen stratigraphischen Reichweiten einzelner Arten weichen jedoch von den Ergebnissen aus Süddeutschland und der Schweiz ab, so dass ausschliesslich die süddeutschen und schweizerischen Vergleichsdaten zur Datierung herangezogen wurden.

Zusätzlich zu den Datierungen lässt die Untersuchung der Palynomorphen Aussagen zur Herkunft und Transportdistanz des terrigenen Detritus zu. Einschränkend wirkt sich hingegen aus, dass keine Ammoniten-Subzonen ausgeschieden werden können.

7.1.2 Ergebnisse

Die Proben ergaben zum grössten Teil einen guten palynologischen Rückstand mit reicher und diverser Mikroflora. Die Erhaltung der Palynomorphen ist meist gut bis mässig gut.

Das Palynomorphenspektrum setzt sich aus überwiegend Pollen und Sporen und, weniger häufig, Dinoflagellatenzysten

zusammen. In den Proben aus dem Aalénien ist der Anteil an Holz und Resten von pflanzlichem Gewebe gross. Nur untergeordnet treten Prasinophyten, Acritarchen, Foraminiferentapeten und Grünalgen (*Botryococcus*) auf, daneben auch aufbereitete karbonische und triassische Pollen und Sporen.

Die Untersuchungsergebnisse sind in Form von Range-Charts (Tf. 2–4) zusammengestellt.

Die kompletten Autorenangaben zu den in den Range-Charts verwendeten Taxa von Dinoflagellatenzysten findet sich in Lentin & Williams (1993). Eine Auswahl wichtiger Dinoflagellatenzysten ist auf Tafel 1 abgebildet.

7.1.3 Interpretation

Das biostratigraphische Auflösungsvermögen von Pollen und Sporen im Jura ist ungenügend, die Datierungen basieren deshalb auf Dinoflagellatenzysten. Die biostratigraphischen Grenzen werden nach dem ersten Auftreten der Leitarten (vom Liegenden ins Hangende gesehen) gezogen. Die auftretenden Pollen und Sporen bestätigen die Datierungen mit Dinoflagellatenzysten.

Der hohe Anteil an Pollen und Sporen, Holz und Resten von pflanzlichem Gewebe spricht für eine starke terrigene Beeinflussung des Ablagerungsraumes. Die Zunahme dieses Anteils in Richtung Osten gibt einen Hinweis auf die Lage der Küste. Karbonische und triassische Pollen und Sporen weisen auf Aufarbeitung älterer Sedimente hin.

Herdern-1 (Tf. 2)

Die Proben können palynostratigraphisch in zwei Gruppen unterteilt werden:

1731,70–1711,89 m: Reiche Palynoflora aus überwiegend Pollen und Sporen und, weniger häufig, Dinoflagellatenzysten. Die Assoziation der Dinoflagellatenzysten wird von zahlreichen Arten der Gattung *Nannoceratopsis* dominiert. Häufig sind *Batiacasphaera* spp. und *Kallosphaeridium* spp., während *Mancodinium semitabulatum*, *Scrinioicassis limbicavatus* und *Scrinioicassis weberi* vereinzelt auftreten.

Das Vorkommen von *Batiacasphaera* spp. und *Kallosphaeridium* spp. spricht für ein Höchstalter Opalinum-Zone. Die für die Opalinum-Zone jedoch typischen diversen Vertreter der kleinwüchsigen Phallocystaceen («*Parvocysta* suite» von Riding 1984, «*Susadinium* group» von Wille 1982) fehlen. Das Fehlen von *Dissiliodinium* spp. spricht für ein Alter nicht jünger als die Murchisonae-Zone. Somit sind diese Proben der Opalinum- bis Murchisonae-Zone zuzuordnen.

1711,00 m: Die Vergesellschaftung der Dinoflagellatenzysten entspricht etwa derjenigen des Liegenden, wobei jedoch *Nannoceratopsis dictyambonis* und *Mancodinium semitabulatum* häufig bzw. sehr häufig vorkommen. *Adreedinium elongatum*, *Dissiliodinium* sp. A in Feist-Burkhardt (1990) und *Dissiliodinium* aff. *giganteum* erscheinen erstmals. *Dissiliodinium* sp. A tritt ab der oberen Murchisonae-Zone auf, während das älteste Vorkommen von *Dissiliodinium* aff. *giganteum* aus der Discites-Zone bekannt ist. Das Fehlen von *Dissiliodinium* gi-

ganteum in der Probe macht ein jüngeres Alter als Discites-Zone unwahrscheinlich, was bedeutet, dass die Probe in die Discites-Zone zu stellen ist.

Die Concavum-Zone kann in den bearbeiteten Proben des Profils Herdern nicht positiv nachgewiesen werden.

Berlingen-1 (Tf. 3)

Die Proben können palynostratigraphisch in drei Gruppen unterteilt werden:

1910,40 m: Reiche Mikroflora aus überwiegend Pollen und Sporen und, weniger häufig, Dinoflagellatenzysten. Die Assoziation der Dinoflagellatenzysten setzt sich aus *Nannoceratopsis* spp., *Batiacasphaera* sp. 1, *Kallosphaeridium praussii* und *Scrinioicassis limbicavatus* zusammen.

Das Vorkommen der Gattungen *Batiacasphaera* und *Kallosphaeridium* sowie das Fehlen von Vertretern der «*Parvocysta* suite» und der Gattung *Dissiliodinium* sprechen für die Einstufung der Probe in die Opalinum- bis Murchisonae-Zone.

1885,90 m (Proben A u. B): Das Verhältnis von Dinoflagellatenzysten zu Pollen und Sporen ist in diesen Proben etwas höher als in derjenigen des Liegenden. Die Diversität an *Nannoceratopsis*-Arten nimmt ab, es sind nur noch *N. plegas* und *N. gracilis* vorhanden. Folgende Arten haben ihr erstes Einsetzen: *Valvaodinium vermipellium*, *Batiacasphaera* sp. 2, *Dissiliodinium giganteum*, *Dissiliodinium* sp. A und *Gongylo-dinium erymnoteichos*. Das Vorkommen der beiden *Dissiliodinium*-Arten, *D. giganteum* und *Dissiliodinium* sp. A bei Abwesenheit von *Durotrigia daveyi* spricht für die Zuordnung dieser Proben in die Discites- bis untere Laeviuscula-Zone.

1885,60 m: Die Assoziation der Dinoflagellatenzysten ist reich an *Nannoceratopsis gracilis* und *Dissiliodinium giganteum*. Andere häufige Arten von Dinoflagellatenzysten sind *Batiacasphaera* sp. 2, *Durotrigia daveyi*, *Gongylo-dinium erymnoteichos* und *Mancodinium semitabulatum*.

Das gemeinsame Vorkommen von *Dissiliodinium giganteum* und *Durotrigia daveyi* spricht für die höhere Laeviusculab- bis Sauzei-Zone.

Die Concavum-Zone kann in den bearbeiteten Proben des Profils Berlingen nicht nachgewiesen werden.

Kreuzlingen-1 (Tf. 4)

Die Proben können nach dem palynologischen Befund in drei Gruppen unterteilt werden:

2173,95–2153,20 m: Reiche Palynoflora aus überwiegend Pollen und Sporen und, weniger häufig, Dinoflagellatenzysten. Die Assoziation der Dinoflagellatenzysten wird von zahlreichen Arten der Gattung *Nannoceratopsis* dominiert. Daneben sind *Batiacasphaera* spp. und *Kallosphaeridium praussii* häufig. *Andreedinium elongatum*, *Mancodinium semitabulatum*, *Scrinioicassis priscus* und *Scrinioicassis weberi* treten unregelmäßig in einzelnen Exemplaren auf. Das Vorkommen von *Batiacasphaera* spp. und *Kallosphaeridium* spp. deutet auf ein Höchstalter Opalinum-Zone. Die für die Opalinum-Zone typi-

schen diversen Vertreter kleinwüchsiger Phallogocystaceen fehlen jedoch. Es wurde kein Vertreter der Gattung *Dissiliodinium* gefunden. In Süddeutschland tritt die erste *Dissiliodinium*-Art im oberen Teil der Murchisonae-Zone auf, gefolgt von einer starken Entfaltung ab der Concavum-Zone. Das Fehlen von *Dissiliodinium*-Arten lässt auf ein Alter nicht jünger als Murchisonae-Zone schliessen.

Die Daten sprechen somit für eine Einordnung der Proben in die Opalinum- bis Murchisonae-Zone.

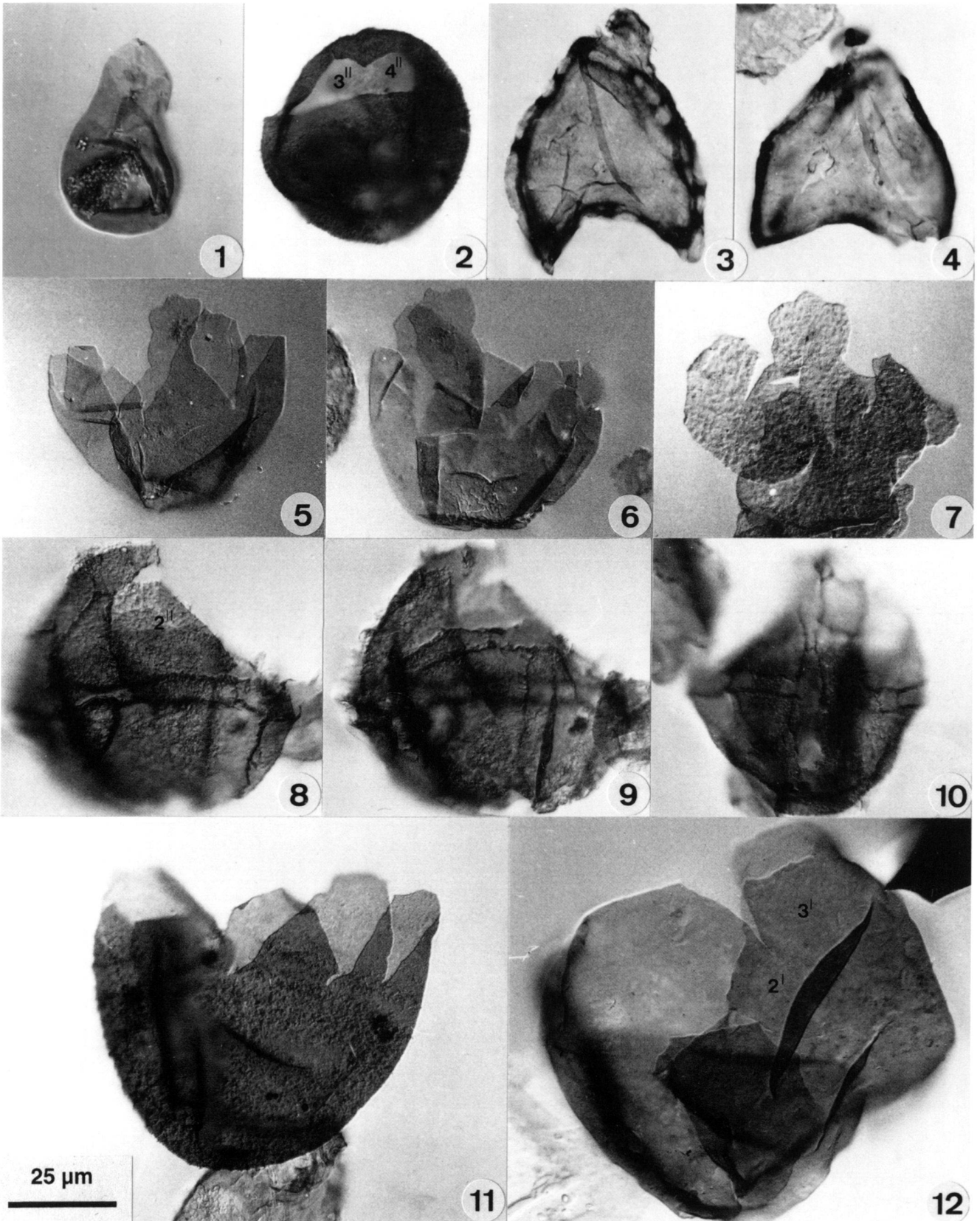
2150,32–2150,10 m: Beide Proben lieferten nur sehr wenig palynologischen Rückstand. Die vereinzelt darin enthaltenen Palynomorphen sind sehr dunkel, was auf eine starke Oxidation des Materials zurückzuführen ist. Aus diesem Grund ist eine palynostratigraphische Einstufung nicht möglich.

2149,83–2149,50 m: Das Verhältnis von Dinoflagellatenzysten zu Pollen und Sporen ist in diesen beiden Proben etwas höher als in den reichen Proben des Liegenden (2173,95 bis 2153,20 m). Zusätzlich zu den auch im Liegenden angetroffe-

Tf. 1. Auswahl wichtiger Dinoflagellatenzysten.

Alle Photos wurden mit Differentialinterferenzkontrast aufgenommen. Vergrößerung: $\times 800$.

1. – *Andreedinium elongatum* (BEJU 1971) FEIST-BURKHARDT & MONTEIL 1990. Probe Kreuzlingen 2173,10 m. England FINDER Koordinaten (E. F. Koord.): O 21/1.
2. – *Gongylo-dinium erymnoteichos* FENTON et al. 1980. Probe Kreuzlingen 2149,50 m. E. F. Koord.: M 46/3–4. Dorsalansicht. Die Archäopyle wird durch den Verlust der beiden präcingularen Paraplaten 3'' und 4'' gebildet.
3. – *Nannoceratopsis dictyambonis* RIDING 1984. Probe Kreuzlingen 2153,20 m. E. F. Koord.: O 19. Rechts-laterale Ansicht.
4. – *Nannoceratopsis ambonis* DRUGG 1978. Probe Herdern 1711,00 m. E. F. Koord.: Q 20. Links-laterale Ansicht.
5. – *Kallosphaeridium praussii* LENTIN & WILLIAMS 1993. Probe Kreuzlingen 2173,95 m. E. F. Koord.: Q 19/1. Ventralansicht. Vollständiges Exemplar mit ausgebildeter Archäopyle. Apikalkalotte in Aufsicht. Beachte die meta-Konfiguration der Apikalkalotte mit (?2) interkalaren Paraplaten.
6. – *Kallosphaeridium praussii* LENTIN & WILLIAMS 1993. Probe Kreuzlingen 2173,95 m. E. F. Koord.: Q 21/1. Ventralansicht. Vollständiges Exemplar mit ausgebildeter Archäopyle. Apikalkalotte in Aufsicht. Beachte die inter-meta-Konfiguration der Apikalkalotte.
7. – *Kallosphaeridium capulatum* STOVER 1977 (sensu PRAUSS 1989). Probe Kreuzlingen 2155,95 m. E. F. Koord.: M 22/1. Im Bereich der Hypozyste zerbrochenes Exemplar. Apikalkalotte in Aufsicht. Beachte die ortho-Konfiguration der Apikalkalotte mit (mind. 1) interkalaren Paraplaten.
- 8, 9. – *Durotrigia daveyi* BAILEY 1987. Probe Berlingen 1885,60 m. E. F. Koord.: T 37. Links-laterale Ansicht. 8. – Links-laterale Seite in hohem Fokus. 9. – Rechts-laterale Seite in niedrigem Fokus. Präcingulare Paraplaten 3'' und 4'' fehlen. Präcingulare Paraplatte 2'' adhären, teilweise abgelöst von der Apikalkalotte und dem Rand des Paracingulums.
10. – *Durotrigia daveyi* BAILEY 1987. Probe Berlingen 1885,60 m. E. F. Koord.: P 25/3. Ventralseite in niedrigem Fokus.
11. – *Batiacasphaera* sp. 2. Probe Kreuzlingen 2153,20 m. E. F. Koord.: P 31.
12. – *Dissiliodinium giganteum* FEIST-BURKHARDT 1990. Probe Berlingen 1885,60 m. E. F. Koord.: P 40. Apikalkalotte in Innenansicht. Präcingulare Paraplaten 3'' und 4'' fehlen. Eine Operkularplatte liegt im Inneren der Zyste.



Aalénien				Bajocien	Stufe	
Opalinum – Murchisonae				Discites	Ammoniten-Zone	
1731,70 m	1730,00 m	1725,72 m	1711,89 m	1711,00 m	Teufe	
					Dinoflagellatenzysten	
					1 <i>Nannoceratopsis cf. senex</i>	15 <i>Andreedinium elongatum</i>
					2 <i>Nannoceratopsis tricas</i>	10 <i>Batiacasphaera</i> sp. 1 (glatt)
*		*		*	3 <i>Kallosphaeridium prausii</i>	9 <i>Batiacasphaera</i> sp. 2 (ornamentiert)
	**			**	4 <i>Mancodinium semitabulatum</i>	16 <i>Dissilodinium</i> aff. <i>giganteum</i>
	**	*	*	**	5 <i>Nannoceratopsis dictyambonis</i>	17 <i>Dissilodinium</i> sp. A in FEIST-BURKHARDT 1990
*	*	*	**	*	6 <i>Nannoceratopsis gracilis</i>	13 <i>Kallosphaeridium capitulum</i> s. PRAUSS 1989
*	*		**	*	7 <i>Nannoceratopsis plegas</i>	3 <i>Kallosphaeridium prausii</i>
**	**	**	*	*	8 <i>Nannoceratopsis</i> spp.	4 <i>Mancodinium semitabulatum</i>
**	*	*	*	*	9 <i>Batiacasphaera</i> sp. 2 (ornamentiert)	14 <i>Nannoceratopsis ambonis</i>
**	**	**	*	*	10 <i>Batiacasphaera</i> sp. 1 (glatt)	1 <i>Nannoceratopsis cf. senex</i>
?		?	*	?	11 <i>Scrinocassis limbicavatus</i>	5 <i>Nannoceratopsis dictyambonis</i>
	*		*	*	12 <i>Scrinocassis weberi</i>	6 <i>Nannoceratopsis gracilis</i>
	*		*	*	13 <i>Kallosphaeridium capitulum</i> s. PRAUSS 1989	7 <i>Nannoceratopsis plegas</i>
	*		*	*	14 <i>Nannoceratopsis ambonis</i>	8 <i>Nannoceratopsis</i> spp.
			*	**	15 <i>Andreedinium elongatum</i>	2 <i>Nannoceratopsis tricas</i>
			*	*	16 <i>Dissilodinium</i> aff. <i>giganteum</i>	11 <i>Scrinocassis limbicavatus</i>
			*	*	17 <i>Dissilodinium</i> sp. A in FEIST-BURKHARDT 1990	12 <i>Scrinocassis weberi</i>
					Andere aquatische Palynomorphe	
**			*	*	<i>Botryococcus</i>	
*	*		*	*	<i>Cymatospaera</i> spp.	
*			*	*	Foraminiferentapeten	
	*		*	*	<i>Fromea tornatilis</i>	
	*	*	*	*	<i>Kalyptea halosa</i>	
*	*		*	**	<i>Micrhystridium</i> spp./ <i>Batisphaeridium</i> spp.	
*			*	*	<i>Polysphaeridium deflandrei</i>	
			*	*	<i>Pterospirifer</i> sp.	
**		*	*	*	<i>Tasmanites</i>	
					Pollen und Sporen	
*		*		*	1 <i>Stereisporites</i> spp.	3 <i>Araucariacites australis</i>
*	*	*		*	2 <i>Leptolepidites</i> spp.	4 bisaccate Pollenkörner
**	**	**	**	**	3 <i>Araucariacites australis</i>	25 <i>Calamospora tener</i>
**	**	**	**	**	4 bisaccate Pollenkörner	27 <i>Callialasporites dampieri</i>
*	*	*	*	*	5 <i>Callialasporites microvelatus</i>	5 <i>Callialasporites microvelatus</i>
**	*	*	*	*	6 <i>Callialasporites minor</i>	6 <i>Callialasporites minor</i>
**	**	**	*	**	7 <i>Cerebropollenites mesozoicus</i>	28 <i>Callialasporites segmentatus</i>
**	**	*	*	*	8 <i>Chasmatosporites hians</i>	29 <i>Callialasporites turbatus</i>
*	*		**	*	9 <i>Classopollis torosus</i>	7 <i>Cerebropollenites mesozoicus</i>
**	*	*	*	**	10 <i>Concavispores</i> spp.	22 <i>Chasmatosporites apertus</i>
*	*	*	*	*	11 <i>Concavissimisporites subgranulosus</i>	8 <i>Chasmatosporites hians</i>
**	**	**	**	**	12 <i>Deltoidospora minor</i>	9 <i>Classopollis torosus</i>
*	*	*	*	*	13 <i>Dictyophylidites harrisii</i>	26 <i>Conbaculatisporites</i> spp.
*	*	*	*	*	14 <i>Duplexisporites problematicus</i>	10 <i>Concavispores</i> spp.
**	*	*	*	*	15 <i>Exesipollenites scabratus</i>	11 <i>Concavissimisporites subgranulosus</i>
**	**	**	*	*	16 <i>Osmundacites wellmanii</i>	41 <i>Deltoidospora australis</i>
**	**	**	**	**	17 <i>Perinopollenites elatoides</i>	12 <i>Deltoidospora minor</i>
**	*	*	*	*	18 <i>Quadraculina anellaiformis</i>	13 <i>Dictyophylidites harrisii</i>
**	*	*	*	*	19 <i>Todisporites minor</i>	23 <i>Dictyophylidites mortoni</i>
**	*	*	*	*	20 <i>Triletes rariverrucatus</i>	14 <i>Duplexisporites problematicus</i>
*	*	*	*	*	21 <i>Heliosporites altmarkensis</i>	15 <i>Exesipollenites scabratus</i>
*	*	*	*	*	22 <i>Chasmatosporites apertus</i>	30 <i>Exesipollenites tumulus</i>
*	*	*	*	*	23 <i>Dictyophylidites mortoni</i>	31 <i>Foveosporites</i> spp.
*	*	*	*	*	24 <i>Obtusisporis juncta</i>	21 <i>Heliosporites altmarkensis</i>
*	*	*	*	*	25 <i>Calamospora tener</i>	32 <i>Ischyosporites variegatus</i>
*	*	*	*	*	26 <i>Conbaculatisporites</i> spp.	42 <i>Kekryphalospora distincta</i>
**	*	*	*	**	27 <i>Callialasporites dampieri</i>	2 <i>Leptolepidites</i> spp.
*	*	*	*	*	28 <i>Callialasporites segmentatus</i>	43 <i>Leptolepidites verrucatus</i>
*	*	*	*	*	29 <i>Callialasporites turbatus</i>	33 <i>Lycopodiacidites rugulatus</i>
*	*	*	*	*	30 <i>Exesipollenites tumulus</i>	34 <i>Lycopodiumsporites austroclavatidites</i>
*	*	*	*	*	31 <i>Foveosporites</i> spp.	35 <i>Lycopodiumsporites clavatoides</i>
*	*	*	*	*	32 <i>Ischyosporites variegatus</i>	38 <i>Lycopodiumsporites reticulumsporites</i>
*	*	*	*	*	33 <i>Lycopodiacidites rugulatus</i>	39 <i>Lycopodiumsporites semmuris</i>
*	**	*	*	**	34 <i>Lycopodiumsporites austroclavatidites</i>	37 <i>Neoraistrickia</i> spp.
*	*	*	*	**	35 <i>Lycopodiumsporites clavatoides</i>	40 <i>Neoraistrickia taylori</i>
*	*	*	*	*	36 <i>Uvaesporites argenteiformis</i>	24 <i>Obtusisporis juncta</i>
*	*	*	*	*	37 <i>Neoraistrickia</i> spp.	16 <i>Osmundacites wellmanii</i>
*	*	*	*	*	38 <i>Lycopodiumsporites reticulumsporites</i>	17 <i>Perinopollenites elatoides</i>
*	*	*	*	*	39 <i>Lycopodiumsporites semmuris</i>	18 <i>Quadraculina anellaiformis</i>
*	*	*	*	*	40 <i>Neoraistrickia taylori</i>	44 <i>Staplinisporites caminus</i>
*	*	*	*	*	41 <i>Deltoidospora australis</i>	1 <i>Stereisporites</i> spp.
*	*	*	*	*	42 <i>Kekryphalospora distincta</i>	19 <i>Todisporites minor</i>
*	*	*	*	*	43 <i>Leptolepidites verrucatus</i>	20 <i>Triletes rariverrucatus</i>
*	*	*	*	*	44 <i>Staplinisporites caminus</i>	36 <i>Uvaesporites argenteiformis</i>
					Aufgearbeitete Palynomorphe	
**	*	*	*	*	<i>Densosporites</i> spp.	
**	*	*	*	*	<i>Murospora</i> spp.	
*	*	*	*	*	<i>Radizonates</i> sp.	
*	*	*	*	*	<i>Schulzospora</i> sp.	
*	*	*	*	*	<i>Triadspora</i> sp.	
*	*	*	*	*	<i>Tripartites</i> spp.	

* = vorhanden
** = häufig
*** = sehr häufig

Tf. 2. Palynostratigraphische Range-Chart «Dogger β», Bohrung Herdern-1.

Aalénien	Bajocien			Stufe	
Opalinum – Murchisonae	Discites – untere Laeviuscula		höhere Laeviuscula – Sauzei	Ammoniten-Zone	
1910,40 m	1885,90 m (A)	1885,90 m (B)	1885,60 m	Teufe	
Dinoflagellatenzysten					
+				1 <i>Nannoceratopsis tricerias</i>	7 <i>Batiacasphaera</i> sp. 1 (glatt)
+				2 <i>Scrinocassis limbicavatus</i>	12 <i>Batiacasphaera</i> sp. 2 (ornamentiert)
+	+			3 <i>Nannoceratopsis piegus</i>	9 <i>Dissiliodinium giganteum</i>
+			+	4 <i>Kallosphaeridium prausii</i>	10 <i>Dissiliodinium</i> sp. A in FEIST-BURKHARDT 1990
+	++	+	+++	5 <i>Nannoceratopsis gracilis</i>	13 <i>Durotrigia daveyi</i>
++			+	6 <i>Nannoceratopsis</i> spp.	11 <i>Gongylodinium erymnoteichos</i>
++			+	7 <i>Batiacasphaera</i> sp. 1 (glatt)	4 <i>Kallosphaeridium prausii</i>
	+			8 <i>Valvaedinium vermpellitum</i>	14 <i>Mancodinium semitabulatum</i>
	+	++	+++	9 <i>Dissiliodinium giganteum</i>	5 <i>Nannoceratopsis gracilis</i>
	+	+	+	10 <i>Dissiliodinium</i> sp. A in FEIST-BURKHARDT 1990	3 <i>Nannoceratopsis piegus</i>
			++	11 <i>Gongylodinium erymnoteichos</i>	6 <i>Nannoceratopsis</i> spp.
	++	+	++	12 <i>Batiacasphaera</i> sp. 2 (ornamentiert)	1 <i>Nannoceratopsis tricerias</i>
			++	13 <i>Durotrigia daveyi</i>	15 <i>Pareodinia</i> sp.
			++	14 <i>Mancodinium semitabulatum</i>	2 <i>Scrinocassis limbicavatus</i>
			+	15 <i>Pareodinia</i> sp.	8 <i>Valvaedinium vermpellitum</i>
Andere aquatische Palynomorphe					
+	+		+	<i>Botryococcus</i>	
+				<i>Cymatosphaera</i> spp.	
	+			Foraminiferenlapeten	
			+	<i>Fromea tornatilis</i>	
+			+	<i>Kalyptea halosa</i>	
+	+	+	+	<i>Micrystidium</i> spp./ <i>Baltisphaeridium</i> spp.	
++	+	+	+	<i>Tasmanites</i>	
Pollen und Sporen					
+				1 <i>Foveosporites</i> spp.	2 <i>Araucariacites australis</i>
+++	++	+	+	2 <i>Araucariacites australis</i>	3 bisaccate Pollenkörner
+++	++	+	+++	3 bisaccate Pollenkörner	4 <i>Callialasporites dampieri</i>
++	+	+	+	4 <i>Callialasporites dampieri</i>	5 <i>Callialasporites microvelatus</i>
+			+	5 <i>Callialasporites microvelatus</i>	6 <i>Callialasporites minor</i>
+			+	6 <i>Callialasporites minor</i>	7 <i>Callialasporites segmentatus</i>
+			+	7 <i>Callialasporites segmentatus</i>	8 <i>Callialasporites turbatus</i>
+	+		+	8 <i>Callialasporites turbatus</i>	9 <i>Cerebropollenites mesozoicus</i>
+++	+	+	+	9 <i>Cerebropollenites mesozoicus</i>	10 <i>Chasmatosporites apertus</i>
+			+	10 <i>Chasmatosporites apertus</i>	11 <i>Chasmatosporites hians</i>
+++			+	11 <i>Chasmatosporites hians</i>	12 <i>Classopollis torosus</i>
++	+	+	+	12 <i>Classopollis torosus</i>	30 <i>Conbaculatisporites</i> spp.
+	++		+	13 <i>Concavisporites</i> spp.	13 <i>Concavisporites</i> spp.
+			+	14 <i>Concavissimisporites subgranulosus</i>	14 <i>Concavissimisporites subgranulosus</i>
++	+		+	15 <i>Deltoidospora minor</i>	15 <i>Deltoidospora minor</i>
+			+	16 <i>Dictyophyllidites harrisi</i>	16 <i>Dictyophyllidites harrisi</i>
++	+		+	17 <i>Exesipollenites scabratus</i>	29 <i>Duplexisporites problematicus</i>
+			+	18 <i>Ischyosporites variegatus</i>	17 <i>Exesipollenites scabratus</i>
+	+	+	+	19 <i>Lycopodiumsporites austroclavatidites</i>	28 <i>Exesipollenites tumulus</i>
+	+		+	20 <i>Lycopodiumsporites clavatoides</i>	1 <i>Foveosporites</i> spp.
++			+	21 <i>Osmundacidites wellmani</i>	18 <i>Ischyosporites variegatus</i>
+++	++	+	+	22 <i>Perinopollenites elatoides</i>	31 <i>Leptolepidites</i> spp.
+			+	23 <i>Quadraeculina anellaeformis</i>	25 <i>Lycopodiacidites rugulatus</i>
+	+	+	+	24 <i>Todisporites minor</i>	19 <i>Lycopodiumsporites austroclavatidites</i>
	+		+	25 <i>Lycopodiacidites rugulatus</i>	20 <i>Lycopodiumsporites clavatoides</i>
	+		+	26 <i>Lycopodiumsporites semimuris</i>	26 <i>Lycopodiumsporites semimuris</i>
	+		+	27 <i>Neoraistrickia gristhorpensis</i>	27 <i>Neoraistrickia gristhorpensis</i>
	+		+	28 <i>Exesipollenites tumulus</i>	21 <i>Osmundacidites wellmani</i>
		+	+	29 <i>Duplexisporites problematicus</i>	22 <i>Perinopollenites elatoides</i>
			+	30 <i>Conbaculatisporites</i> spp.	23 <i>Quadraeculina anellaeformis</i>
			+	31 <i>Leptolepidites</i> spp.	32 <i>Staplinisporites caminus</i>
			+	32 <i>Staplinisporites caminus</i>	24 <i>Todisporites minor</i>
Aufgearbeitete Palynomorphe					
+				<i>Densosporites</i> spp.	

+ = vorhanden
 ++ = häufig
 +++ = sehr häufig

Tf. 3. Palynostratigraphische Range-Chart «Dogger β», Bohrung Berlingen-1.

nen Dinoflagellatenzysten-Arten wie *Nannoceratopsis* spp. und *Batiacasphaera* spp. treten *Dissiliodinium* spp., *Evansia* spp., *Durotrigia daveyi* und *Gongylodinium erymnoteichos* gehäuft auf. Die Art *Durotrigia daveyi* erscheint zum ersten Mal in der höheren Laeviuscula-Zone. *Dissiliodinium giganteum* ist aus Schichten der Discites-, Laeviuscula- und Sauzei-Zone bekannt. Diese Daten sprechen für eine Einstufung der Probe in die höhere Laeviuscula- bis Sauzei-Zone.

Die Grenze Aalénien/Bajocien kann im Profil Kreuzlingen palynostratigraphisch nicht genau festgelegt werden. Die Concavum-, die Discites- und die untere Laeviuscula-Zone können in den bearbeiteten Proben nicht positiv nachgewiesen werden. Die im fraglichen Bereich liegenden Proben 2150,32 bis 2150,10 m ergaben nicht genügend und nicht hinreichend gut erhaltenes Material, um eine genaue palynostratigraphische Aussage treffen zu können.

Aalénien								Bajocien		Stufe	
Opalium - Murchisonae								höhere Laeviuscula - Sauezi		Ammoniten-Zone	
2173,95 m	2173,10 m	2166,30 m	2159,35 m	2155,95 m	2154,60 m	2153,20 m	2150,32 m	2150,10 m	2149,83 m	2149,50 m	Teufe
Dinoflagellatenzysten											
+	+	+	+								1 <i>Nannoceratopsis senex</i>
+++	++	++	++								2 <i>Nannoceratopsis plegas</i>
+	+	+	+								4 <i>Kallosphaeridium prausii</i>
+	+	+	+								5 <i>Mancodinium semitabulatum</i>
+	+	+	+								6 <i>Nannoceratopsis cf. senex</i>
+	+	+	+								7 <i>Nannoceratopsis gracilis</i>
+	+	+	+								8 <i>Nannoceratopsis</i> spp.
+	+	+	+								9 <i>Nannoceratopsis triceras</i>
+	+	+	+								11 <i>Scrinocassis weberi</i>
+	+	+	+								12 <i>Baifacaspheera</i> sp. 2 (ornamentiert)
+	+	+	+								13 <i>Baifacaspheera</i> sp. 1 (glatt)
+	+	+	+								14 <i>Andreedinium elongatum</i>
+	+	+	+								15 <i>Nannoceratopsis dictyambonis</i>
+	+	+	+								16 <i>Kallosphaeridium capitatum</i> s. PRAUSS 1989
+	+	+	+								20 <i>Nannoceratopsis ambonis</i>
+	+	+	+								17 <i>Scrinocassis priscus</i>
+	+	+	+								20 <i>Nannoceratopsis ambonis</i>
+	+	+	+								21 <i>Scrinocassis limbicavatus</i>
+	+	+	+								23 <i>Dissilodinium giganteum</i>
+	+	+	+								22 <i>Dissilodinium</i> sp. A in FEIST-BURKHARDT 1990
+	+	+	+								24 <i>Evansia (?) eschachensis</i>
+	+	+	+								25 <i>Evansia (?) spongogranulata</i>
+	+	+	+								26 <i>Durotrigia daveyi</i>
+	+	+	+								28 <i>Gongyolodinium erymnoteichos</i>
+	+	+	+								29 <i>Pareodinia</i> sp.
Andere aquatische Palynomorphe											
											<i>Botryococcus</i>
											<i>Cymatosphaera</i> spp.
											Foraminiferentapeten
											<i>Fromea tornalilis</i>
											<i>Kalyptra halosa</i>
											<i>Microstadium</i> spp. / <i>Baltisphaeridium</i> spp.
											<i>Polysphaeridium dellandrei</i>
											<i>Tasmanites</i>
Pollen und Sporen											
+											1 <i>Obtusisporis juncta</i>
+											2 <i>Uvaeosporites argenteiformis</i>
+	+	+									3 <i>Conbaculatisporites</i> spp.
+	+	+									4 <i>Neorastrickia</i> sp.
+	+	+									5 <i>Densosporites velatus</i>
+	+	+									6 <i>Stereosporites</i> spp.
+	+	+									7 <i>Chasmatosporites apertus</i>
+	+	+									8 <i>Foveosporites</i> spp.
+	+	+									9 <i>Anapiculatisporites telephorus</i>
+	+	+									10 <i>Callialasporites segmentatus</i>
+	+	+									11 <i>Concavissimosporites subgranulosus</i>
+	+	+									12 <i>Duplexisporites problematicus</i>
+	+	+									13 <i>Exesipollenites scabratus</i>
+	+	+									14 <i>Callialasporites turbatus</i>
+	+	+									15 <i>Osmundacidites wellmanii</i>
+	+	+									16 <i>Todisporites minor</i>
+	+	+									17 <i>Kekryphalospora distincta</i>
+	+	+									18 <i>Araucariacites australis</i>
+	+	+									bisaccate Pollenkörner
+	+	+									20 <i>Callialasporites dampieri</i>
+	+	+									21 <i>Callialasporites microvelatus</i>
+	+	+									22 <i>Callialasporites minor</i>
+	+	+									23 <i>Cerebropollenites mesozoicus</i>
+	+	+									24 <i>Chasmatosporites hians</i>
+	+	+									25 <i>Concavissimosporites</i> spp.
+	+	+									26 <i>Deltoidospora minor</i>
+	+	+									27 <i>Dictyophyllidites harrisii</i>
+	+	+									28 <i>Exesipollenites tumulus</i>
+	+	+									29 <i>Ischyosporites variegatus</i>
+	+	+									30 <i>Leptolepidites</i> spp.
+	+	+									31 <i>Lycopodiumsporites austroclavulidites</i>
+	+	+									32 <i>Perinopollenites elatoides</i>
+	+	+									33 <i>Quadraculina anellaeformis</i>
+	+	+									34 <i>Vitreosporites pallidus</i>
+	+	+									35 <i>Classopollis torosus</i>
+	+	+									36 <i>Lycopodiumsporites clavuloides</i>
+	+	+									1 <i>Obtusisporis juncta</i>
+	+	+									15 <i>Osmundacidites wellmanii</i>
+	+	+									32 <i>Perinopollenites elatoides</i>
+	+	+									33 <i>Quadraculina anellaeformis</i>
+	+	+									39 <i>Staplinisporites caminus</i>
+	+	+									40 <i>Heliosporites altmarkensis</i>
+	+	+									6 <i>Stereosporites</i> spp.
+	+	+									41 <i>Todisporites major</i>
+	+	+									42 <i>Triletes raniverrucatus</i>
+	+	+									16 <i>Todisporites minor</i>
+	+	+									42 <i>Triletes raniverrucatus</i>
+	+	+									2 <i>Uvaeosporites argenteiformis</i>
+	+	+									34 <i>Vitreosporites pallidus</i>
Aufgearbeitete Palynomorphe											
+	+	+									<i>Densosporites</i> spp.
+	+	+									<i>Trpantites</i> spp.
+	+	+									<i>Murosora</i> spp.
+	+	+									<i>Radizonates</i> sp.
+	+	+									<i>Arastrisporites</i> sp.
+	+	+									<i>Tradispora</i> sp.
+	+	+									<i>Riccisporites tuberculatus</i>

+ = vorhanden
 ++ = häufig
 +++ = sehr häufig

Tf. 4. Palynostratigraphische Range-Chart «Dogger β». Bohrung Kreuzlingen-1.

7.2 Ammoniten

Der einzige bestimmbare Ammonit liefert nur wenig stratigraphische Information: *Ludwigia (Brasilia)* sp. aus Horizont Her D₂ vertritt die obere Murchisonae-Zone.

7.3 Sequenzstratigraphie

7.3.1 Methode

Die Omissions- und Regressionsdiskontinuitäten – durch ihre jeweilige Stellung innerhalb einer Parasequenz definiert – eignen sich innerhalb eines bekannten biostratigraphischen Rahmens zur Abgrenzung und Korrelation von «unconformity-bounded units» (allostratigraphische Einheiten, vgl. Burkhalter 1996). Zusätzliche Hilfe bei der Korrelation bietet das «stacking pattern» von Parasequenzen (s. Homewood et al. 1992).

7.3.2 Die Sissach-Schichten als Referenz

Da die Concavum-Zone fehlt oder stark kondensiert ist, wird der «Dogger β» beim Vergleich mit dem Nordjura nur mit den Sissach-Schichten korreliert (vgl. Tab. 2). Die grösstenteils oberhalb der Sturmwellenbasis abgelagerten Sissach-Schichten sind an ihrer Basis durch eine markante Regressionsdiskontinuität begrenzt, die sie scharf vom liegenden, unter niedrigerenergetischen Verhältnissen abgelagerten Opalinus-Ton trennt. Dieser Horizont lässt sich von westlich der Ajoie bis in die Nordostschweiz verfolgen. Er ist leicht heterochron: Westlich der Ajoie liegt er in der Opalinum-Subzone, im nördlichen Jura bildet er die Grenze zwischen Opalinum- und Comptum-Subzone und weiter gegen Nordosten liegt er wahrscheinlich innerhalb der Comptum-Subzone (Burkhalter 1996).

Die obere Grenze der Sissach-Schichten wird durch eine Omissionsdiskontinuität gebildet, die ebenfalls weitflächig verbreitet ist. Sie liegt in der obersten Murchisonae-Zone.

Innerhalb dieser beiden «Grenzdiskontinuitäten» bestehen die Sissach-Schichten dort, wo sie vollständig entwickelt sind (Kanton Basel-Landschaft), aus zweieinhalb Parasequenzen – der untere Teil der untersten Parasequenz gehört, da die Untergrenze der Sissach-Schichten an einer Regressionsdiskontinuität gezogen wird, noch zum Opalinus-Ton –, d.h. es treten zwei weitere Omissionsdiskontinuitäten auf. In jeder Parasequenz nimmt die mittlere Quarzkorngrösse nach oben zu; die übergeordnete Zunahme der Werte innerhalb der Sissach-Schichten lässt zudem ein «stacking pattern» erkennen.

Über weite Gebiete des Juras fehlen jedoch Parasequenzen oder Teile davon durch länger anhaltende Omission (Kap. 5.3.4). Es sind vorwiegend die oberen Parasequenzen davon betroffen, d.h., dass die internen Omissionsdiskontinuitäten nach oben zusammenlaufen und so mit der abschliessenden Omissionsdiskontinuität einen Kondensationshorizont bilden. Da sich die Übergänge von nichtkondensierten in kondensierte Ablagerungen z.T. über kurze Distanz vollziehen (Burkhalter 1996), ist ein möglichst engmaschiges Aufschlussnetz mit

Korrelationsdistanzen von maximal wenigen Kilometern nötig, sonst ist eine sichere Parallelisierung nicht mehr gewährleistet.

7.3.3 Abgrenzung und Korrelation

Die Horizonte Her C, Ber A und Kre A werden aufgrund ihrer Lage als unterste Regressionsdiskontinuität im «Dogger β» mit der Untergrenze der Sissach-Schichten parallelisiert. Die Untergrenze des «Dogger β» wird an der Unterkante dieses Horizonts gezogen (vgl. Burkhalter 1996). Her D₂, Ber D und Kre G₁ entsprechen – unter Berücksichtigung der biostratigraphischen Datierungen – der Obergrenze der Sissach-Schichten. Die Obergrenze des «Dogger β» (im lithostratigraphischen Sinn) wird an den Top dieser Dachbank (Omissionsdiskontinuität) gelegt.

Bei Her D₃, Kre G₂ und Kre G₃ sowie dem oberen Teil von Ber D handelt es sich aufgrund der palynostratigraphischen Resultate um Kondensationshorizonte, in welchen die Concavum-Zone (Herdern) bzw. die Concavum-, Discites- und untere Laeviuscula-Zone (Berlingen, Kreuzlingen) kondensiert sind (oder möglicherweise z.T. auch fehlen). Es ist denkbar, dass – besonders bei Ber D – die oberste Dachbank des «Dogger β» im Verlauf der länger anhaltenden Omission im späten Aalénien und frühen Bajocien aufgearbeitet wurde. Die übergeordnete Zunahme der mittleren Quarzkorngrösse innerhalb der Abfolge, bei den Sissach-Schichten fast durchwegs vorhanden und als zusätzliche Korrelationshilfe zu gebrauchen, ist einzig in der Bohrung Berlingen zu beobachten. In Herdern liegt der «Dogger β» nur als halbe Parasequenz vor, und in Kreuzlingen wird der Maximalwert unterhalb des Daches des «Dogger β» erreicht.

Die einzelnen Parasequenzen können nur zwischen den Bohrungen Herdern und Berlingen korreliert werden. In diesen beiden Bohrungen treten jeweils weniger als die zweieinhalb Parasequenzen auf, die bei vollständiger Ausbildung der Sissach-Schichten vorhanden sind. Aus Analogie zu den Verhältnissen im Jura (Kap. 7.3.2) ist anzunehmen, dass die fehlenden Parasequenzen in der markant entwickelten Dachbank im Hangenden des «Dogger β» kondensiert sind. Biostratigraphisch belegen lässt sich diese Vermutung jedoch nicht (vgl. Kap. 7.1.1). Anders als im gesamten Gebiet zwischen Ajoie und der Nordostschweiz sind in der Bohrung Kreuzlingen vier-einhalb Parasequenzen, also zwei «zuviel» vorhanden. Diese Verhältnisse werfen Fragen auf, die im Rahmen dieses Artikels nur teilweise beantwortet werden können, nämlich zu den Bildungsmechanismen von Parasequenzen, zur stratigraphischen Gliederung der untersuchten Einheit sowie zur detaillierten Korrelation mit Süddeutschland, wo im «Dogger β» der östlichen Schwäbischen Alb z.T. ebenfalls mehr als zweieinhalb Parasequenzen vorliegen (vgl. Bayer & McGhee 1984).

7.3.4 «Überzählige» Parasequenzen – Diskussion und Interpretation

Aus stratigraphischen Überlegungen ist es wichtig zu wissen, auf welcher relativen hierarchischen Stufe (vgl. Miall 1997)

sich die zusätzlichen Parasequenzen befinden, und welches die Gründe für die Vervielfachung sind. Bezüglich der Hierarchie fallen zwei Möglichkeiten in Betracht: (1) Die zusätzlichen Parasequenzen sind auf der gleichen hierarchischen Stufe wie die übrigen, d. h. ihnen liegen Meeresspiegelschwankungen 4. Ordnung zugrunde, was bedeuten würde, dass sie im gesamten Gebiet zwischen der Ajoie und Berlingen – wohl am Top der Sissach-Schichten – kondensiert wären. (2) Es handelt sich um hierarchisch untergeordnete Parasequenzen, d. h. um eine Vervielfachung von normalen Parasequenzen.

In der Passwang-Alloformation (Kap. 2) repräsentiert eine durch Meeresspiegelschwankungen 4. Ordnung gebildete Parasequenz eine mittlere Zeitspanne von etwa 0,85 Ma, die durchschnittliche, arithmetisch ermittelte Dauer einer Ammoniten-Biozone im Aalénien und Bajocien entspricht etwa 1,2 Ma (Burkhalter 1996). Im zentralen Teil des Kantons Basel-Landschaft, wo die Sissach-Schichten und ihr Hangendes nicht kondensiert sind, fehlen jedoch Anzeichen für eine längere Sedimentationsunterbrechung zwischen der Murchisonae- und der Concavum-Zone.

Somit kann davon ausgegangen werden, dass es sich um hierarchisch untergeordnete Parasequenzen handelt, für deren Bildung besondere Verhältnisse im Zusammenspiel von Subsidenz oder Meeresspiegelschwankungen verantwortlich waren, und zwar in Form von differentieller Subsidenz bzw. von Interferenz zwischen der dominierenden und höherfrequenten Meeresspiegelschwankungsfrequenzen. Für das Wirken beider Prozesse liegen in verschiedenen stratigraphischen Einheiten im Nordschweizer Jura Hinweise vor: im Opalinus-Ton (Bläsi 1987, Allia 1996, Burkhalter 1996), in der Passwang-Alloformation (Burkhalter 1993, 1996), im Hauptrogenstein (Gonzalez 1993) und im «Oxfordien» (Pittet 1994).

Mit den folgenden zwei Szenarien soll gezeigt werden, auf welche Weise der jeweilige Faktor eine Verdoppelung einer Parasequenz bewirken kann.

Differentielle Subsidenz

Durch lokal verstärkte Subsidenz während der Sandschüttung (d. h. bei niedrigem relativem Meeresspiegel) wird ein durch Monoklinalen (Flexuren) oder Brüche begrenztes Gebiet unter die Sturmwellenbasis abgesenkt. Voraussetzung hierfür ist, dass die Absenkungsbewegung rascher als die Sedimentakkumulation verläuft, so dass sich im Ablagerungsraum ein Relief entwickelt. In dieser Senke, die als Sedimentfalle wirkt, wird erneut Ton abgelagert und anschliessend, von den höher liegenden Flanken eingebracht, wiederum Sand. Auf diese Weise werden im rascher subsidierenden Gebiet zwei Parasequenzen gebildet (vgl. Funk et al. in Bayer et al. 1983), während auf der langsamer subsidierenden Hochzone gleichzeitig nur eine entsteht (durch Meeresspiegelschwankung).

Einfluss höherfrequenter Meeresspiegelschwankungen

Die Überlagerung der Meeresspiegelzyklen 4. Ordnung durch solche 5. Ordnung kann bewirken, dass bei einem allgemeinen

Meeresspiegeltiefstand bei bestimmten Gegebenheiten die höherfrequenten Zyklen im Sediment abgebildet werden (Fig. 9). Voraussetzungen hierfür sind:

- Ein günstiges Verhältnis der Phasen der beiden Meeresspiegelzyklen, so dass in den Zeitraum des übergeordneten Tiefstandes zwei untergeordnete Tiefstände zu liegen kommen.
- Die bathymetrische Stellung der Sedimentoberfläche nahe der maximalen (mittleren) Tiefe der Sturmwellenbasis.
- Eine Subsidenzrate, die einerseits die Verminderung der Akkomodation durch den fallenden Meeresspiegel (bzw. die Absenkung der Sturmwellenbasis) zulässt, andererseits genügend hoch ist, damit – bei genügender Sedimentakkumulation – die gebildeten Parasequenzen 5. Ordnung erhalten bleiben.
- Genügend Zeit zur Ausbildung eines Gleichgewichts zwischen hydrodynamischem Regime und Sediment.

Evaluation der beiden Szenarien

Voraussetzung für eine Verdoppelung von Parasequenzen durch differentielle Subsidenz ist die Absenkung eines Areals zum Zeitpunkt der Sandsedimentation, d. h. während des relativen Meeresspiegeltiefstandes. Wenn die Absenkung während eines relativen Hochstandes des Meeresspiegels, d. h. während der Phase der Tonsedimentation vor sich geht, ist dagegen nur ein Mächtigkeitssprung in der Tonsteinfazies zu erwarten. Da Meeresspiegelschwankungen und Subsidenz im wesentlichen unabhängig voneinander verlaufen, ist es eher unwahrscheinlich, dass sich durch differentielle Subsidenz in einem Profil gleich zwei zusätzliche Parasequenzen bilden. Im weiteren steht die Eigenschaft der abgesenkten Scholle als Sedimentfalle im Widerspruch zur Ausbildung von Aufarbeitungshorizonten (Omissionsdiskontinuitäten) am Top der Parasequenzen.

Im Falle des Einflusses höherfrequenter Meeresspiegelschwankungen sind die in den Parasequenzen auftretenden Omissions- und Regressionsdiskontinuitäten besser zu erklären. Diese Diskontinuitätstypen, erstmals (und mit anderen Namen) für Sequenzen 3. Ordnung beschrieben (Van Wagoner et al. 1988), bilden sich offenbar massstabsunabhängig. Im Prinzip wären zwischen Diskontinuitäten, die durch Meeresspiegelschwankungen 3., 4. und 5. Ordnung verursacht wurden, Unterschiede in der Ausbildung («Reife») zu erwarten. In der Praxis ist jedoch die Unterscheidung zwischen Aufarbeitungshorizonten verschiedener Ordnung nur aufgrund fazieller Kriterien nicht mit Sicherheit möglich.

Weder das eine noch das andere Szenario lässt sich völlig ausschliessen, doch scheint der Einfluss höherfrequenter Meeresspiegelschwankungen aufgrund der obigen Argumente plausibler. Beiden Szenarien ist gemeinsam, dass die Verdoppelung der Parasequenzen in bathymetrisch tiefer liegenden Bereichen auftritt und somit auf ein Relief im Ablagerungsraum hinweist. Bezüglich der grösseren Zahl von Parasequenzen in der östlichen Schwäbischen Alb ist denkbar, dass sich dort ebenfalls höherfrequente Meeresspiegelschwankungen abzeichneten.

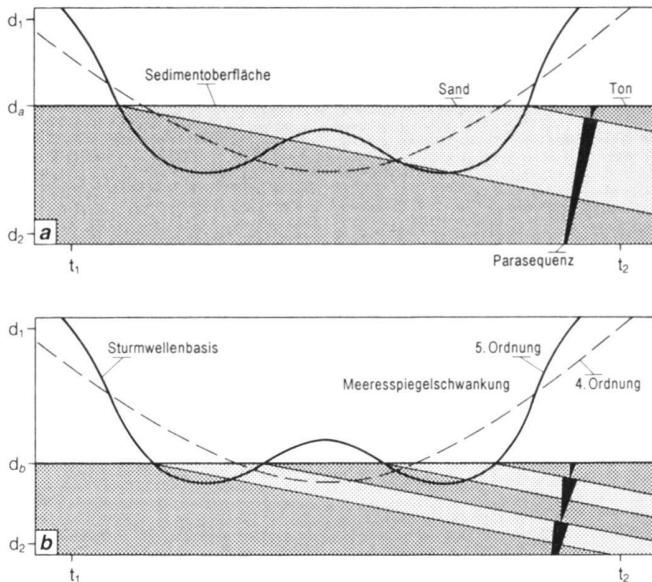


Fig. 9. Synchrone Bildung von Parasequenzen unterschiedlicher Ordnung im selben Ablagerungsraum.

Beide Diagramme stellen den gleichen Zeitabschnitt von ca. 0,3 Ma Dauer dar. (a) Höher gelegene bathymetrische Position: Bildung einer Parasequenz 4. Ordnung. (b) Tiefer gelegene bathymetrische Position: Bildung von zwei Parasequenzen 5. Ordnung (Erläuterung im Text). Die Konstruktion erfolgte nach den Vorlagen in Einsele (1985, 1992). Folgende, vereinfachende Annahmen liegen ihr zugrunde: (1) Die Sedimentationsrate ist konstant und gleich der Subsidenzrate. (2) Unterhalb der Sturmwellenbasis kommt Ton zur Ablagerung, darüber Sand. (3) Nur die Zyklen 5. Ordnung entsprechen dem tatsächlichen Gang des Meeresspiegels bzw. der parallel dazu verlaufenden Sturmwellenbasis.

7.4 Zusammenfassung der stratigraphischen Resultate

In allen drei Bohrungen liegt die litho-(bzw. allo-)stratigraphische Einheit «Dogger β » in der Comptum-Subzone (p.p.?) und der Murchisonae-Zone, d.h. sie entspricht – wie bereits vorweggenommen – den Sissach-Schichten (bzw. Murchisonae-Schichten s. str.) des Juras und der zentralen Nordschweiz. In den Bohrungen Herdern und Berlingen ist (sehr wahrscheinlich) der obere Teil der Murchisonae-Zone in der obersten Dachbank kondensiert. Die Concavum-Zone konnte in keinem der Profile nachgewiesen werden; sie fehlt entweder oder ist im Kondensationshorizont im Hangenden des «Dogger β » vertreten. In diesem Kondensationshorizont sind in den Bohrungen Berlingen und Kreuzlingen zudem die Discites- und die untere Laeviuscula-Zone kondensiert. In östlicher Richtung setzt sich dieser Horizont nach Süddeutschland fort, wo er «Sowerbyi-Oolith» genannt wird (z.B. Franz 1986, Geyer & Gwinner 1986). Richtung Westen erstreckt er sich bis in den östlichen Kanton Basel-Landschaft, wo die Sedimentation generell kontinuierlich verlief, und setzt im Passwanggebiet wieder ein. Im Untersuchungsgebiet wird der maximale zeitliche Umfang der Kondensation (ca. 4,5–5 Ma) am Ache-

berg bei Zurzach erreicht (Fig. 10). Aus Figur 10 geht weiter hervor, dass der «Dogger β » und seine Äquivalente nur in der Umgebung von Sissach vollständig in Form nichtkondensierter Sedimente vorhanden sind.

8. Sedimentationsraten und Dauer von Sedimentationsunterbrechungen

Aalénien- und Bajocien-Parasequenzen 4. Ordnung vertreten im Untersuchungsgebiet durchschnittlich ca. 0,85 Ma (Kap. 7.3.4). Für Parasequenzen höherer Ordnung liegen keine Angaben zur Bildungsdauer vor. In den Bohrungen Berlingen und Herdern tritt je eine Parasequenz 4. Ordnung auf, die vollständig innerhalb der gekernten Strecke liegt. In Berlingen ist diese 14,95 m mächtig, in Herdern 19,9 m (Kap. 6.4). Daraus ergeben sich durchschnittliche Sedimentationsraten von 17,6 bzw. 23,4 m/Ma. Bei diesen Zahlen sind weder die Dekompaktion des Sediments noch die nachträgliche Erosion von einigen Metern Sandstein im Dach der Parasequenz noch die Sedimentationsunterbrechungen bei der Bildung von Regressions- und Omissionsdiskontinuitäten (Kap. 5.3.4) berücksichtigt; somit dürften die wahren Werte um einiges höher gelegen haben. Im Vergleich dazu betrug die Sedimentationsrate des Opalinus-Tons (nicht dekomprimiert), je nach Annahme der Ablagerungsdauer, etwa zwischen 80 und 120 m/Ma. In deutlichem Gegensatz zu diesen Werten steht die Nettosedimentakkumulationsrate von einigen dm/Ma im Kondensationshorizont im Hangenden des «Dogger β ». Rechnet man mit einer mittleren Dauer einer Ammoniten-Biozone im Aalénien und Bajocien von 1,2 Ma (Kap. 7.3.4), so dauerte die Phase stark reduzierter Sedimentakkumulation bzw. völliger Omission etwa zwischen 2,5 (Herdern) und 3,5 Ma (Berlingen).

9. Isopachenkarte

9.1 Verwendete Grundlagen

Der Faltenjura-Anteil der verwendeten topographischen Basis wurde nach dem Rotationsmodell von Laubscher (1965) palinospastisch rekonstruiert (s. a. Burkhalter 1996); dadurch fehlt in diesem Bereich das Gewässernetz.

Nebst den Daten der drei untersuchten Bohrungen wurden Mächtigkeitsangaben aus folgenden Quellen übernommen: Erb (1958), Lemcke & Wagner (1961), Schneider (1962) und Kämpfe (1984) für das Gebiet östlich und nördlich des Bodensees (z. T. ausserhalb des Kartenausschnitts), Hahn (1971) und Feist-Burkhardt (1992) für den Eichberg (Wutachgebiet) sowie Genser (1966), Hofmann (1981) und Bläsi (1987) für das Gebiet zwischen Randen und dem Zusammenfluss von Aare und Rhein.

Die Mächtigkeitsangabe für die Bohrung Weiach weicht aufgrund einer Neudatierung mittels Palynomorphen (unveröff. Daten S. Feist-Burkhardt) und der Festlegung der Untergrenze nach sequenzstratigraphischen Kriterien leicht von dem in Matter et al. (1988a) publizierten Wert ab. Abweichungen

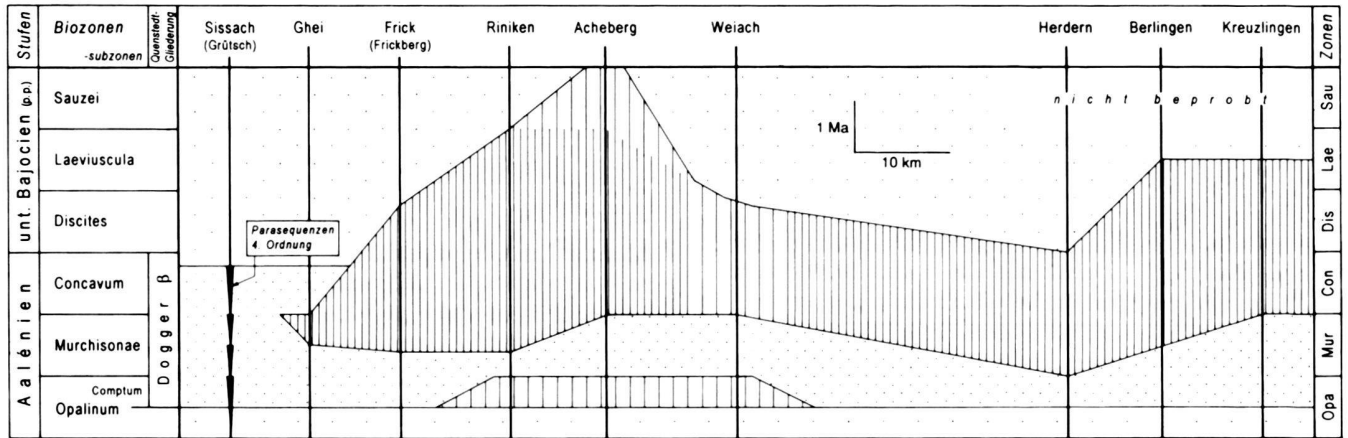
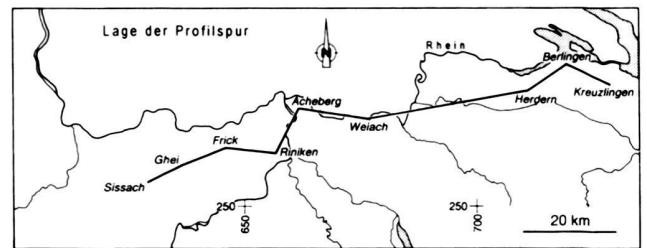


Fig. 10. Wheeler-Diagramm zur Verdeutlichung der Schichtlücken innerhalb des «Dogger β» (bzw. seiner Äquivalente, punktiert) und in dessen Hangendem. Engständige Schraffur: Ablagerungen aus dieser Zeit fehlen oder sind stark kondensiert (Mächtigkeit < 1 m); weitständige Schraffur: schwächer kondensierte Ablagerungen (Mächtigkeit ca. 1–4 m). Daten: Bader (1925), Matter et al. (1988a, b), Burkhalter (1996), S. Feist-Burkhardt (unveröff.) und diese Arbeit.



ergeben sich auch bei der Bohrung Lindau: Büchi et al. (1965) geben den Wert von ca. 17,5 m. Gemäss den petrophysikalischen Logs ist ihre Grenzziehung nicht zwingend und insgesamt zu weit unten angesetzt. Die Mächtigkeit wird hier aufgrund der Logs auf ca. 10 m geschätzt.

Die Angaben für die Bohrung Altshofen, den Chestenberg, die Lägeren und die Bohrung Zurzach L3 stammen von Fischer & Luterbacher (1963), Jäckli (1966), Senftleben (1923) bzw. H. Schmassmann (mündl. Mitt.), diejenigen für den Nordjura westlich des Unterlaufs der Aare von Burkhalter (1996) und diejenigen für die Badische Vorbergzone von Contini (1967), Kämpfe (1984) und Ernst (1989).

Da Angaben zur Abgrenzung oder zum genauen stratigraphischen Umfang des «Dogger β» z.T. fehlen, sind bei den Mächtigkeitwerten aus Contini (1967), Schneider (1962) und Kämpfe (1984) gewisse Vorbehalte angebracht.

Nebst den Isopachen wurden dort, wo bekannt, Isolinien der Maximalwerte der mittleren Korngrösse im Dach des «Dogger β», der Sissach- und der Murchisonae-Schichten in die Karte eingetragen. Diese Werte eignen sich, mindestens im Nordjura, als Hilfsmittel bei der Korrelation und zur Interpretation der Schüttungsrichtung des Sandes (Burkhalter 1996).

9.2 Beschreibung und paläogeographische Interpretation

Die Isopachenkarte (Fig. 11) zeigt einen Streifen mit geringen Mächtigkeiten, welcher sich in SW-NE-Richtung aus dem Berner Jura bis in den Aargauer Tafeljura erstreckt. Fazial dominiert

nieren im Bereich mit Mächtigkeiten < 5 m bioklastische Kalke (vorw. Enkrinite) und Eisenoolithe, im Bereich mit Mächtigkeiten zwischen 5 und 10 m Sandkalke und Tonsteine. Es handelt sich bei diesem Streifen um eine Hochzone (Burkhalter 1996), den nordöstlichen Ausläufer des «Haut-fond nord-jurassien» (Contini 1970), der möglicherweise in der von einigen Autoren postulierten Schwarzwald-Schwelle (vgl. Ernst 1990, Einsele & Bayer 1991) seine Fortsetzung fand.

Nordwestlich und nordöstlich an den «Haut-fond nord-jurassien» anschließend befinden sich zwei Bereiche, in denen vergleichsweise große Mächtigkeiten von > 20 m auftreten: das Oberelsässer Becken (Contini 1970) und das Gebiet zwischen Zurzach und der Lägeren. In diesen Bereichen dominieren Sandkalke.

Im Gebiet nordöstlich der Lägeren entsteht durch die geringe Datenmenge der Eindruck eines weiten Bereiches mit scheinbar gleichförmigen Mächtigkeiten zwischen 10 und 20 m; diese nehmen auf der Höhe des Bodensees, d.h. in Richtung des Schwäbischen Beckens, wiederum auf höhere Werte zu. Zwischen Weiach und dem Randengebiet überwiegen tonige Sedimente, im Bodenseegebiet dagegen die charakteristische schwäbische Fazies mit tonflaserigen Sandsteinen und sandflaserigen Tonsteinen.

Die Maximalwerte der mittleren Quarzkorngrössen im Dach des «Dogger β», deren Isolinien, soweit bekannt, in groben Zügen parallel zu den Isopachen verlaufen (Fig. 11), können zusammen mit der Fazies- und der Mächtigkeitsverteilung zur Interpretation der Herkunft des Sandes herangezogen wer-

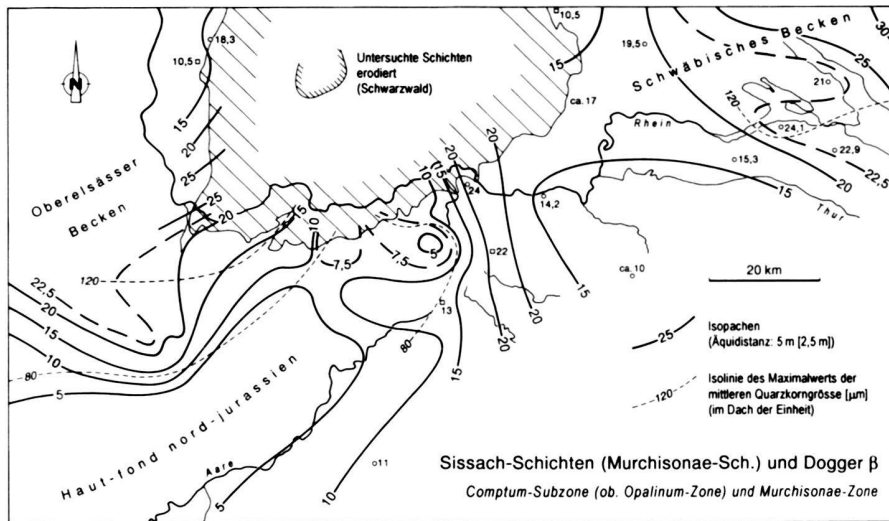


Fig. 11. Isopachenkarte des «Dogger β», der Sissach- und der Murchisonae-Schichten. Zusätzlich dargestellt sind – soweit bekannt – die Isolines des Maximalwerts der mittleren Quarzkorngrösse am Top der Einheit.

den. Einschränkend wirkt sich allerdings aus, dass das Dach des sandigen, d. h. nichtkondensierten Teils des «Dogger β» nicht überall gleich alt ist (Fig. 10).

Dennoch kann, zusammen mit dem aus der palynologischen Untersuchung gewonnenen Resultat der starken terrigenen Beeinflussung aus östlicher bis nordöstlicher Richtung, davon ausgegangen werden, dass der Sand im Gebiet östlich des «Haut-fond nord-jurassien» via Transport durch küstenparallele, d. h. NE-SW verlaufende Strömungen (vgl. Sanns & Schweizer 1987) aus dieser Richtung vom Vindelizischen Rücken her stammt. Das südlich des Untersuchungsgebietes gelegene Alemannische Land dürfte aufgrund seiner geringen Fläche und des wahrscheinlich flachen Reliefs nur wenig terrigenen Detritus geliefert haben (Burkhalter 1996). Nicht bekannt ist, ob – und falls ja in welcher Form – im aufschlussarmen Gebiet zwischen der Lägeren und der Bohrung Herdern weitere Sandkalk- bzw. Sandsteineinschaltungen auftreten, oder ob es sich bei der Sandkalkfazies am Ostrand des «Haut-fond nord-jurassien» um ein isoliertes Vorkommen handelt (vgl. Naef & Birkhäuser 1996).

Der Sand im Oberelsässer Becken dürfte hingegen aus nördlicher bis nordwestlicher Richtung von der Rheinischen Masse oder von möglichen Auftauchbereichen im Gebiet der Vogesen her stammen und durch küstenparallele, hier N-S verlaufende Strömungen (s. a. Angaben in Ernst 1990 für das südliche Oberrheingebiet) bis zum recht markanten Nordweststrand des «Haut-fond nord-jurassien» (Fig. 11) verfrachtet worden sein (s. paläogeographische Karte in Burkhalter 1996).

Verdankungen

Wir danken herzlich Prof. A. Matter, Bern, für die logistische Unterstützung, den beiden Reviewern, Dr. P. Hochuli und Dr. W. Etter, Zürich, für ihre Kritik und Anregungen, Prof. H. Rieber, Zürich, für die Bestimmung des Ammo-

nitens, Prof. A. Wetzel, Basel, für die Bestimmung von Spurenfossilien, Dr. M. Franz, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, für die Beschaffung von Literatur, A. Werthemann, Bern, für die Fotografien, P. Hayoz, Bern, für die grafische Nachbearbeitung der Range-Charts sowie der SEAG Aktiengesellschaft für Schweiz. Erdöl, St. Gallen, für die Bewilligung zur Publikation der Bohrresultate.

LITERATURVERZEICHNIS

- ALDINGER, H. 1953: Die Herkunft der sandigen Ablagerungen im schwäbischen Lias und Dogger. *N. Jb. Geol. Paläont., Abh.* 97, 220–240.
- 1968: Die Palaeogeographie des schwäbischen Jurabeckens. *Eclogae geol. Helv.* 61, 167–182.
- ALLIA, V. 1996: Sedimentologie und Ablagerungsgeschichte des Opalinuston in der Nordschweiz. Diss. Univ. Basel.
- ALLIA, V. & WETZEL, A. 1995: Sedimentology of shallow marine muds – an example from the Middle Jurassic (Jura mountains, northern Switzerland). *Terra Abstr.* 1/7, 263.
- BADER, F. 1925: Beiträge zur Geologie des nordöstlichen Tafeljura zwischen Aare und Rhein. Diss. Univ. Zürich.
- BAYER, A., BERNOULLI, D., BREITSCHMID, A., FUNK, H., GIGON, W.O., GYGL, R.A., HERB, R., MATTER, A., MOHLER, H.-P., REMANE, J. & WINKLER, W. 1983: Bericht über die Jubiläumsexkursion «Der Faziesbegriff und die Sedimentationsprozesse» der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft vom 12. bis 17. September 1982. *Eclogae geol. Helv.* 76, 125–180.
- BAYER, U., ALTHEIMER, E. & DEUTSCHLE, W. 1985: Environmental evolution in shallow epicontinental seas: sedimentary cycles and bed formation. In: *Sedimentary and evolutionary cycles*. (Ed. by BAYER, U. & SEILACHER, A.). *Lecture Notes in Earth Sciences* 1, 347–381.
- BAYER, U. & MCGHEE, G.R. 1984: Iterative evolution of Middle Jurassic ammonite faunas. *Lethaia* 17, 1–16.
- 1985: Evolution in marginal epicontinental basins: The role of phylogenetic and ecological factors (ammonite replacements in the German Lower and Middle Jurassic). In: *Sedimentary and evolutionary cycles*. (Ed. by BAYER, U. & SEILACHER, A.). *Lecture Notes in Earth Sciences* 1, 164–220.
- BLASI, H.-R. 1987: Lithostratigraphie und Korrelation der Doggersedimente in den Bohrungen Weiach, Riniken und Schafisheim. *Eclogae geol. Helv.* 80, 415–430.

- BLOOS, G. 1976: Untersuchungen über Bau und Entstehung der feinkörnigen Sandsteine des Schwarzen Jura α (Hettangium u. tiefstes Sinemurium) im schwäbischen Sedimentationsbereich. Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart [N.F.] 71, 1–269.
- BROMLEY, R.G. 1990: Trace fossils: biology and taphonomy. Special topics in paleontology 3. Unwin Hyman, London.
- BUCHI, U.P. 1971: Die schweizerische Erdölfrage im Jahre 1970. Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 38/93, 7–16.
- 1982: Die schweizerische Erdölfrage 1981. Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 48/115, 13–21.
- BUCHI, U.P., LEMCKE, K., WIENER, G. & ZIMDARS, J. 1965: Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 32/82, 7–38.
- BURKHALTER, R.M. 1993: Die Passwang-Alloformation (unteres Aalenien bis unteres Bajocien) im zentralen und nördlichen Jura – Sequenzstratigraphie, synsedimentäre Tektonik, Genese von Eisenoolithen und -stromatolithen. Diss. Univ. Bern.
- 1995: Ooidal ironstones and ferruginous microbialites: origin and relation to sequence stratigraphy (Aalenian and Bajocian, Swiss Jura mountains). Sedimentology 42, 57–74.
- 1996: Die Passwang-Alloformation (unteres Aalenien bis unteres Bajocien) im zentralen und nördlichen Schweizer Jura. Eclogae geol. Helv. 89, 875–934.
- BURKHALTER, R.M. & HARTMANN, B. 1994: Der «Dogger β »-Sandstein der Bohrung Herdern-1. Nagra intern. Ber.
- CONTINI, D. 1967: Paléogéographie de la moitié sud du Fossé rhénan au Dogger. The Rhinegraben progress report 1967, 44–48.
- 1970: L'Aalenien et le Bajocien du Jura franc-comtois. Ann. sci. Univ. Besançon (3), 11, 1–204.
- EINSELE, G. 1985: Response of sediments to sea-level changes in differing subsiding storm-dominated marginal and epeiric basins. In: Sedimentary and evolutionary cycles. (Ed. by BAYER, U. & SEILACHER, A.). Lecture Notes in Earth Sciences 1, 68–97.
- 1992: Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget. Springer, Berlin.
- EINSELE, G. & BAYER, U. 1991: Asymmetry in transgressive-regressive cycles in shallow seas and passive continental margin settings. In: Cycles and events in stratigraphy. (Ed. by EINSELE, G., RICKEN, W. & SEILACHER, A.). Springer, Berlin, 660–681.
- ERB, L. 1958: Geologische Ergebnisse von drei Bohrungen auf Eisenerz im Hegau. Mitt. bad. Landesverw. Naturk. Naturschutz [N.F.] 7/2, 105–111.
- ERNST, M. 1989: Das Mesozoikum der Vorbergzone auf Blatt Kandern/Südbaden (TK 8211): Kartierung, Stratigraphie und Paläogeographie unter besonderer Berücksichtigung der Fazies des Braunjura, speziell des Hauptrogenstein. Diss. Univ. Freiburg i. Br.
- 1990: Stratigraphie und Fazies des Braunen Juras im südlichen Oberrheingebiet (Blatt Kandern). Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. 32, 93–157.
- FEIST-BURKHARDT, S. 1990: Dinoflagellate cyst assemblages of the Hausen coreholes (Aalenian to early Bajocian), southwest Germany. Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine 14/2, 611–633.
- 1992: Palynological investigations in the Lower and Middle Jurassic of Switzerland, France and Germany: Palynofacies, and type of organic matter; dinoflagellate cyst morphology and stratigraphy. Thèse de Doctorat No. 2577, Dépt. Géol. Paléont., Univ. Genève.
- FEIST-BURKHARDT, S. & WILLE, W. 1992: Jurassic palynology in southwest Germany – state of the art. Cah. Micropaléont. 7/1–2, 141–164.
- FISCHER, H. & LUTERBACHER, H. 1963: Das Mesozoikum der Bohrungen Courtion 1 und Altishofen 1. Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] i 15.
- FOLK, R.L. 1974: Petrology of sedimentary rocks. Hemphill, Austin.
- FRANZ, M. 1986: Vergleichende Ökologie und Fazies der Oolithhorizonte im Bajocium Südwestdeutschlands. Diss. Univ. Heidelberg.
- GENSER, H. 1966: Schichtenfolge und Stratigraphie des Doggers in den drei Faziesbereichen der Umrandung des Südschwarzwaldes (Bad. Oberrheingebiet – Schweizer Tafeljura, Klettgau, Wutachgebiet). Oberrh. geol. Abh. 15, 1–60.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1995: Symbolschlüssel Geologie (Teil I) und Bodenkunde Baden-Württemberg. Informationen (geol. Landesamt Bad.-Württ.) 5.
- GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. 1986: Geologie von Baden-Württemberg. 3. Aufl. Schweizerbart, Stuttgart.
- GONZALEZ, R. 1993: Die Hauptrogenstein-Formation der Nordwestschweiz (mittleres Bajocien bis unteres Bathonien). Diss. Univ. Basel.
- HAHN, W. 1971: Der Jura. In: Die Wutach. (Hrsg. v. SAUER, K.F.J. & SCHNEIDER, M.). Mitt. bad. Landesverw. Naturk. Naturschutz, Freiburg i. Br.
- HAUBER, L. 1961: Die schweizerische Erdölfrage im Jahre 1960. Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 27/73, 1–6.
- HOFMANN, F. 1981: Erläuterungen zu Blatt 1031 Neunkirch (Atlasblatt 74). Geol. Atlas Schweiz 1 : 25 000. Schweiz. geol. Komm.
- HOMWOOD, P., GUILLOCHEAU, F., ESCHARD, R. & CROSS, T.A. 1992: Corrélation haute résolution et stratigraphie génétique: une démarche intégrée. Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine 16/2, 357–381.
- JACKLI, H. 1966: Erläuterungen zu Blatt 1090 Wohlen (Atlasblatt 50). Geol. Atlas Schweiz 1 : 25 000. Schweiz. Geol. Komm.
- KAMPPE, C. 1984: Tiefbohrungen in Baden-Württemberg und umgebenden Ländern. Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart [N.F.] 80.
- LAUBSCHER, H.P. 1965: Ein kinematisches Modell der Jurfaltung. Eclogae geol. Helv. 58, 231–318.
- LEMCKE, K. & WAGNER, R. 1961: Zur Kenntnis des vortertiären Untergrundes im Bodenseegebiet. Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 27/73, 9–14.
- LENTIN, J.K. & WILLIAMS, G.L. 1993: Fossil dinoflagellates: Index to genera and species. 1993 edition. Contr. Ser. amer. Assoc. stratigr. Palynologists 28.
- MATTER, A., PETERS, T., BLASI, H.-R., MEYER, J., ISCHI, H. & MEYER, C. 1988a: Sondierbohrung Weiach, Geologie. Geol. Ber. Landeshydrol. u. -geol. 6.
- MATTER, A., PETERS, T., ISENCHMID, C., BLASI, H.-R., ZIEGLER, H.-J. 1988b: Sondierbohrung Riniken, Geologie. Geol. Ber. Landeshydrol. u. -geol. 5.
- MIALL, A.D. 1997: The geology of stratigraphic sequences. Springer, Berlin.
- MITCHUM, R.C. & VAN WAGONER, J.C. 1991: Parasequences and high frequency sequences in well logs, core, and outcrops. In: Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration (Ed. by PAYTON, C.E.). Mem. amer. Assoc. Petroleum Geol. 26, 205–212.
- NAEF, H. & BIRKHAUSER, P. 1996: Reflexionsseismik zur Erkundung des Opalinustons in der Nordschweiz. Bull. angew. Geol. 2/1, 113–134.
- PARTINGTON, M.A., COPESTAKE, P., MITCHENER, B.C. & UNDERHILL, J.R. 1993: Biostratigraphic calibration of genetic stratigraphic sequences in the Jurassic – lowermost Cretaceous (Hettangian to Ryazanian) of the North Sea and adjacent areas. In: Petroleum geology of northwest Europe. (Ed. by PARKER, J.R.). Proc. 4th Conf., geol. Soc., London, 371–386.
- PITTET, B. 1994: Modèle d'estimation de la subsidence et des variations du niveau marin: Un exemple de l'Oxfordien du Jura suisse. Eclogae geol. Helv. 87, 513–543.
- RIDING, J.B. 1984: A palynological investigation of Toarcian and early Aalenian strata from the Blea Wyke area, Ravenscar, North Yorkshire. Proc. Yorkshire geol. Soc. 45, 109–122.
- RIDING, J.B. & THOMAS, J.E. 1992: Dinoflagellate cysts of the Jurassic System. In: A stratigraphic index of dinoflagellate cysts. (Ed. by POWELL, A.J.). Chapman & Hall, London, 7–57.
- ROGOWSKI, E. 1971: Sedimentpetrographische Untersuchungen in den Dogger-beta-Sandsteinen (Oberes Aalenium) der östlichen Schwäbischen Alb. Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart [N.F.] 65.
- SANNS, M. & SCHWEIZER, V. 1987: Zur Fazies und Genese des Ober-Aalenium (Braunjura β) der südwestlichen Schwäbischen Alb. Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. 29, 125–143.
- SCHNEIDER, J. 1962: Der Jura in Erdölbohrungen des westlichen Molassetroges. Hermann-Aldinger-Festschrift, Stuttgart, 163–172.
- SENFLEBEN, G. 1923: Beiträge zur geologischen Erkenntnis der West-Lägern und ihrer Umgebung. Diss. Univ. Zürich.
- SPEARS, D.A. 1989: Aspects of iron incorporation into sediments with special reference to the Yorkshire Ironstones. In: Phanerozoic ironstones. (Ed. by YOUNG, T.P. & TAYLOR, W.E.G.). Spec. Publ. geol. Soc. London 46, 19–30.

- STRASSER, A., PASQUIER, J.-B. & PITTET, B. 1996: High-resolution sequence stratigraphy combined with cyclostratigraphy: a powerful tool in stratigraphic correlation. Abstr. 4th meeting of Swiss sedimentologists, Fribourg, 27.1.1996, 24.
- SWIFT, D.J.P., PHILLIPS, S. & THORNE, J.A. 1991: Sedimentation on continental margins, IV: lithofacies and depositional systems. In: Shelf sand and sandstone bodies. (Ed. by SWIFT, D.J.P., OERTEL, G.F., TILLMAN, R.W. & THORNE, J.A.). Spec. Publ. int. Assoc. Sedimentol. 14, 89–152.
- TRUMPY, R. 1959: Hypothesen über die Ausbildung von Trias, Lias und Dogger im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. *Eclogae geol. Helv.* 52, 435–448.
- UCHMAN, A. & KRENMAYR, H.G. 1995: Trace fossils from Lower Miocene (Ottangian) molasse deposits of Upper Austria. *Paläont. Z.* 69, 503–524.
- VAN WAGONER, J.C., MITCHUM, R.C., CAMPION, K.M. & RAHMANIAN, V.D. 1990: Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: Concepts for high-resolution correlation of time and facies. *Amer. assoc. Petroleum. Geol., Methods in Explor. Ser.* 7.
- VAN WAGONER, J.C., POSAMENTIER, H.W., MITCHUM, R.C., VAIL, P.R., SARG, J.F., LOUTIT, T.S. & HARDENBOL, J. 1988: An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Sea-level changes – an integrated approach. (Ed. by WILGUS, C.K., HASTINGS, B.S., KENDALL, C.G.St.C., POSAMENTIER, H.W., ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C.). Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral. 42, 39–45.
- WEBER, H.-S. 1964: Zur Stratigraphie und Ammonitenfauna des Braunjura (Dogger) β der östlichen Schwäbischen Alb. Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart [N.F.] 44.
- WERNER, F. 1959: Zur Kenntnis der Eisenoolithfazies des Braunjura β von Ostwürttemberg. Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart [N.F.] 23.
- WETZEL, A. & ALLIA, V. 1996: Der Ablagerungsraum des Opalinustons – eine sedimentologische Analyse. *Informationen (geol. Landesamt Bad.-Württ.)* 8, 20–24.
- WETZEL, A. & BROMLEY, R.G. 1994: *Phycosiphon incertum* revisited: *Anconichnus horizontalis* is its junior subjective synonym. *J. Paleont.* 68, 1396–1402.
- WILD, H. 1951: Zur Bildungsgeschichte der Braunjura-beta-Flöze und ihrer Begleitgesteine in NO-Württemberg. *Geol. Jb.* 65, 271–298.
- WILLE, W. 1982: Evolution and ecology of Upper Liassic dinoflagellates from SW-Germany. *N. Jb. Geol. Paläont. [Abh.]* 164, 74–82.

Manuskript eingegangen 31. Januar 1997

Revidierte Fassung angenommen 16. Mai 1997

