

• IV. Zyklo- und sequenzstratigraphische Korrelation

Die im Germanischen Becken herrschenden Bedingungen verursachten eine Sedimentabfolge, die man ausgezeichnet zyklisch interpretieren kann und deren Sequenzanalyse uns ein Entwicklungsbild von der Sedimentation im Becken und seinen tektonischen Einflüssen gibt. Die Sedimente der flachmarinen Karbonat-Rampe und ihrer Umgebung sind für Meeresspiegelschwankungen sehr empfindlich und erlauben dadurch eine detaillierte Zyklostratigraphie.

1. Methodik und Interpretation

Die in dieser Arbeit vorgeschlagenen und zur Korrelation herangezogenen Zyklen basieren auf sehr detaillierten lithologischen Profilaufnahmen, auf Messungen der natürlichen Gammastrahlung und auf Logs von Bohrungen. Zunächst wurden Zyklen auf der Basis der sedimentologischen Merkmale und des Fossilinhalts definiert. Es wurde also eine klassische Sedimentanalyse durchgeführt. Danach wurden die Gammakurven zyklisch interpretiert. Abschließend wurden beide Interpretationen parallelisiert. Für die Korrelation zwischen weit entfernten Aufschlüssen wurden zusätzlich Gammakurven von Bohrungen herangezogen.

a) Lithologische Profilaufnahme

Lithologische Profile (siehe Kapitel I.3.) wurden von allen Aufschlüssen im Maßstab 1:25 aufgenommen. Eine so detaillierte Bearbeitung erlaubt die Aufzeichnung von Schichten bis zu einer Mächtigkeit von ca. 2-2,5 cm und die Berücksichtigung aller beobachteten Strukturen und Fossilien. Auf der Basis dieser Daten wurde eine bathymetrische Reihung der Lithotypen (siehe Kapitel III) aufgestellt. Da das Germanische Becken generell ein flaches, epikontinentales Meer war, lag die maximale Beckentiefe für die Wellenkalk-Fazies schätzungsweise bei etwa 40-70 m (KLOTZ 1992, AIGNER & REINECK 1982). Die einzelnen Lithotypen können dabei nicht absoluten Wassertiefen zugeordnet werden, sondern es sind nur relative Angaben möglich. So kann z.B. gesagt werden, daß der Lithotyp x flacher ist als der Lithotyp y. Gleiche Lithotypen können in verschiedenen Profilen in unterschiedlichen Tiefen abgelagert worden sein, treten aber innerhalb der Sedimentations-Zyklen stets in gleicher Position auf.

Auf der Basis detaillierter Profilaufnahmen werden in den in der Literatur als Wellenkalk beschriebenen Schichten 13 weitere untergeordnete Lithotypen ausgeschieden; dazu kommen zwei Lithotypen in den Oolithkalksteinen und einige weitere in der dolomitischen Fazies (siehe Kapitel III). Die Merkmale bei der Gliederung der verschiedenen Lithotypen waren Tongehalt, Bioturbationsindex und Fossilinventar sowie Sedimentstrukturen (Schichtung, Hartgründe und weitere - siehe Kapitel III).

b) Aufschluß-Gamma-Logs

In allen Aufschlüssen wurde mit Hilfe einer Meßsonde (siehe Kapitel I.4.a) die natürliche Gamma-Strahlung der Gesteine gemessen. Diese neue Methode erlaubt eine

detaillierte Interpretation der Zyklen sowie eine Korrelation mit Gammakurven aus Bohrungen.

Die Messung der Gamma-Strahlung dient zwei Zwecken. Erstens erlauben sie eine präzise und vollständige Analyse und Interpretation der Zyklen. Die natürliche Gamma-Strahlung zeigt vor allem den Tongehalt an. Die tonreichen Sedimente (Mergel, mergelige Kalksteine) besitzen eine erhöhte Gamma-Strahlung von etwa 30-40 Impulsen pro Sekunde (*counts per second; cps*) im Muschelkalk und bis über 70 cps in den Myophorien-Schichten. In bankigen, bioklastischen und oolithischen Kalksteinen sinken diese Werte bis ca. 10-20 cps (Minimalwert 7 cps in den Karchowice-Schichten in Strzelce Opolskie). In diesen Lithotypen spielt auch die Sediment-Porosität eine wichtige Rolle (besonders in den oolithischen Kalksteinen). Die Trends, die man an den Gammakurven beobachten kann, entsprechen den beschriebenen Sedimentations-Zyklen. Deshalb können in schwierigen Profilabschnitten, in denen die lithologische Variabilität und sedimentologische Merkmale keine ausreichenden Argumente für die Abgrenzung der Zyklen zeigen, die Gammakurven zur Definition der Zyklen benutzt werden.

Die zweite sehr wichtige Rolle von Gammakurven aus Aufschlüssen ist die Parallelisierung mit geophysikalischen Kurven aus Bohrungen. Charakteristisch verlaufende Trends der Gammakurven bieten zudem eine Möglichkeit Leithorizonte zu markieren, was überhaupt erst eine Korrelation von ca. 200 km voneinander entfernten Profilen mit so differenzierten Lithologien und Fazies-Entwicklungen erlaubt. Dadurch läßt sich auch bestimmen, welche Meßwerte in Bohrungen welchen Lithotypen in den Aufschlüssen entsprechen.

c) Bohrloch-Gamma-Logs

Gamma-Logs von ausgewählten Bohrungen wurden digitalisiert, was eine Kalibrierung mit Gammakurven aus Aufschlüssen erlaubt hat. Durch die Verwendung der geophysikalischen Kurven aus Bohrungen können die über 200 km entfernten lithologischen Profile ergänzt und überbrückt werden, was einen völligen Überblick über Lithologiewechsel und Fazies-Entwicklungen im Becken ermöglicht. Genutzt wurden Daten aus folgenden Bohrungen (Abb 1):

- Wegeleben 1/65
- Subherzyn 105/63
- Kali-Farsleben 3/85
- Oderberg 1
- Wriezen 1/82
- Ośno Lubuskie IG 2
- Gorzów Wielkopolski IG 1
- Świebodzin 1
- Sulechów IG 1
- Rybaki 1
- Drebkau 105/64
- Środa Wielkopolska IG 3
- Kalisz IG 1
- Więcki IG 1
- Wojciechów IG 1
- Rzeki IG 1

Zunächst wurde eine Übersichts-Korrelation auf der Basis der Gammakurven von Bohrungen erstellt. Durch die Einbeziehung der Aufschlüsse konnten Gamma-Trends und Lithologien miteinander in Beziehung gesetzt werden. Dadurch war es möglich, die Grenzen lithologischer Einheiten (Formationen, Member) zu kalibrieren. Erst danach wurde eine Parallelisierung der einzelnen Sedimentations-Zyklen in allen Aufschlüssen durchgeführt.

d) Kleinzyklen

Über die Zyklizität im Muschelkalk schrieb schon FIEGE (1938). Er schied 5 m mächtige Zyklen aus. Dagegen kamen die ersten Arbeiten, in denen eine Korrelation und Gliederung des Unteren Muschelkalks auf der Basis von Kleinzyklen durchgeführt wurden von SCHÜLLER (1967) und SCHULZ (1972). In diesen Arbeiten führen die Autoren auch eine detailliertere Gliederung in einen Unteren, Mittleren und Oberen Wellenkalk auf der Basis von Zyklen durch, und zwar zuerst in Südniedersachsen (SCHÜLLER 1967) und dann in Hessen (SCHULZ 1972). Später beschreiben KRAMM (1986, 1994, 1997), GÖTZ (1994, 1996a) und GÖTZ & BURKHARDT (1999) in gleicher Weise definierte Zyklen in Osthessen, in der Rhön, im Raum Creuzburg - Westthüringen und in Mitteldeutschland. In diesen Arbeiten wurde eine Korrelation und Stratigraphie im Germanischen Becken auf der Basis von Zyklen (Tabelle 3) versucht.

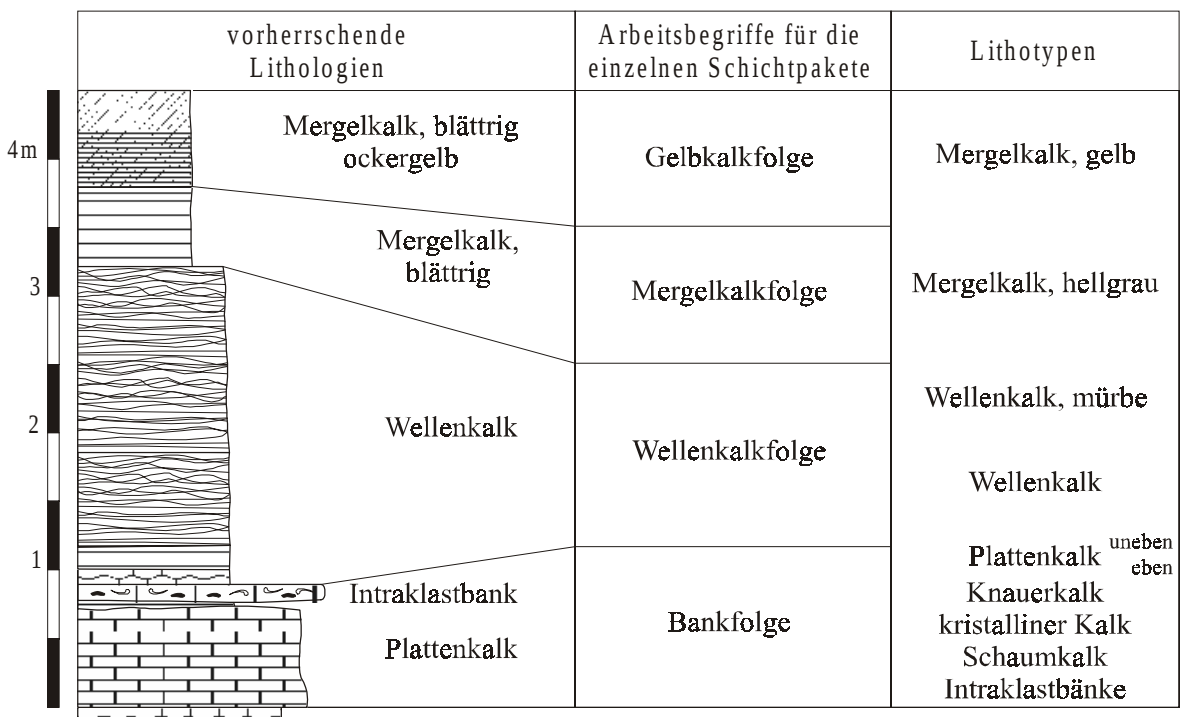


Abb. 7: Idealer „Mergel-oben“-Zyklus nach SCHULZ (1972).

SCHULZ (1972) beschreibt einen idealen, sogenannten „Mergel-oben“-Zyklus (Abb. 6). Er ist charakterisiert durch die Abnahme von Kalziumkarbonat. Die am besten entwickelten Zyklen dieser Art beobachtet SCHULZ im Mittleren Wellenkalk. An der Basis solcher Zyklen liegen bankige, kristalline oder oolithische Kalksteine mit bioklastischen Kalksteinhorizonten, in denen auch Intraklasten zu beobachten sind. Darauf folgen

Wellenkalke, graue mergelige Kalksteine und gelbliche mergelige Kalksteine, die den Idealzyklus abschließen.

KRAMM (1986) beschreibt in seiner Arbeit zusätzlich „Mergel-unten“-Zyklen (Abb. 7), bei denen der Gehalt von Kalziumkarbonat nach oben zunimmt. In seinem Ideal-Zyklus interpretiert er das Auftreten von Hartgründen innerhalb der bankigen Kalksteinhorizonte als Sequenzgrenzen.

Der Zyklus beginnt mit bioklastischen Kalksteinen, die Intraklasten führen. Im Hangenden entwickeln sich Wellenkalke, die in Plattenkalke mit einem Hartgrund am Top übergehen. KRAMM beschreibt auch einen Abschnitt mit gelblichen, dolomitisierten Plattenkalken direkt unter dem Horizont mit dem Hartgrund, der jedoch nicht immer entwickelt ist. Ebenso beschreibt KLOTZ (1990) im Unteren Muschelkalk oben-grob- (*coarsening-upward*) Zyklen, welche mit Tonsteinschichten und dünnsschichtigen Kalksteinen beginnen und die mit dickbankigen Kalkareniten mit Bioklasten und Intraklasten sowie Oolithen und Dolomiten am Top abschließen.

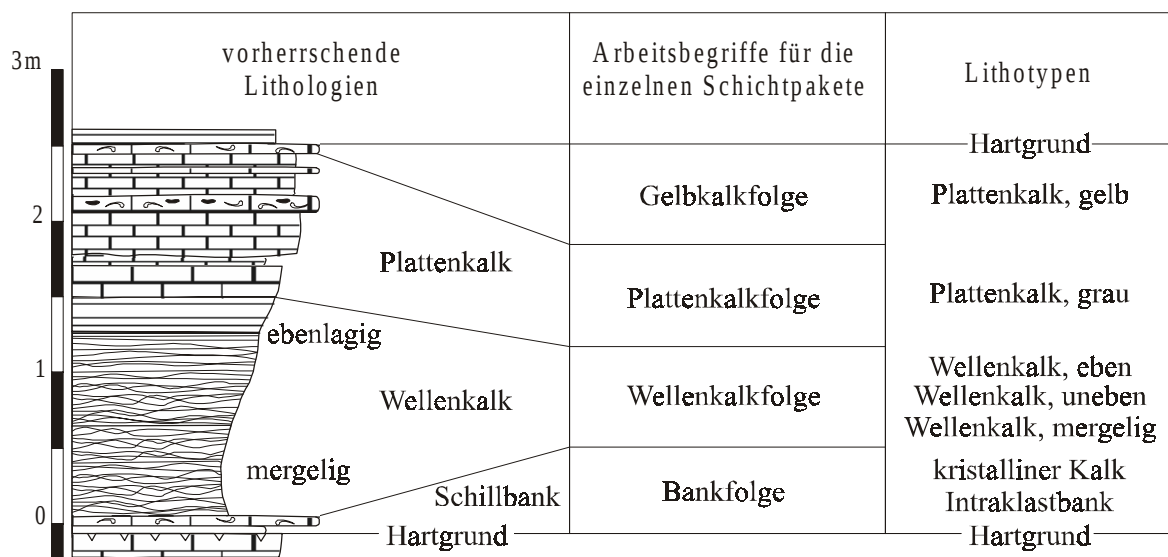


Abb. 8: Idealer „Mergel-unten“-Zyklus nach KRAMM (1994).

Auf dieselbe Weise, wie von SCHULZ (1972) und KRAMM (1994) beschrieben, wurden in einzelnen Profilen abwechselnd Verflachungs- (*shallowing*-) und Vertiefungs- (*deepening*-) Zyklen interpretiert. Bei der weiteren Korrelation und dem Vergleich von Zyklen in allen Profilen wurde jedoch festgestellt, daß einzelne Verflachungs- oder Vertiefungszyklen (Semizyklen) nur einen Teil eines symmetrisch ausgebildeten Sedimentations-Zyklus bilden.

Eine ähnliche zyklische Interpretation wurde im Unteren Keuper von PÖPPELREITER (1998) durchgeführt. Durch laterale Sedimentwechsel auf Grund unterschiedlicher sedimentologischer Bedingungen können einzelne Semizyklen in vielen Aufschlüssen auskeilen. So kann es vorkommen, daß von einem Zyklus in einem Aufschluß nur der Vertiefungs-Semizyklus, in einem anderen dagegen nur der Verflachungs-Semizyklus ausgebildet ist. Solche Semizyklen können nicht mit den von anderen Autoren (SCHÜLLER 1967, SCHULZ 1972, KRAMM 1986, 1994, 1997, GÖTZ 1994, 1996a) benutzten Methoden verglichen werden. Entscheidend ist, daß Verflachungszyklen lateral nicht in Vertiefungszyklen übergehen, wie z. B. von KRAMM (1994) angenommen. Vielmehr sind die Zyklen primär unvollständig ausgebildet. In Abhängigkeit von der Position der Profile

auf der Karbonat-Rampe kommt es entweder zu einer kontinuierlichen Ablagerung mit symmetrischen Zyklen oder aber nur zur Ausbildung eines Semizyklus (siehe Abb. 12).

Abb. 9 zeigt einen idealen Sedimentations-Zyklus im Muschelkalk, auf dessen Basis Profile im ganzen Germanischen Becken korreliert werden. Es handelt sich um einen symmetrischen Zyklus von aufeinander folgenden und allmählich ineinander übergehenden Vertiefungs- und Verflachungszyklen.

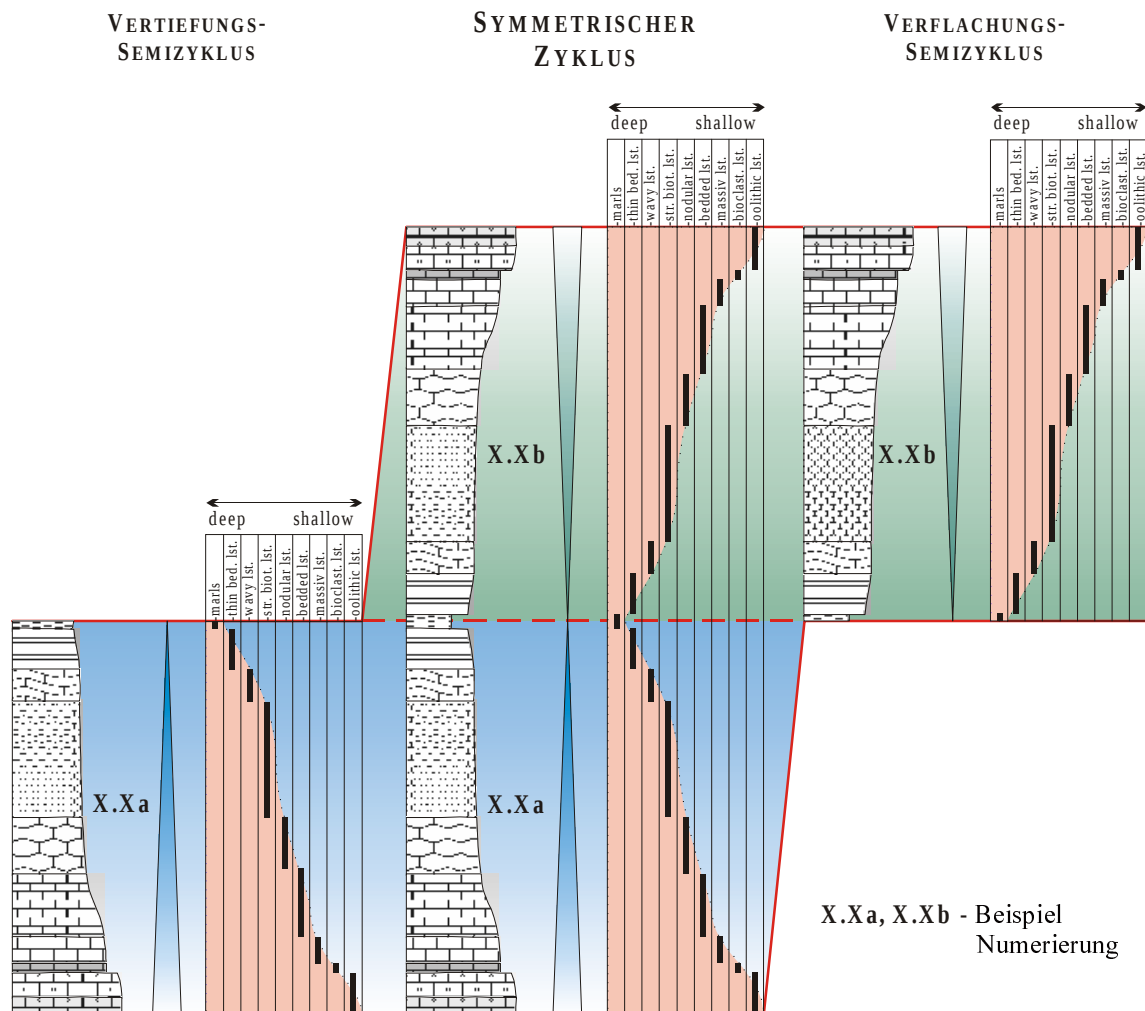


Abb. 9: Idealer symmetrischer Zyklus im Muschelkalk.

Die ersten Schichtenfolgen eines solchen symmetrischen Ideal-Zyklus sind meistens bioklastische Kalksteine, in denen sich oft Hartgründen finden. Diese Kalksteine können abhängig von der paläogeographischen Position innerhalb der Karbonat-Rampe auch ersetzt werden oder übergehen in oolithische Kalksteine. Diese Kalksteine enthalten an der Basis sehr oft Konglomerat-Horizonte oder Intraklasten. Manchmal treten als Grenzhorizont kristalline Kalksteine mit Hartgründen und einem bioklastischen Kalksteinhorizont am Top auf. Die Grenzziehung zwischen den Zyklen ist nicht immer eindeutig. So kann diese Schichtfolge teilweise dem liegenden Verflachungs-Semizyklus und dem überlagenden Vertiefungs-Semizyklus zugeordnet werden. Auch treten mitunter zahlreiche Hartgründe auf. Weiter geht die Abfolge über in dickschichtige Kalksteine, welche von anderen Autoren als „Plattenkalke“ bezeichnet werden. Dieser Übergang zwischen bankigen und dickschichtigen Kalksteinen kann sehr allmählich erfolgen. Es

folgt die von allen Autoren übereinstimmend als Wellenkalk bezeichnete Schichtenfolge. Hier werden zusätzlich weitere aufeinander folgende Lithotypen ausgesondert: knauerige Kalksteine, stark bioturbate Kalksteine und dünnsschichtige Kalksteine. Bei dem letzten Lithotyp sind manchmal wellige Strukturen zu beobachten, so daß noch ein weiterer Lithotyp, wellige Kalksteine, beschrieben wurde. Der erste Zyklus-Anteil, der einem Vertiefungs-Semizyklus entspricht, endet mit Tonsteinlagen. Solche Tonsteinlagen treten auch innerhalb der Verflachungs- oder Vertiefungs-Semizyklen auf und sind als Schichtfugen im Liegenden oder Hangenden von bankigen, bioklastischen und oolithischen Kalksteinbänken zu beobachten. Der zweite Teil (Semizyklus) des symmetrischen Idealzyklus entspricht dem Verflachungs-Semizyklus. Beim Meeresspiegel-Abfall kann es zur Ablagerung von Dolomit-Lagen kommen. Diese treten dann im Liegenden oder Hangenden eines Zyklus auf.

Eine Beschreibung der Lithotypen in der Reihenfolge von tiefer- bis flachmarinen Sedimenten und die Zusammenstellung in einer Spalte neben den lithologischen Profilen war sehr nützlich bei der Abgrenzung der Sedimentations-Zyklen. Sequenzgrenzen zwischen einzelnen Semizyklen wurden bei am stärksten ausgeprägten lithologischen Unterschieden sowie mit Hilfe sedimentologischer Merkmale gelegt. Die Grenze zwischen den beiden Anteilen in symmetrisch ausgebildeten Zyklen wurden innerhalb der relativ tiefsten Lithologie gelegt, da in dieser Position keine den Hartgründen vergleichbaren Grenzflächen vorhanden sind und die Übergänge allmählich ausgebildet sind. Fehlen diese Kriterien wurde eine Entscheidung mit Hilfe der Gammakurven getroffen.

2. Zykostratigraphische Korrelation

Die durchgeführten Korrelationen im Unteren Muschelkalk basieren auf den im vorherigen Punkt erläuterten Kriterien, wonach 21 symmetrische Zyklen ausgeschieden werden können. Zyklen lassen sich von den Myophorien-Schichten bzw. Unteren Gogolin-Schichten bis zur oberen Schaumkalkbank der Schaumkalkbänke bzw. den Karchowice-Schichten ausscheiden. In Steinbrüchen, in denen die aufgenommenen lithologischen Profile in das Liegende bzw. Hangende des Unteren Muschelkalks hinein reichten, wurden auch im Röt sowie Mittleren Muschelkalk Zyklen bestimmt (siehe Anlagen 1-6).

Folgende Numerierung wurde für die beschriebenen Zyklen vorgenommen (Tab. 3). Bei den so-Zyklen bedeutet „m“ Myophorien-Schichten:

- so,m.1, so,m.2 - Zyklen in den Myophorien-Schichten und Unteren Gogolin-Schichten
- mu1.1, mu1.2, mu1.3, mu1.4, mu1.5, mu1.6, mu1.7, mu1.8 - Zyklen im Unteren Wellenkalk und in den Oolithbänken sowie in den Oberen Gogolin-Schichten und untersten Góraźdże-Schichten Polens
- mu2.1, mu2.2, mu2.3, mu2.4, mu2.5 - Zyklen im Mittleren Wellenkalk und in den Terebratel-Schichten sowie oberen Góraźdże-Schichten und untersten Terebratel-Schichten Polens
- mu3.1, mu3.2, mu3.3 - Zyklen im Oberen Wellenkalk und in den oberen Terebratel-Schichten Polens
- mu4.1, mu4.2, mu4.3 - Zyklen in den Schaumkalkbänken sowie Karchowice-Schichten

Außerdem sind in einem symmetrischen Zyklus Vertiefungs- und Verflachungs-Semizyklen zu unterscheiden. Alle Vertiefungs-Semizyklen wurden zusätzlich mit einem „a“ Symbol (z.B.: mu1.5a, mu3.1a, ...) und alle Verflachungs-Semizyklen mit einem „b“ Symbol (z.B.: mu1.5b, mu3.1b, ...) gekennzeichnet. Auch eine kürzere Form bei der Beschreibung ist möglich: z.B.: m.1b, 1.1a, 3.2a, 4.1b, ...).

	Deutsche Gliederung	SCHÜLLER (1967)	SCHULZ (1972)	KRAMM (1994), GÖTZ (1994)	KĘDZIERSKI (1999)	Polnische Gliederung
Muschelkalk	Schaumkalk-Schichten muS	23	c	c	3	Karchowice-Schichten
		22	mu IV b	mu IV b	mu4 2	
		21	a	a	1	
	Oberer Wellenkalk muW3	20	d	d	3	Terebratel-Schichten
		19	mu III c	mu III c	mu3 2	
	Terebratel-Schichten muT	18	b	b	5	Schichten
		17	a	a		
	Mittlerer Wellenkalk muW2	16	e	e	4	Górazdze-Schichten
		15	mu II d	mu II d	mu2 3	
		14	c	c	2	
		13	b	b	1	
		12				
	Oolithbänke muO	11	a	a	8	Obere Gogolin-Schichten
	Unterer Wellenkalk muW1	10	f	h	7	
		9	e	g	6	
		8				
		7	d	f	5	
		6	mu I c	mu I e	mu1 4	
		5	b	d	3	
		4		c	2	
		3	a	b	1	
		2		a		
		1				
Röt	Myophorien-Schichten so				so,m 2	Untere Gogolin-Schichten
					1	

Tabelle 3: Zyκλο- und sequenzstratigraphische Gliederung des Unteren Muschelkalks nach verschiedenen Autoren im Vergleich mit den Ergebnissen dieser Arbeit (vereinfachte Darstellung).

a) Beschreibung der Zyklen

- Zyklen **so,m.1**, **so,m.2**.

Die Myophorien-Schichten und die entsprechenden Unteren Gogolin-Schichten in Polen bilden zwei symmetrische Zyklen: **so,m.1** (**so,m.1a** - **so,m.1b**) und **so,m.2** (**so,m.2a** - **so,m.2b**). Diese Schichten sind in den Steinbrüchen Steudnitz, Rüdersdorf, Raciborowice (Gross-Hartmannsdorf), Gogolin, Pogorzyce und Płaza aufgeschlossen.

Im Steinbruch Steudnitz beginnt das Profil mit einem *deepening*-Semizyklus, der mit dolomitischen Mergeln mit dünnen Gipslagen im Liegenden beginnt. Darüber folgen grüngraue Mergel und abschließend ein massiger Dolomithorizont. Im Hangenden befindet sich ein bankiger Kalkstein mit Brachiopoden. Dieser Horizont bildet die Basis der Grenzbank der Myophorien-Schichten. An deren Oberkante beginnt der Zyklus **so,m.1**.

Im Liegenden des Profils von Raciborowice ist auch Röt aufgeschlossen, das der erste *deepening*-Semizyklus bildet. Es handelt sich um bankige Dolomite von über drei Metern Mächtigkeit, welche in dolomitische Mergel übergehen, die bioklastische Kalksteine mit Intraklasten im Hangenden führen. Dieser Horizont ist der Basishorizont der Unteren Gogolin-Schichten. An seiner Oberkante beginnt der Zyklus **so,m.1**.

Im Profil Pogorzyce sind ebenfalls Röt-Sedimente mit aufgeschlossen. Hier konnten bis zum oolithischen Basishorizont der Unteren Gogolin-Schichten (Zyklus **so,m.1**) im Steinbruch Płaza 7 Semizyklen bestimmt werden.

Zyklus **so,m.1**.

In Steudnitz ist nur der *deepening*-**so,m.1a**-Semizyklus entwickelt. Er beginnt an der Oberkante eines bankigen Kalksteins, dem Basishorizont der Myophorien-Schichten, und leitet über in dolomitische Mergel mit dünnen Kalksteinlagen, die eine Fauna enthalten. Zum Top hin treten bankige Kalksteinhorizonte mit Fauna auf, die mit dünnsschichtigen Dolomiten wechsellagern. Der Semizyklus endet mit einem bankigen Kalkstein, der Brachiopoden führt.

In Rüdersdorf sind **so,m.1a**- und **so,m.1b** -Anteile eines symmetrischen Zyklus zu beobachten. Die Basisschichten des *deepening*-**so,m.1a**-Semizyklus sind nicht aufgeschlossen. Der obere Teil des Semizyklus besteht aus einem bioklastischen Kalkstein, der Intraklasten führt, dickschichtigen und dünnsschichtigen Kalksteinen mit Tempestitlagen und Fauna sowie Mergellagen. Der *shallowing*-**so,m.1b**-Semizyklus beginnt mit zahlreichen Mergellagen, bankigen und bioklastischen Kalksteinhorizonten mit Fauna sowie knauerigen und dickschichtigen Kalksteinen. Im höheren Teil ist die Abfolge einheitlicher. Jetzt treten bioklastische und bankige Kalksteinlagen häufiger auf. Der Zyklus endet mit einem bioklastischen Kalksteinhorizont.

In Raciborowice wurde, ähnlich wie in Steudnitz, nur der *deepening*-**so,m.1a**-Semizyklus gefunden. Er beginnt mit einem dickschichtigen Dolomithorizont und geht nach oben in dolomitische Mergel über. Hier treten Einschaltungen bankiger Dolomithorizonte auf, denen Mächtigkeiten zum Hangenden hin abnehmen. Die Dolomithorizonte werden stufenweise durch bioklastische Kalksteine mit Brachiopoden und Crinoiden ersetzt. Im oberen Teil sind auch Zellendolomite zu beobachten. Der Semizyklus endet mit einem bioklastischen Kalksteinhorizont.

Im Gogolin-Profil ist das Liegende der Unteren Gogolin-Schichten nicht aufgeschlossen. Hier konnte nur teilweise ein *deepening*-**so,m.1a**-Semizyklus und

shallowing-so,m.1b-Semizyklus bestimmt werden. Der **so,m.1a**-Semizyklus setzt sich zusammen aus bioklastischen und bankigen Kalksteinen mit Brachiopoden, Gastropoden und Crinoiden sowie Intraklasten an der Basis; er schließt ab mit einem bioklastischen Kalkstein mit knauerigen Kalksteinlagen. Der Semizyklus **so,m.1b** wird aus bankigen und bioklastischen Kalksteinen mit Horizontal- und Schrägschichtung aufgebaut und führt Brachiopoden und Wirbeltierreste.

In den Profilen der Krakauer Region wurde ein vollständiger symmetrischer Zyklus festgestellt. Im Liegenden des *deepening-so,m.1a*-Semizyklus sind bioklastische und oolithische Kalksteine mit Schrägschichtung und Rippeln entwickelt, die Brachiopoden und Crinoiden führen. Des weiteren treten bioklastische Kalksteine mit Brachiopoden, Gastropoden und Crinoiden auf, wechsellagernd mit dickschichtigen Dolomiten, sowie mit Zellendolomit-Horizonten. Wirbeltierreste sind darin zu beobachten. Daneben kommen bankige, knauerige und dünnsschichtige Kalksteine vor. Der *shallowing-so,m.1b*-Semizyklus ist von geringer Mächtigkeit und wird gebildet von dünnsschichtigen, knauerigen und bankigen Kalksteinen. Im hangenden Teil ist Horizontalschichtung ausgebildet; Brachiopoden, Gastropoden und Crinoiden bilden den Fossilieninhalt.

Zyklus **so,m.2**.

Im Steinbruch Steudnitz ist dieser Zyklus symmetrisch entwickelt und setzt sich zusammen aus **so,m.2a**- und **so,m.2b**-Semizyklen. Der *deepening-so,m.2a*-Semizyklus beginnt mit dolomitischen Mergeln, welche in graue Mergel übergehen und in einem bankigen Dolomithorizont enden. Der folgende **so,m.2b**-Semizyklus beginnt mit Mergeln, in die dünnsschichtige Dolomitlagen eingeschaltet sind, und endet mit einem bankigen Dolomit.

In Rüdersdorf wurden auch beide **so,m.2a**- und **so,m.2b**-Semizyklen bestimmt. Der **so,m.2a**-Anteil ist ausgebildet als Wechsellagerung von bioklastischen und bankigen Kalksteinen sowie Mergellagen mit knauerigen und dickschichtigen Kalksteineinschaltungen. Anzahl und Mächtigkeiten der bankigen Kalksteine nehmen nach oben hin ab. Der Semizyklus endet mit einem Mergel. Der *shallowing-so,m.2b*-Semizyklus beginnt mit dickschichtigen und knauerigen Kalksteinen mit Mergellagen und geht über in eine Folge, die aus bioklastischen und bankigen Kalksteinen mit knauerigen Kalksteinlagen besteht. Den Top bildet ein bankiger Kalksteinhorizont mit einer bioklastischen Kalksteinlage.

Der Zyklus **so,m.2** im Raciborowice-Profil ist symmetrisch ausgebildet, von *deepening* zu *shallowing*, also als **so,m.2a**- und **so,m.2b**-Semizyklus. Der Semizyklus-**so,m.2a** setzt ein mit dolomitischen Mergeln mit Einschaltungen einzelner dickschichtiger Kalksteine und geht in dünnsschichtige und dickschichtige Kalksteine mit Fauna über. Den hangenden Abschluß bildet ein bankiger Kalksteinhorizont mit Fauna, darunter auch Fischresten. Der *shallowing-so,m.2b*-Semizyklus beginnt mit grauen Mergeln und dickschichtigen Kalksteinen. Darüber treten bankige Kalksteine mit Fauna und Einschaltungen bioklastischer Kalksteinlagen auf. Der Zyklus endet mit einem bankigen Dolomithorizont.

Auch in Oberschlesien wurden beide **so,m.2a**- und **so,m.2b**-Semizyklen bestimmt. Der **so,m.2a**-Anteil setzt ein mit bankigen Kalksteinen mit Horizontalschichtung und Rutschungshorizonten. Daneben treten bioklastische Kalksteine mit Brachiopoden und Crinoiden auf, wechsellagernd mit dickschichtigen, knauerigen Kalksteinen und Mergeln. Der Zyklus endet mit bioklastischen Kalksteinen. Der *shallowing-so,m.2b*-Semizyklus setzt ein mit Mergeln, denen bankige Kalksteinhorizonte eingelagert sind. Zum Hangenden

erfolgt ein Übergang zu bankigen, dickschichtigen und dünnsschichtigen Dolomiten. Der Zyklus endet mit bankigen Dolomiten.

In der Krakauer Region wurde ebenfalls ein symmetrischer Zyklus **so,m.2** bestimmt. Der **so,m.2a**-Semizyklus setzt sich zusammen aus bankigen Kalksteinen, die Brachiopoden enthalten, sowie stark bioturbaten Kalksteinen. Der *shallowing*-**so,m.2b**-Semizyklus beginnt mit stark bioturbaten Kalksteinen, denen bankige Kalksteinlagen eingeschaltet sind. Des weiteren kommen bankige Kalksteine vor, die mit stark bioturbaten Kalksteinen wechsellagern. Sie gehen zum Hangenden in bankige und dickschichtige Dolomite über und schließen den Zyklus **so,m.2b** nach oben hin ab.

- Zyklen mu1.1, mu1.2, mu1.3, mu1.4, mu1.5, mu1.6, mu1.7, mu1.8.

Zyklus **mu1.1**.

Dieser Zyklus ist im Aufschluß Steudnitz 5 m mächtig. Der *deepening*-**mu1.1a**-Semizyklus beginnt mit einem oolithischen Kalksteinhorizont, der Intraklasten führt und Diagonalschichtung aufweist. Es folgen bioklastische, knauerige und dünnsschichtige Kalksteine, die diesen Semizyklus beenden. Den *Shallowing*-Anteil des Zyklus **mu1.1** bilden zahlreiche, dünne bioklastische Kalksteinlagen, die wechsellagern mit stark bioturbaten, knauerigen und dünnsschichtigen Kalksteinen. Oft treten sigmoidale Strukturen auf. Der Zyklus endet mit einem bankigen Kalksteinhorizont, in dem ein Hartgrund ausgebildet ist, ferner ein und bioklastischer Kalkstein mit Intraklasten.

In Rüdersdorf ist die Situation ähnlich. Hier wurde ein Semizyklus **mu1.1a** mit geringerer Mächtigkeit bestimmt. Er wird gebildet aus knauerigen, bankigen und bioklastischen Kalksteinen in einer mergeligen Schichtenfolge und dickschichtigen Kalksteinlagen im Hangenden. Der Semizyklus **mu1.1b** wird häufig von bioklastischen Kalksteinhorizonten gebildet, die mit Mergeln und dickschichtigen Kalksteinlagen wechsellagern, welche zum Hangenden in mehr geschlossene bankige Kalksteine sowie dickschichtige Kalksteine übergehen. Der Zyklus endet mit einem bioklastischen Kalksteinhorizont, an dem Rippeln zu beobachten sind.

Im Steinbruch Raciborowice wurde nur ein *shallowing*-**mu1.1b**-Semizyklus bestimmt, bei dem im Liegenden nur dünnsschichtige Kalksteine ausgebildet sind. Weiter oben treten dickschichtige und knauerige Kalksteine mit bankigen Kalksteinlagen auf, die diesen Semizyklus beenden.

Im Steinbruch Płaza wurde ebenfalls nur ein *shallowing*-**mu1.1b**-Semizyklus beobachtet. Er beginnt mit bioklastischen Kalksteinen, die Brachiopoden und Crinoiden führen. Darüber treten dünnsschichtige Dolomite auf.

Zyklus **mu1.2**.

In Profil von Steudnitz ist nur der *shallowing*-Anteil des **mu1.2**-Zyklus entwickelt. Dieser Semizyklus wird hauptsächlich aus dünnsschichtigen Kalksteinen mit bioklastischen Einschaltungen gebildet, die Intraklasten führen. Im Hangenden treten stark bioturbate und knauerige Kalksteine auf. Der Zyklus endet mit einem bioklastischen Kalkstein, der Brachiopoden und Gastropoden enthält.

Im Profil von Rüdersdorf ist der Zyklus **mu1.2** symmetrisch ausgebildet. Der Semizyklus **mu1.2a** setzt sich aus dickschichtigen und knauerigen Kalksteinen mit bioklastischen Kalksteinlagen zusammen. Es treten darin häufig sigmoidale Strukturen auf.

Dieser Zyklus endet mit dünnsschichtigen Kalksteinen. Der Semizyklus **mu1.2b** zeigt in seinem unteren Teil hauptsächlich dickschichtige Kalksteine mit Einschaltungen bankiger Kalksteinlagen. Gehäuft treten darin Rutschungen auf. Des weiteren treten auch stark bioturbate Kalksteine auf. Im hangenden Teil des Zyklus treten knauerige und dickschichtige Kalksteine mit bankigen und bioklastischen Kalksteinhorizonten am Top auf.

Im Profil von Raciborowice wurde nur ein *shallowing-mu1.2b*-Semizyklus bestimmt. Er setzt sich aus knauerigen, dickschichtigen und dünnsschichtigen Kalksteinen zusammen und endet mit bankigen Kalksteinen.

Der Zyklus **mu1.2** ist in Plaza als *shallowing-mu1.2b*-Semizyklus ausgebildet. Er setzt mit knauerigen Kalksteinen ein. Darüber folgen bankige und bioklastische Kalksteine mit dünnsschichtigen und dickschichtigen Kalksteinlagen.

Zyklus **mu1.3**.

Im Profil von Steudnitz wurde nur ein *shallowing-mu1.3b*-Semizyklus bestimmt. Er besteht aus dünnsschichtigen Kalksteinen mit Rutschungsstrukturen und bioklastischen Kalksteinlagen. Im oberen Teil treten auch bankige und knauerige Kalksteine auf. Dieser Semizyklus endet mit einem bioklastischen Kalksteinhorizont, der Brachiopoden, Gastropoden und Crinoiden sowie Intraklasten führt.

Im Steinbruch Rüdersdorf ist dieser Zyklus symmetrisch ausgebildet. Der *deepening-mu1.3a*-Semizyklus setzt mit bankigen Kalksteinen, die bioklastische Kalksteinlagen führen, ein. Daneben treten dünnsschichtige Kalksteine mit bioklastischen und bankigen Kalksteinlagen auf. Der Semizyklus **mu1.3b** wird aufgebaut aus stark bioturbaten, dünnsschichtige, dickschichtigen und knauerigen Kalksteinen mit Einschaltungen bioklastischer und bankiger Kalksteinlagen, die häufig horizontal geschichtet sind.

In Raciborowice wurde nur ein *shallowing-mu1.3b*-Semizyklus bestimmt. Er wird aus dickschichtigen und dünnsschichtigen Kalksteinen mit bankigen Kalksteinlagen gebildet. Im hangenden Teil des Semizyklus tritt ein bioklastischer Kalksteinhorizont mit Brachiopoden, Crinoiden und Intraklasten auf.

Im Aufschluß Plaza ist dieser Zyklus symmetrisch ausgebildet. Der Semizyklus **mu1.3a** setzt ein mit dünnen bioklastischen und bankigen Kalksteinhorizonten, denen dünnsschichtige und knauerige Kalksteinlagen eingeschaltet sind. Sie gehen in dünnsschichtige Kalksteine über. Der *shallowing-mu1.3b*-Semizyklus setzt sich zusammen aus dünnsschichtigen und knauerigen Kalksteinen mit bankigen und bioklastischen Kalksteinlagen. Der Zyklus endet mit dickschichtigen Kalksteinen und einem bankigen Kalksteinhorizont am Top.

Zyklus **mu1.4**.

Dieser Zyklus ist im Profil von Steudnitz symmetrisch ausgebildet. Der Semizyklus **mu1.4a** setzt sich zusammen aus dünnsschichtigen, dickschichtigen und stark bioturbaten Kalksteinen mit bioklastischen Kalksteinlagen. Der Semizyklus **mu1.4b** besteht hingegen aus hauptsächlich stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen mit bankigen und dünnsschichtigen Kalksteinlagen. Der Zyklus endet mit bankigen Kalksteinen und einem bioklastischen Kalksteinhorizont am Top.

Das Profil im Steinbruch Gernrode beginnt mit dem Zyklus **mu1.4**, der symmetrisch ausgebildet ist. Der *deepening-mu1.4a*-Semizyklus ist nicht vollständig aufgeschlossen. Es handelt sich um stark bioturbate, dickschichtige und dünnsschichtige Kalksteine mit

Mergeln. Der Semizyklus **mu1.4b** wird aus dünnsschichtigen, stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen mit bankigen Kalksteinlagen im Hangenden aufgebaut.

Im Profil von Rüdersdorf konnte auch ein symmetrisch ausgebildeter Zyklus bestimmt werden. Der Semizyklus **mu1.4a** wird aus dünnsschichtigen und bankigen Kalksteinen mit dickschichtigen und knauerigen Kalksteinlagen aufgebaut. In den bankigen Kalksteinen ist Horizontalschichtung zu beobachten. Der Semizyklus **mu1.4b** bildet eine 8 m mächtige Sequenz, die hauptsächlich aus knauerigen und dünnsschichtigen Kalksteinen besteht und in die dickschichtige und stark bioturbate Kalksteine eingeschaltet sind. Im gesamten Semizyklus treten ebenfalls mächtige bioklastische und bankige Kalksteinhorizonte auf. Sie sind horizontal oder schräg geschichtet.

Auch in Raciborowice wurde ein symmetrischer Zyklus bestimmt. Der Semizyklus **mu1.4a** ist ein stark bioturbater Kalkstein mit bankigen und bioklastischen Kalksteinlagen, welche in dünnsschichtige Kalksteine mit Einschaltungen dickschichtiger Kalksteinlagen übergehen. Der Semizyklus **mu1.4b** setzt sich zusammen aus dünnsschichtigen Kalksteinen mit dickschichtigen und bankigen Kalksteinlagen. Im Topbereich des Zyklus tritt ein bioklastischer Kalksteinhorizont auf.

Im oberschlesischen Profil des Steinbruchs Ligota Dolna wurde ein *shallowing*-Semizyklus-**mu1.4b** bestimmt. Dabei handelt es sich um dickschichtige und knauerige Kalksteine mit Einschaltungen von bioklastischen und bankigen Kalksteinlagen. Der Semizyklus endet mit bankigen Kalksteinen und teilweise horizontal dickschichtigen bioklastischen Kalksteinlagen.

Im Profil von Plaza wurde nur ein *shallowing*-**mu1.4b**-Semizyklus beobachtet. Es handelt sich dabei um dünnsschichtige und knauerige Kalksteine mit Einschaltungen von bankigen Kalksteinlagen. Desweiteren treten bioklastische Kalksteinhorizonte mit Brachiopoden, Gastropoden und Crinoiden auf.

Zyklus **mu1.5**.

Im Profil von Steudnitz ist der Zyklus **mu1.5** symmetrisch entwickelt. Der *deepening*-**mu1.5a**-Semizyklus wird von stark bioturbaten, dünnsschichtigen und knauerigen Kalksteinen mit Einschaltungen bankiger und bioklastischer Kalksteinlagen aufgebaut. Der Semizyklus **mu1.5b** setzt sich zusammen aus knauerigen Kalksteinen mit dünnsschichtigen Kalksteinlagen. Mit bankigen Kalksteinen, denen bioklastische Kalksteinlagen eingeschaltet sind, endet dieser Semizyklus.

Im Profil Gernode wurde ein symmetrischer Zyklus bestimmt. Der Semizyklus **mu1.5a** setzt ein mit dickschichtigen Kalksteinen und bankigen Kalksteinlagen. Darüber treten dünnsschichtige und stark bioturbate Kalksteine mit bioklastischen Kalksteinlagen auf. Der Semizyklus endet mit dünnsschichtigen Kalksteinen. Semizyklus **mu1.5b** ist charakterisiert durch knauerige, dickschichtige und stark bioturbate Kalksteine mit bankigen Kalksteinlagen. Der Zyklus endet mit bankigen Kalksteinen, die horizontal geschichtet sind.

In Rüdersdorf ist der Zyklus **mu1.5** ebenfalls symmetrisch ausgebildet. Den *deepening*-**mu1.5a**-Semizyklus bilden stark bioturbate und knauerige Kalksteine mit bioklastischen und bankigen Kalksteinlagen. Im Hangenden treten dünnsschichtige Kalksteine auf. Häufig sind oben auch bankige Kalksteinhorizonte. Im hangenden Bereich des Zyklus tritt ein bioklastischer Kalksteinhorizont auf.

In Raciborowice wurde ein symmetrischer Zyklus bestimmt. Den *deepening*-**mu1.5a**-Semizyklus bilden dünnsschichtige, stark bioturbate und dickschichtige Kalksteine mit Einschaltungen bioklastischer und bankiger Kalksteinlagen. Der Semizyklus **mu1.5b** wird

von dünn- und dickschichtigen Kalksteinen aufgebaut. Er endet mit einem bankigen Kalksteinhorizont.

In Oberschlesien besteht der Zyklus **mu1.5** nur aus einem *shallowing-mu1.5b*-Semizyklus. Es handelt sich dabei um dünn- und dickschichtige, stark bioturbate, knauerige Kalksteine mit Einschaltungen von drei bioklastischen Kalksteinhorizonten mit Brachiopoden und Crinoiden, die auch diesen Semizyklus nach oben hin abschließen.

Der Zyklus **mu1.5** wird in Płaza von einem *shallowing-mu1.5b*-Semizyklus gebildet. Er setzt ein mit stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen, die in bankige Kalksteinhorizonte mit Horizontalschichtung übergehen und mit einem Hartgrund enden.

Zyklus **mu1.6**.

Im Aufschluß Steudnitz wurde nur ein *deepening-mu1.6a*-Semizyklus beobachtet. Es handelt sich dabei um stark bioturbate, knauerige und dünn- und dickschichtige Kalksteine mit bankigen und bioklastischen Kalksteinlagen.

In Gernrode konnte ein symmetrischer Zyklus identifiziert werden. Der Semizyklus **mu1.6a** wird von dickschichtigen Kalksteinen mit bankigen und bioklastischen Kalksteinlagen aufgebaut, die zum Hangenden hin in knauerige und dünn- und dickschichtige Kalksteine übergehen. Der Semizyklus **mu1.6b** setzt ein mit dünn- und dickschichtigen Kalksteinen, die in dickschichtige Kalksteine mit bankigen Kalksteinhorizont übergehen. Der gesamte Zyklus endet mit bioklastischen Kalksteinen.

In Rüdersdorf wurde ein symmetrischer Zyklus festgestellt. Der Semizyklus **mu1.6a** besteht hauptsächlich aus stark bioturbaten Kalksteinen mit dickschichtigen und knauerigen Kalksteinen und bioklastischen Kalksteinlagen. Im hangenden Teil des Semizyklus fehlen bioklastische Kalksteinhorizonte. Hier treten zusätzlich dünne bankige Kalksteinlagen auf. Der Semizyklus **mu1.6b** setzt sich zusammen aus stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen, die im hangenden Bereich des Semizyklus nach oben hin immer mächtiger werden und bankige Kalksteinlagen führen, die wechsellagern mit dünn- und dickschichtigen Kalksteinen. Der Zyklus endet mit einem oolithischen Kalksteinhorizont.

In Raciborowice ist der Zyklus **mu1.6** nur als *shallowing-mu1.6b*-Semizyklus ausgebildet. Es handelt sich dabei um stark bioturbate und dünn- und dickschichtige Kalksteine. Zum Hangenden hin tritt ein bioklastischer Kalksteinhorizont mit Brachiopoden, Gastropoden und Crinoiden auf. Oberhalb tritt innerhalb des Profils eine Schichtlücke auf.

In Oberschlesien konnte nur der Semizyklus **mu1.6b** bestimmt werden. Er setzt mit dünn- und dickschichtigen Kalksteinen ein, die zum Hangenden hin in dickschichtige und knauerige Kalksteine mit bankigen und bioklastischen Kalksteinlagen übergehen.

Im Aufschluß Płaza ist der Zyklus **mu1.6** symmetrisch aufgebaut. Der Semizyklus **mu1.6a** setzt sich zusammen aus bankigen und knauerigen Kalksteinen. Der *shallowing-mu1.6b*-Semizyklus beginnt mit knauerigen Kalksteinen im Liegenden, geht über in bankige Kalksteinhorizonte mit Brachiopoden und endet mit Horizontal geschichteten Kalksteinen im Hangenden.

Zyklus **mu1.7**.

Im Steinbruch Steudnitz wurde ein symmetrischer Zyklus festgestellt. Der Semizyklus **mu1.7a** wird aufgebaut aus stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen mit bankigen Kalksteinlagen. Den Semizyklus **mu1.7b** bilden ähnlich stark bioturbate und knauerige Kalksteine mit bankigen Kalksteinen, die im hangenden Teil Brachiopoden und Crinoiden führen (Oo α). Hier treten oft auch Hartgründe auf.

Im Steinbruch Gernrode wurde nur ein *shallowing-mu1.7b*-Semizyklus identifiziert. Er beginnt mit dünnsschichtigen und stark bioturbaten Kalksteinen mit Einschaltungen einzelner bankiger Kalksteinlagen. Des weiteren treten bankige und dickschichtige Kalksteine auf, mit mächtigen oolithischen Kalksteinhorizont (Oo α) im hangenden Teil.

In Rüdersdorf wurde ein symmetrischer Zyklus bestimmt. Der Semizyklus **mu1.7a** setzt ein mit geringmächtigen bankigen Kalksteinen, die in stark bioturbate Kalksteine übergehen. Der Semizyklus **mu1.7b** besteht aus stark bioturbaten Kalksteinen, die in bankige Kalksteine übergehen. Im hangenden Teil treten oolithische Kalksteine mit Hartgründen, Horizontalschichtung und Intraklasten auf.

In Oberschlesien wurde nur der *shallowing-mu1.7b*-Semizyklus bestimmt. Es handelt sich dabei um knauerige Kalksteine mit bankigen Kalksteinlagen. Im oberen Teil des Semizyklus treten oolithische Kalksteine mit Rippeln und Intraklasten, Brachiopoden und Crinoiden auf.

In Płaza ist der Zyklus **mu1.7** nur als *shallowing-mu1.7b*-Semizyklus ausgebildet. Es handelt sich dabei um knauerige, bankige und oolithische Kalksteine mit Hartgründen.

Zyklus **mu1.8**.

Im Profil von Steudnitz wurde nur ein *shallowing-mu1.8b*-Semizyklus festgestellt. Er setzt sich zusammen aus stark bioturbaten Kalksteinen mit dickschichtigen Kalksteinlagen. Häufig sind Rutschungen zu beobachten. Desweiteren treten im hangenden Teil bankige und bioklastische Kalksteinhorizonte (Oo $\beta_{1,2}$) mit Intraklasten und Hartgründen auf.

Im Steinbruch Gernrode wurde ebenfalls nur ein *shallowing-mu1.8b*-Semizyklus nachgewiesen. Es handelt sich dabei um dickschichtige, bankige und dünnsschichtige Kalksteine, die zum Hangenden hin in dickschichtige Dolomite und dolomitische Mergel übergehen. Desweiteren treten bankige Dolomite mit dickschichtigen und dünnsschichtigen Dolomitlagen auf. Im hangenden Teil des Zyklus treten bankige Dolomite auf.

In Rüdersdorf wurde nur ein *shallowing-mu1.8b*-Semizyklus beobachtet. Er setzt ein mit dünnsschichtigen Kalksteinen und geht über in oolithische Kalksteine mit Horizontalschichtung, Rutschungshorizonten und Intraklasten. Auch Hartgründe und im hangenden Abschnitt diagonale Schrägschichtung sind hier zum beobachten.

Auch in Oberschlesien konnte nur ein *shallowing-mu1.8b*-Semizyklus nachgewiesen werden. Er setzt sich zusammen aus bankigen Kalksteinen mit dickschichtigen Kalksteinlagen im liegenden Teil und oolithischen Kalksteinen im hangenden Teil. Am Top tritt ein Horizont mit Rippeln auf.

In der Krakauer Region ist der Zyklus **mu1.8** nur als *shallowing-mu1.8b*-Semizyklus ausgebildet. Er setzt mit knauerigen Kalksteinen ein. Darüber treten bankige und oolithische Kalksteine mit Hartgrundhorizonten auf.

- Zyklen mu2.1, mu2.2, mu2.3, mu2.4, mu2.5.

Zyklus **mu2.1**.

Im Steinbruch Steudnitz wurde nur ein *deepening-mu2.1a*-Semizyklus identifiziert. Er besteht hauptsächlich aus dünnsschichtigen, stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen mit bioklastischen und bankigen Kalksteinlagen.

Im Profil Gernrode wurde ebenfalls nur ein *deepening-mu2.1a*-Semizyklus nachgewiesen, der mit knauerigen und stark bioturbaten Kalksteinen und Einschaltungen bankiger Kalksteinlagen einsetzt. Des weiteren treten dickschichtige und dünnsschichtige Kalksteine auf.

In Rüdersdorf konnte nur ein *shallowing-mu2.1b*-Semizyklus gefunden werden. Er setzt mit dünnsschichtigen und dickschichtigen Kalksteinen mit Einschaltungen bankiger Kalksteinlagen ein. Darüber treten oolithische Kalksteine mit Horizontal-, Schräg- und Diagonalschichtung auf.

Das oberschlesische Profil ist durch einen *shallowing-mu2.1b*-Semizyklus gekennzeichnet. Dieser besteht aus bankigen und bioklastischen Kalksteinen mit oolithischen Kalksteinen, die zum Hangenden hin immer mächtiger werden.

In Płaza kann dieser Zyklus nur als *shallowing-mu2.1b*-Semizyklus beschrieben werden. Hier treten bankige und oolithische Kalksteine mit Hartgründen und Horizontalschichtung auf.

Zyklus **mu2.2**.

Der Zyklus **mu2.2** ist im Profil Steudnitz nur als **mu2.2a**-Semizyklus ausgebildet. Er setzt mit bioklastischen Kalksteinen mit Intraklasten und knauerigen Kalksteinen mit bankigen Kalksteinlagen ein. Höher im Profil treten stark bioturbate und dünnsschichtige Kalksteine auf.

Im Profil Gernrode ist ein symmetrischer Zyklus ausgebildet. Der Semizyklus **mu2.2a** beginnt mit bioklastischen Kalksteinen, die Intraklasten führen, und bankigen Kalksteinen. Weiter oben kamen knauerige, stark bioturbate, dünnsschichtige und dickschichtige Kalksteine mit bankigen Kalksteinlagen zur Ablagerung. Den Semizyklus **mu2.2b** bilden stark bioturbate Kalksteine, die zum Hangenden hin in dickschichtige Kalksteine mit bankigen Kalksteinlagen übergehen.

Aus Rüdersdorf wird nur ein *shallowing-mu2.2b*-Semizyklus beschrieben. Er setzt ein mit bankigen und oolithischen Kalksteinen, denen dünnsschichtige und dickschichtige Kalksteinlagen zwischengeschaltet sind. Diese gehen in mächtige oolithische Kalksteine mit Horizontal- und Schrägschichtung über.

In Raciborowice wurde ein symmetrischer Zyklus identifiziert, wenngleich der *deepening-mu2.2a*-Semizyklus nicht bis zur Basis aufgeschlossen ist. Dieser Semizyklus wird aufgebaut aus oolithischen Kalksteinen, welche in bankige Kalksteine übergehen. Der Semizyklus **mu2.2b** besteht aus bankigen Kalksteinen, die nach oben hin in oolithische Kalksteine übergehen, die zum Hangenden hin immer mächtiger werden.

Im Profil von Oberschlesien ist nur ein *shallowing-mu2.2b*-Semizyklus ausgebildet. Es handelt sich dabei um bankige Kalksteine, welche in oolithische Kalksteine mit Onkoiden übergehen. Im hangenden Teil treten Brachiopoden- und Gastropoden führende Horizonte auf.

Im Steinbruch von Płaza ist ein *deepening-mu2.2a*-Semizyklus entwickelt, der aus bankigen Kalksteinen mit Horizontalschichtung und oolithischen Kalksteinlagen gebildet wird. Dieser Semizyklus ist nicht bis zum Top aufgeschlossen und schließt das Profil in Płaza zum Hangenden hin ab.

Zyklus **mu2.3**.

In Steudnitz ist dieser Zyklus symmetrisch ausgebildet. Im unteren Teil des Semizyklus **mu2.3a** treten knauerige und stark bioturbate Kalksteine mit dünnen

bioklastischen Kalksteinlagen auf. Darüber sind stark bioturbate und dünnsschichtige Kalksteine ausgebildet. Der Semizyklus **mu2.3b** setzt ebenfalls mit stark bioturbaten und dünnsschichtigen Kalksteinen ein. Weiter oben treten knauerige Kalksteine und im höchsten Teil bioklastische Kalksteinhorizonte mit Brachiopoden, Crinoiden und Intraklasten auf.

Auch aus dem Profil Gernode wurde ein symmetrischer Zyklus beschrieben. Der Semizyklus **mu2.3a** beginnt mit dickschichtigen Kalksteinen und stark bioturbaten Kalksteinen mit Einschaltungen bankiger und bioklastischer Kalksteinlagen. Darüber folgen dünnsschichtige Kalksteine mit geringmächtigen bioklastischen Kalksteinlagen. Den Semizyklus **mu2.3b** bilden dünnsschichtige und knauerige Kalksteine mit Einschaltungen bioklastischer Kalksteinlagen, die zum Hangenden hin in dickschichtige und dünnsschichtige Kalksteine mit bankigen Kalksteinen übergehen. Im hangenden Teil des Zyklus ist ein oolithischer Kalksteinhorizont entwickelt.

Aus dem Profil Rüdersdorf wurde nur ein *shallowing-mu2.3b*-Semizyklus beschrieben. In basalen Teil dieses Semizyklus treten dünnsschichtige Kalksteine auf, während im höheren Teil oolithische Kalksteine mit Horizontal- und Diagonalschichtung sowie Intraklasten auftreten.

In Raciborowice ist ein symmetrischer Zyklus ausgebildet. Im *deepening-mu2.3a*-Semizyklus sind oolithische Kalksteine ausgebildet, die weiter oben in bankige Kalksteine übergehen. Der *shallowing-mu2.3b*-Semizyklus setzt ein mit dünnsschichtigen Kalksteinen. Im höheren Teil treten dickschichtige und bankige Kalksteine auf, welche zum Hangenden hin in oolithische und knauerige Kalksteine übergehen.

Aus Oberschlesien kann nur ein *shallowing-mu2.3b*-Semizyklus beschrieben werden. Es handelt sich dabei um bankige Kalksteine mit knauerigen Kalksteinlagen, welche weiter zum Hangenden hin in oolithische Kalksteine mit Onkoiden und Schrägschichtung übergehen. Der Zyklus endet mit einem Horizont, der Rippeln aufweist.

Zyklus **mu2.4**.

In Steudnitz ist der Zyklus **mu2.4** symmetrisch ausgebildet. Der Semizyklus **mu2.4a** wird aus stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen mit bioklastischen Kalksteineinschaltungen aufgebaut. Der Semizyklus **mu2.4b** beginnt mit dünnsschichtigen, stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen mit bankigen Kalksteinlagen. Im hangenden Abschnitt treten bioklastische Kalksteine (τ_1) mit Hartgründen auf.

Auch aus dem Profil Gernode wurde ein symmetrischer Zyklus beschrieben. Der Semizyklus **mu2.4a** beginnt mit stark bioturbaten und knauerigen Kalksteinen, die weiter zum Hangenden hin in dünnsschichtige Kalksteine übergehen. Den Semizyklus **mu2.4b** bilden stark bioturbate, dickschichtige und knauerige Kalksteine mit bankigen Kalksteinlagen, welche nach oben hin in oolithische Kalksteine (τ_1) mit Hartgründen und Diagonalschichtung übergehen.

Im Rüdersdorfer Profil läßt sich ein *shallowing-mu2.4b*-Semizyklus nachweisen. Im liegenden Abschnitt sind dickschichtige und dünnsschichtige Kalksteine mit bankigen Kalksteinlagen ausgebildet, welche weiter zum Hangenden hin in oolithische Kalksteine übergehen. Im hangenden Abschnitt treten oolithische Kalksteine (τ_1) mit Horizontal- und Schrägschichtung und Intraklasten auf.

In Raciborowice ist nur ein *shallowing-mu2.4b*-Semizyklus ausgebildet. Im liegenden Teil des Semizyklus treten bankige Kalksteine mit knauerigen und dünnsschichtigen Kalksteinlagen auf, die zum Hangenden hin in oolithische Kalksteine (τ_1) mit Hartgründen, Schrägschichtung und Crinoiden übergehen.

In Oberschlesien wurde auch nur ein *shallowing-mu2.4b*-Semizyklus identifiziert. Es handelt sich dabei um einen dickschichtigen und dünnsschichtigen Kalkstein mit bioklastischen Kalksteinlagen, welche nach oben in bankige und oolithische Kalksteine übergehen.

Zyklus **mu2.5**.

Aus dem Steinbruch Steudnitz wurde nur ein *shallowing-mu2.5b*-Semizyklus beschrieben. Er wird gebildet aus dünnsschichtigen und knauerigen Kalksteinen. In seinem höheren Teil treten bioklastische Kalksteine (τ_2) mit Hartgründen und Brachiopoden auf.

Der Aufschluß Gernrode zeigt nur einen *shallowing-mu2.5b*-Semizyklus. Es handelt sich dabei im unteren Teil um dünnsschichtige Kalksteine. Darüber folgen bankige und bioklastische Kalksteine mit Hartgründen und Intraklasten, die zum Hangenden hin in oolithische Kalksteine (τ_2) übergehen.

In Rüdersdorf ist der Zyklus **mu2.5** ebenfalls nur als *shallowing-mu2.5b*-Semizyklus ausgebildet. Er wird von bankigen und oolithischen Kalksteinen aufgebaut. Im liegenden Abschnitt dieses Semizyklus treten dünnsschichtige Kalksteine auf, während im hangenden Abschnitt oolithische Kalksteine (τ_2) auftreten.

Aus Raciborowice wurde ein *shallowing-mu2.5b*-Semizyklus beschrieben. Er beginnt mit knauerigen Kalksteinen, welche im höheren Teil in oolithische Kalksteine (τ_2) mit Brachiopoden, Crinoiden und Intraklasten übergehen.

In Oberschlesien ist gleichfalls nur ein *shallowing-mu2.5b*-Semizyklus entwickelt. Er wird aufgebaut aus mächtigen dünnsschichtigen Kalksteinen und dickschichtigen, knauerigen Kalksteinen, die zum Hangenden hin in bankige und oolithische Kalksteine (τ) mit Brachiopoden, Crinoiden und Rippeln übergehen.

- Zyklen mu3.1, mu3.2, mu3.3 .

Zyklus **mu3.1**.

Im Profil Steudnitz ist ein symmetrischer Zyklus entwickelt. Den Semizyklus **mu3.1a** bauen dickschichtige Kalksteine mit welligen Strukturen und knauerige Kalksteine sowie bioklastische Kalksteinlagen auf. Weiter oben treten dünnsschichtige, wellige und stark bioturbate Kalksteine auf. Der *shallowing-mu3.1b*-Semizyklus setzt sich aus welligen, dickschichtigen und knauerigen Kalksteinen zusammen. Im hangenden Abschnitt dieses Zyklus tritt ein bioklastischer Kalksteinhorizont mit Brachiopoden und Gastropoden auf.

Aus dem Steinbruch Gernrode wurde nur ein *deepening-mu3.1a*-Semizyklus beschrieben. Es handelt sich dabei um dickschichtige Kalksteine mit bankigen und bioklastischen Kalksteinlagen sowie knauerigen und dünnsschichtigen Kalksteinen, die weiter zum Hangenden hin in stark bioturbate Kalksteine übergehen.

In Rüdersdorf ist nur ein *shallowing-mu3.1b*-Semizyklus ausgebildet. Er setzt ein mit einzelnen oolithischen Kalksteinhorizonten, die wechsellagern mit dünnsschichtigen, stark bioturbaten und dickschichtigen Kalksteinen. Im Hangenden davon treten oolithische Kalksteine mit Horizontal- und Schrägschichtung auf.

Im Profil Raciborowice läßt sich ein symmetrischer Zyklus beobachten. Der *deepening-mu3.1a*-Semizyklus wird von knauerigen Kalksteinen mit bankigen und bioklastischen Kalksteinlagen aufgebaut. Den Semizyklus **mu3.1b** bilden ebenfalls

knauerige Kalksteine mit bioklastischen und bankigen Kalksteinlagen. Im hangenden Abschnitt treten bankige Kalksteine auf, womit dieser Semizyklus endet.

In Oberschlesien ist dieser Zyklus symmetrisch ausgebildet. Den Semizyklus **mu3.1a** bauen bioklastische Kalksteine auf, die wechsellagern mit knauerigen Kalksteinen. Im hangenden Teil treten dünnsschichtige Kalksteine auf. Der Semizyklus **mu3.1b** beginnt mit dünnsschichtigen Kalksteinen, die nach oben hin in knauerige Kalksteine mit bankigen Kalksteinlagen übergehen. Im hangenden Teil tritt ein bioklastischer Kalksteinhorizont mit Brachiopoden, Gastropoden und Crinoiden auf.

Zyklus **mu3.2.**

Im Steinbruch Steudnitz ist dieser Zyklus symmetrisch ausgebildet. Der Semizyklus **mu3.2a** wird aufgebaut aus stark bioturbaten, dünnsschichtigen, dickschichtigen und knauerigen Kalksteinen mit Einschaltungen bioklastischer Kalksteinlagen. Hier sind auch Rutschungen zu beobachten. Den Semizyklus **mu3.2b** bilden stark bioturbate, knauerige, dünnsschichtige und dickschichtige Kalksteine mit bioklastischen Kalksteinlagen.

Auch im Aufschluß Gernode wurde ein symmetrischer Zyklus identifiziert. So setzt der Semizyklus **mu3.2a** mit bankigen und dickschichtigen Kalksteinen ein, die weiter zum Hangenden hin in stark bioturbate und dünnsschichtige Kalksteine mit bioklastischen Kalksteinlagen übergehen. Den *shallowing-mu3.2b*-Semizyklus bauen dünnsschichtige, stark bioturbate und knauerige Kalksteine mit bioklastischen Kalksteinlagen auf.

Im Profil Rüdersdorf ist dieser Zyklus nur als *shallowing-mu3.2b*-Semizyklus ausgebildet. Es handelt sich dabei um oolithische Kalksteine mit Horizontal- und Schrägschichtung sowie Intraklasten.

Aus Oberschlesien wurde nur ein *shallowing-mu3.2b*-Semizyklus beschrieben. Dieser setzt ein mit dünnsschichtigen Kalksteinen, welche weiter zum Hangenden hin in bioklastische und bankige Kalksteine mit Einschaltungen dickschichtiger Kalksteine übergehen. Den hangenden Abschluß bildet ein Hartgrund.

Zyklus **mu3.3.**

Im Profil Steudnitz wurde nur ein *deepening-mu3.3a*-Semizyklus beobachtet. Er setzt sich zusammen aus stark bioturbaten, dünnsschichtigen und dickschichtigen Kalksteinen mit Einschaltungen bioklastischer Kalksteinlagen. In hangenden Abschnitt dieses Semizyklus treten auch Kalksteinschichten mit sigmoidalen Strukturen auf.

Das lithologische Profil endet in Gernode mit einem *shallowing-mu3.3b*-Semizyklus. Er beginnt mit stark bioturbaten und dünnsschichtigen Kalksteinen, die mit bankigen Kalksteinlagen wechsellagern. Weiter oben treten mächtige Dolomite mit Lösungshohlräume auf, die auf Gips zurückzuführen sind.

Im Steinbruch Rüdersdorf wurde ein symmetrischer Zyklus erkannt. Der *deepening-mu3.3a*-Semizyklus setzt ein mit oolithischen Kalksteinen, welche weiter zum Hangenden hin in dickschichtige Kalksteine übergehen. Der Semizyklus **mu3.3b** setzt sich zusammen aus oolithischen Kalksteinhorizonten, die mit dickschichtigen Kalksteinen wechsellagern sowie aus bankigen Kalksteinlagen. Hier ist häufig Horizontalschichtung zu beobachten und im hangenden Teil ein Horizont mit Intraklasten.

Aus Oberschlesien kann nur ein *deepening-mu3.3a*-Semizyklus beschrieben werden. Es handelt sich dabei um einen Semizyklus von geringer Mächtigkeit mit knauerigen Kalksteinen und bioklastischen Kalksteinlagen.

- Zyklen **mu4.1**, **mu4.2**, **mu4.3**.

Zyklus **mu4.1**.

Im Profil Steudnitz ist dieser Zyklus symmetrisch ausgebildet. Der Semizyklus **mu4.1a** setzt sich zusammen aus oolithischen Kalksteinen (χ_1) mit einer Konglomeratbank im liegenden Teil. Diese wechsellagern mit dickschichtigen Kalksteinen. Hier tritt Horizontal-, Diagonal- und Schrägschichtung auf. Weiter oben treten stark bioturbate und dünnsschichtige Kalksteine mit Einschaltungen bioklastischer Kalksteinlagen und sigmoidalen Strukturen auf. Den Semizyklus **mu4.1b** bauen dünnsschichtige und stark bioturbate Kalksteine mit bioklastische und dünnen oolithischen Kalksteinlagen auf. Bemerkenswert sind häufig zu beobachtende sigmoidale Strukturen. Im hangenden Teil des Zyklus lassen sich bioklastische Kalksteine mit schräggeschichteten, oolithischen Kalksteinlagen (χ_2) nachweisen.

Aus dem Profil Rüdersdorf läßt sich ebenfalls ein symmetrischer Zyklus beschreiben. Der *deepening-mu4.1a*-Semizyklus wird aus Horizontalgeschichteten, oolithischen Kalksteinen mit Intraklasten aufgebaut (χ_1). Er wechsellagert mit bankigen Kalksteinen und nach oben hin mit bioklastischen und bankigen Kalksteinen und dickschichtigen Kalksteinen. Der Semizyklus **mu4.1b** beginnt mit dickschichtigen und bankigen Kalksteinen. Zum Hangenden hin treten oolithische Kalksteine (χ_2) auf, die mit dünnsschichtigen und dickschichtigen Kalksteinen wechsellagern.

Aus dem ober-schlesischen Profil wird auch ein symmetrischer Zyklus beschrieben. Den Semizyklus **mu4.1a** bilden bioklastische Kalksteine mit Intraklasten, Brachiopoden und Crinoiden (χ_1). Weiter im Hangenden treten knauerige und dickschichtige Kalksteine auf. Der Semizyklus **mu4.1b** setzt ein mit dickschichtigen Kalksteinen, welche nach oben hin in bankige Kalksteine mit bioklastischen Kalksteinlagen (χ_2) übergehen. Hier sind auch Hartgründe, Brachiopoden und Crinoiden zu beobachten.

Zyklus **mu4.2**.

In Steudnitz ist nur ein *shallowing-mu4.2b*-Semizyklus ausgebildet. Es handelt sich dabei um bioklastische Kalksteine, welche zum Hangenden hin in mächtige, bankige Dolomite übergehen. Darin sind Lösungshohlräume nach Gips zu beobachten. Im höchsten Teil sind dickschichtige und dünnsschichtige Dolomite zu beobachten.

Auch aus dem Aufschluß Rüdersdorf wird nur ein *shallowing-mu4.2b*-Semizyklus beschrieben. Er setzt ein mit bankigen Kalksteinen, welche zum Hangenden hin in dickschichtige Kalksteine übergehen. Weiter oben treten dolomitische Mergel und bankige Dolomite mit bankige Kalksteinlagen auf, die schließlich in dickschichtige Dolomite übergehen.

In Oberschlesien ist gleichfalls nur ein *deepening-mu4.2a*-Semizyklus entwickelt, der sich aus bankigen Kalksteinen mit Crinoiden und Schwämmen zusammensetzt. Im hangenden Abschnitt treten Verkieselungen auf. Der Semizyklus **mu4.2b** wird ebenfalls aus bankigen, Horizontalgeschichteten Kalksteinen mit Schwämmen im hangenden Teil aufgebaut. Mit diesem Zyklus endet das lithologische Profil in Oberschlesien.

Zyklus **mu4.3**.

Im Steinbruch Steudnitz wird dieser Zyklus durch einen *shallowing-mu4.3b*-Semizyklus repräsentiert. Es handelt sich dabei um einen bankigen Dolomithorizont mit

oolithischen Kalksteinlagen (χ_3). Weiter im Hangenden treten dickschichtige Dolomite mit Lösungshohlräumen nach Gips auf. Daneben kommen auch dünnsschichtige Dolomite mit dolomitischen Mergeln im Hangenden des Zyklus vor.

In Rüdersdorf ist dieser Zyklus als *shallowing-mu4.3b*-Semizyklus ausgebildet. Er beginnt mit bankigen Kalksteinen (χ_3), in denen Brachiopoden zu finden sind. Weiter im Hangenden treten bankige bis laminierte Dolomite auf, desweiteren Lösungshohlräume nach Gips. Im hangenden Abschnitt wechsellagern diese mit dickschichtigen und dünnsschichtigen Dolomiten.

Aus dem Profil Rüdersdorf können noch drei weitere *shallowing*-Semizyklen beschrieben werden, welche aber bereits zum Mittleren Muschelkalk gehören.

b) Vergleich von Litho- und Zyklostratigraphie

• Myophorien-Schichten/Untere Gogolin-Schichten

Die bisher in der deutschen Lithostratigraphie zum Oberen Buntsandstein gestellten Myophorien-Schichten sind innerhalb des Germanisches Becken, abhängig von der paläogeographischen Position, unterschiedlich ausgebildet (siehe Kap. V). Es handelt sich zumeist um mergelige, dolomitische Sedimente mit dünnen Kalksteinlagen, die in Südwestdeutschland allerdings zunehmend terrigen beeinflusst sind. Aber schon im Profil von Brandenburg (Rüdersdorf) zeigen die Myophorien-Schichten eine ganz andere Ausbildung. Sie sind hier, genauso wie der erste Abschnitt des Unteren Muschelkalks in Großpolen (Untere Gogolin-Schichten) unter marinen Bedingungen abgelagert worden. Der Basishorizont wurde jedenfalls in beiden Regionen gefunden. In Deutschland handelt es sich um bankige und bioklastische Kalksteinhorizonte und in Polen um oolithische Kalksteine. Die Obergrenze dieses Horizontes markiert den Beginn des Zyklus so,m.1 im Muschelkalk. Die obere Grenze der Myophorien-Schichten und der Unteren Gogolin-Schichten liegt im Liegenden des Grenzhorizonts nach deutscher Definition und konnte für den gesamten östlichen Teil des Germanischen Beckens markiert werden. Hier setzt auch der Zyklus mu1.1 ein.

Im Anschluß an die Interpretation der Zyklen (Anlage 8) und der Gamma-Strahlungskurve wurde eine Parallelisierung dieser beiden lithostratigraphischen Member im östlichen Teil des Germanischen Beckens durchgeführt. Es zeigte sich, daß die Myophorien-Schichten und die Unteren Gogolin-Schichten miteinander korrelierbar und isochron sind. Es ergibt sich deshalb die Möglichkeit einer Neufestlegung der Grenze Buntsandstein/Muschelkalk als chronostratigraphische Grenze.

• Unterer Wellenkalk/Obere Gogolin-Schichten

Dieses Member, in der deutschen Lithostratigraphie wie auch in Großpolen traditionell als Unterer Wellenkalk ausgegliedert, entspricht in Schlesien den Oberen Gogolin-Schichten (siehe Kap. II, Tab. 2). Die obere Grenze dieses Members im Liegenden der Oolithbank Oo α fällt in den Zyklus mu1.7. Die Oolithbank Oo α konnte nach zyκλοstratigraphischer Korrelation in allen Profilen bestimmt werden.

• Oolithbänke - Mittlerer Wellenkalk/GóraŹdŹe-Schichten

Die Oolithbänke sind als zwei sedimentäre Zyklen ausgebildet. Die Oberkante der Oolithbank Ooß₂ schließt dieses Member zum Hangenden hin ab. Damit setzt der Zyklus mu2.1 ein. Dieser Horizont wurde auch in der „Schaumkalk-Stufe“ von Brandenburg und in den GóraŹdŹe-Schichten Polens identifiziert, obwohl hier die Entwicklung in Schaumkalk-Fazies weiter in den Mittleren Wellenkalk hinein reicht (siehe Kap. V). Den Mittleren Wellenkalk Thüringens bilden Schichten, die in Wellenkalk-Fazies entwickelt sind.

• Terebratel-Schichten - Oberer Wellenkalk

Die Terebratel-Schichten werden auch aus zwei sedimentären Zyklen aufgebaut. Die Oberkante von Horizont τ_2 beendet den Zyklus mu2.5. In der traditionellen Lithostratigraphie gibt es Unterschiede bei der Definition zwischen den deutschen und polnischen Terebratel-Schichten. In Thüringen beginnen diese an der Basis der Terebratelbank τ_1 und enden etwa 2 Meter oberhalb Terebratelbank τ_2 im sogenannten *Macrodon*-Horizont. In Brandenburg wurden die Terebratel-Schichten bis heute nicht definiert. Statt dessen wurden von verschiedenen Autoren unterschiedliche Horizonte als mögliche Äquivalente beschrieben. Auch in Schlesien und Kleinpolen (Krakauer Region) werden die Terebratel-Schichten anders definiert. Hier reichen diese Schichten von etwa 4 m unterhalb bis etwa 8 m oberhalb der Terebratelbank τ , also vom Hangenden der GóraŹdŹe-Schichten bis zur Basis der Karchowice-Schichten. Mit Hilfe der zyклоstratigraphischen Korrelation konnte eine Abgleichung mit Deutschland vorgenommen werden.

• Schaumkalkbänke/Karchowice-Schichten

Die Schaumkalkbänke entsprechen in Polen den Karchowice-Schichten. An der Basis der Schichten beginnt der Zyklus mu4.1. Diese Grenze wurde auch im Profil von Brandenburg (Rüdersdorf) bestimmt, obwohl die Sedimentation hier in oolithischer Fazies („Schaumkalk-Stufe“) fortgesetzt wird.

c) Analyse und Diskussion der Zyклоstratigraphie

Um Vergleiche mit Zyklen aus anderen Regionen anstellen zu können, wurden Diagramme erstellt, die die jeweiligen Verhältnisse von Verflachungs- und Vertiefungs-Semizyklen in symmetrisch ausgebildeten Zyklen, sowie Änderungen der Gesamt-Mächtigkeit der Zyklen zeigen.

Abb. 10 zeigt die Verflachungs- und Vertiefungs-Semizyklen innerhalb der traditionellen lithostratigraphischen Gliederungen. Die einzelnen Zyklen wurden durch Linien korreliert. Auch lithostratigraphische Horizonte, die früher nicht korreliert werden konnten, wurden auf der Basis nachgewiesener Zyklen miteinander verbunden. Hervorzuheben ist, daß bei dieser Korrelation Zyklen-Grenzen miteinander verbunden werden, die z.T. nicht notwendigerweise der Standard-Gliederung entsprechen. Die meisten Korrelationshorizonte liegen vielmehr im Liegenden des jeweiligen Horizontes.

Zwischen allen Profilen wurde eine Korrelation von Zyklen durchgeführt (Anlage 8). Mit Hilfe der Gammakurven läßt sich sicherstellen, daß einzelne Zyklen wirklich Äquivalente darstellen.

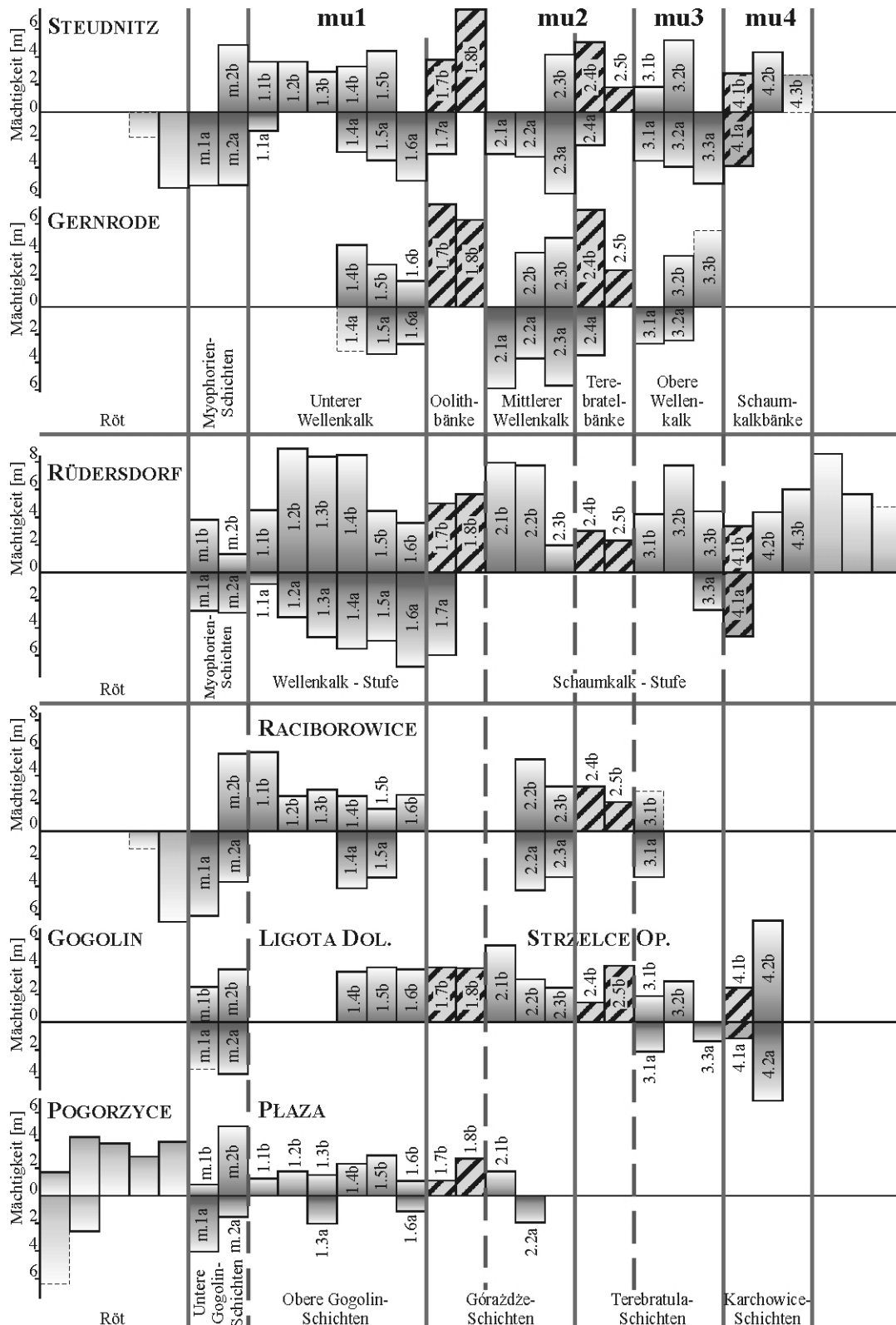


Abb. 10: Vertiefungs-/Verflachungs-Semizyklen in den bearbeiteten Profilen. Symbol „a“ bei Numerierung kennzeichnet Vertiefungs-, „b“ Verflachungs-Semizyklen. Schrägmuster kennzeichnet Leithorizonte.

Abb. 10 gibt auch die Verhältnisse zwischen Vertiefungs- und Verflachungs-Semizyklen in den einzelnen Profilen wieder und deren Variabilität in Abhängigkeit von der entsprechenden Position im Becken.

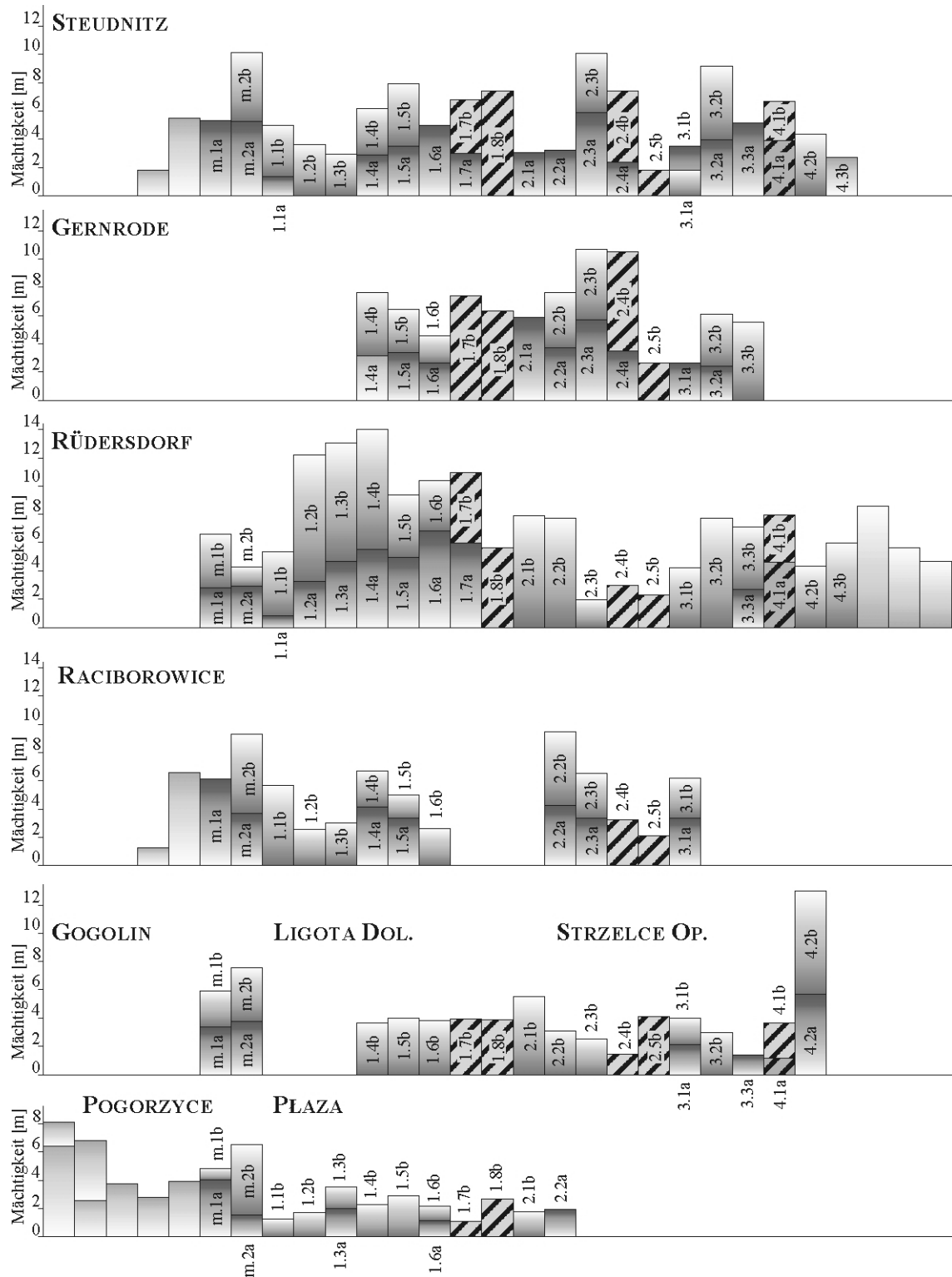


Abb. 11: Diagramm symmetrischer Zyklen, das die Mächtigkeitsänderungen in den bearbeiteten Profilen dokumentiert.

Zyklen in den Myophorien-Schichten und Unteren Gogolin-Schichten zeigen eine deutliche Transgression mit einem scharfen Übergang zum Wellenkalk Deutschlands und zu den Oberen Gogolin-Schichten Polens. Hier ist deutlich erkennbar, daß es in dieser Zeit die besten Bedingungen für die Entwicklung relativ mächtiger, vollständiger symmetrischer Zyklen im Zentrum des Beckens (Rüdersdorf/Brandenburg) gab. Eine ähnliche Situation lag auch in Großpolen vor. Hier lag möglicherweise eine optimale paläogeographische Position im Verhältnis zur Ostkarpaten- und Schlesisch-Mährischen Pforte in Verlängerung zum Dänisch-Polnischen Trog vor. Auch Beckentiefe und Subsidenzrate scheinen in dieser Region optimal gewesen zu sein, so daß sich sowohl ein Vertiefungs- als auch ein Verflachungs-Semizyklus ausbilden konnte. Zu dieser Zeit war auch in Brandenburg und in Großpolen keine karbonatische Barriere (Schwelle) aktiv (siehe Kap. V).

Vom Beginn der Ablagerung der Oolithbänke zeigte sich eine deutliche Änderung in der Geometrie des Beckens. Entlang einer Linie, die von Rüdersdorf bis nach Raciborowice in den östlichen Teil des Beckens hinein führt, sind fast nur Verflachungs-Semizyklen zu beobachten. Auch die Fazies ist bemerkenswert. Im Mittleren Wellenkalk von Steudnitz und Gernrode wurde typische Wellenkalk-Fazies aus knauerigen und stark bioturbaten Kalksteinen mit bioklastischen Kalksteinlagen abgelagert. In anderen Aufschlüssen treten wiederum oolithische Kalksteinschichten auf. Auch die gesamte Zyklen- und Semizyklusmächtigkeit nimmt in dieser Zeit ab, wie Abb. 11 zeigt.

Diese Situation dauert in Brandenburg, Großpolen und dem östlichsten Teil des Beckens, wo die Sedimentation weiterhin von einer Schwelle stark beeinflusst wird, bis zur Ablagerung der Terebratelbänke. Im Zentrum und im westlichen Teil (Gernrode, Steudnitz) ist im Bereich der Terebratelbänke eine Erhöhung der Zyklenmächtigkeit zu beobachten.

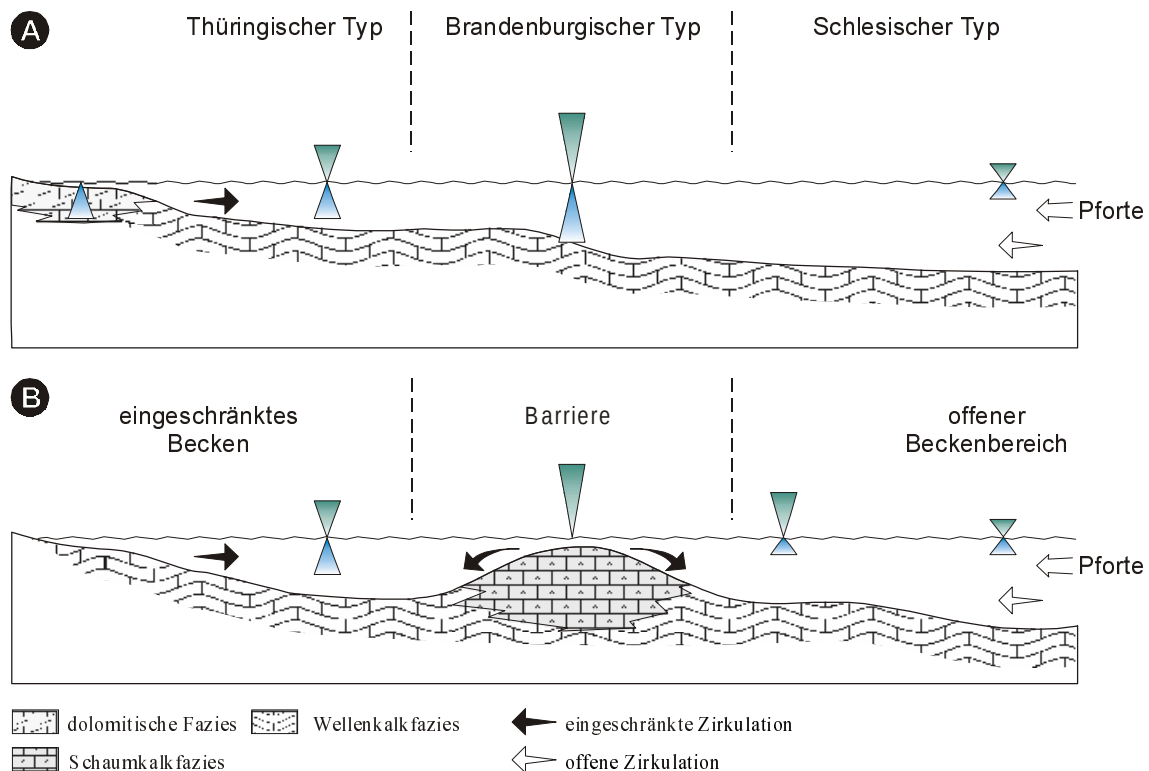


Abb. 12: Faziesmodell, verändert nach LUKAS (1993). Es zeigt die Ablagerungsbedingungen in Abhängigkeit von der Position des Profils zu einer Pforte und einer karbonatischen Barriere.

A) - Becken ohne karbonatische Barriere

B) - Becken mit einer karbonatischen Barriere

Zyklen des Oberen Wellenkalks zeigen in allen Regionen den gleichen Trend. Bis zu den Schaumkalkbänken nimmt die Mächtigkeit der Zyklen in dieser Zeit zu.

Auf der Basis der in Abb. 10 und 11 gezeigten Diagramme lassen sich die bearbeiteten Profile in drei Typen gruppieren (Abb. 12). Steudnitz, Gernrode und Raciborowice sind Profile, für die relativ gleichmäßige Zyklenmächtigkeiten und etwa gleiche Proportionen von Vertiefungs- und Verflachungs-Semizyklen charakteristisch sind; sie bilden einen „Thüringischen Typ“. Diese Profile waren nur untergeordnet Einflüssen von karbonatischen Barrieren und Pforten ausgesetzt. Die Profile in Schlesien („Schlesischer Typ“) zeigen Schichtentwicklungen, die starke Einflüsse von Pforten und karbonatischen Barrieren nahelegen. Ein dritter Typ ist im Profil Rüdersdorf ausgebildet („Brandenburgischer Typ“). Anfangs wird diese Region noch von der Ostkarpaten- und Schlesisch-Mährischen Pforte und später von einer oolithischen Barriere beeinflusst.

Die in den verschiedenen Regionen unterschiedlichen Mächtigkeiten der gesamten Zyklen sowie der einzelnen Vertiefungs- oder Verflachungs-Semizyklen hängen in erster Linie vom Meeresspiegel und der Subsidenzrate ab. Zusätzlich ist die Mächtigkeit der Zyklen auch vom Sediment-Angebot abhängig. Diese Steuerfaktoren ändern sich in Abhängigkeit von der paläogeographischen Position der untersuchten Profile.

Dieses Faziesmodell zeigt auch die Abhängigkeit der Zyklen-Ausbildung von der relativen Position zu den Pforten und zur Karbonat-Rampe. Dieses Modell ist dem von PÖPPELREITER & AIGNER (1998) und PÖPPELREITER (1998) aus dem Unteren Keuper beschriebenen ähnlich.

3. Sequenzstratigraphische Gliederung des Muschelkalks

a) Sequenzen 3. Ordnung nach AIGNER & BACHMANN (1992)

Der untersuchte Untere Muschelkalk befindet sich sequenzstratigraphisch betrachtet nach AIGNER & BACHMANN (1992, 1993) in der ersten von zwei Muschelkalk-Sequenzen 3. Ordnung (VAIL et al. 1977). Die Sequenzgrenze (**sb**, *sequence boundary*) liegt an der Basis des Rötquarzits. Der Rötquarzit selbst repräsentiert einen Tiefstand-Systemtrakt (*lowstand systems tract*; **LST**), der zur ersten Sequenz dritter Ordnung im Muschelkalk gehört. Die folgenden fluviatilen und lakustrinen sandigen Sedimente des Röt sowie die Gipslagen führenden dolomitischen und mergeligen Myophorien-Schichten, die zu den marinen Tonsteinen und Kalksteinen des Muschelkalks überleiten, repräsentieren einen transgressiven Systemtrakt (*transgressive systems tract*; **TST**). Der Untere Muschelkalk gehört zum einem transgressiven Systemtrakt (**TST**) und zum unteren Teil eines Hochstand-Systemtrakts (*highstand systems tract*; **HST**), wobei die maximale Überflutungsfläche (*maximum flooding surface*; **mfs**) im Bereich der Terebratel-Schichten ausgebildet ist. An der Basis der Evaporite des Mittleren Muschelkalks liegt die **sb** dieser Sequenz, so daß die Evaporite bereits den **LST** der zweiten Muschelkalk-Sequenz repräsentieren.

b) Hochfrequente Zyklen und Parasequenzen

Die in dieser Arbeit nachgewiesenen Zyklen (Semizyklen) können als hochfrequente Sequenzen (*high frequency sequences*) interpretiert werden (Abb. 13). Bei diesen wurde die Zyklen- und damit die Sequenzgrenze im Sinne von MITCHUM & VAN WAGONER 1991) durch Hartgründe definiert (AIGNER & BACHMANN 1992, 1993, GÖTZ 1994, 1996a, GÖTZ & FEIST-BURKHARDT 1999). Damit wird die bankige Schichtenfolge (oolithische, bioklastische, bankige Kalksteine) durch die Sequenzgrenze getrennt und zwei aufeinander folgenden Sequenzen zugeordnet. Die Sequenz beginnt daher bei dieser Interpretation mit bioklastischen Kalksteinen.

Die einzelnen Vertiefungs- oder Verflachungs-Semizyklen können aber auch als Parasequenzen (VAN WAGONER et al. 1988) betrachtet werden. Insgesamt wurden 21 symmetrische Zyklen beschrieben (42 Semizyklen), was bei einer angenommenen Dauer des Unteren Muschelkalks von ca. 3 Mio. Jahren (siehe Tab.1) ca. 71.000 Jahre pro Semizyklus ergibt. Das entspricht Parasequenzen 4.-5. Ordnung (0.03-0.5 Mio. Jahre nach VAIL et al. 1991, DUVAL et al. 1992).

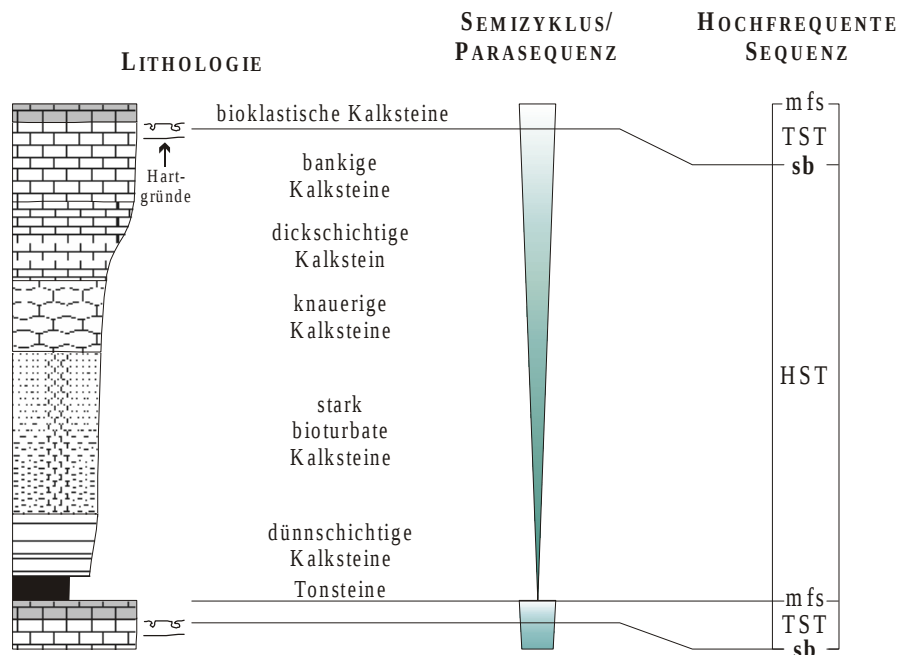


Abb. 13: Sequenzstratigraphische Interpretation der Parasequenzen als hochfrequenten Sequenzen.

Parasequenzen werden durch allo- und autozyklische Prozesse erklärt. Als wichtigster Bildungsmechanismus der Parasequenzen des Unteren Muschelkalks werden eustatische Meeresspiegel-Schwankungen, also eine allozyklische Steuerung, angenommen. Weitere Faktoren, die die Ausbildung der Parasequenzen gesteuert haben, sind die paläogeographische Lage sowie Sedimentations- und Subsidenzrate, und damit die Ausbildung des sogenannten Akkomodationsraums („*accommodation space*“) (JERVEY 1988) in der betreffenden Region.

c) Parasequenz-Sets

Die Parasequenzen können zu Parasequenz-Sets (*Parasequence Sets*; VAN WAGONER et al. 1988) zusammengestellt werden. Im bearbeiteten Abschnitt sind insgesamt 8 Parasequenz-Sets ausgebildet (Abb. 14). Ein Parasequenz-Set wird charakterisiert und definiert durch eine Abfolge von Parasequenzen (Semizyklen), die zumindest überwiegend die gleichen Trends zeigen. In Brandenburg und in der Schlesisch-Krakauer Region gibt es darüber hinaus die Situation, daß Verflachungs-Parasequenzen zu einem Vertiefungs-Parasequenz-Set zusammengestellt wurden. In diesen Fällen wurden die Parasequenz-Sets durch die übergeordnete Entwicklung definiert, es wurde also die relative Wassertiefe an der Basis und am Top des Sets verglichen. Eine solche Zusammenstellung zeigt ein retrogradierendes *Parasequence Set* (VAN WAGONER et al. 1990).

d) Sequenzen

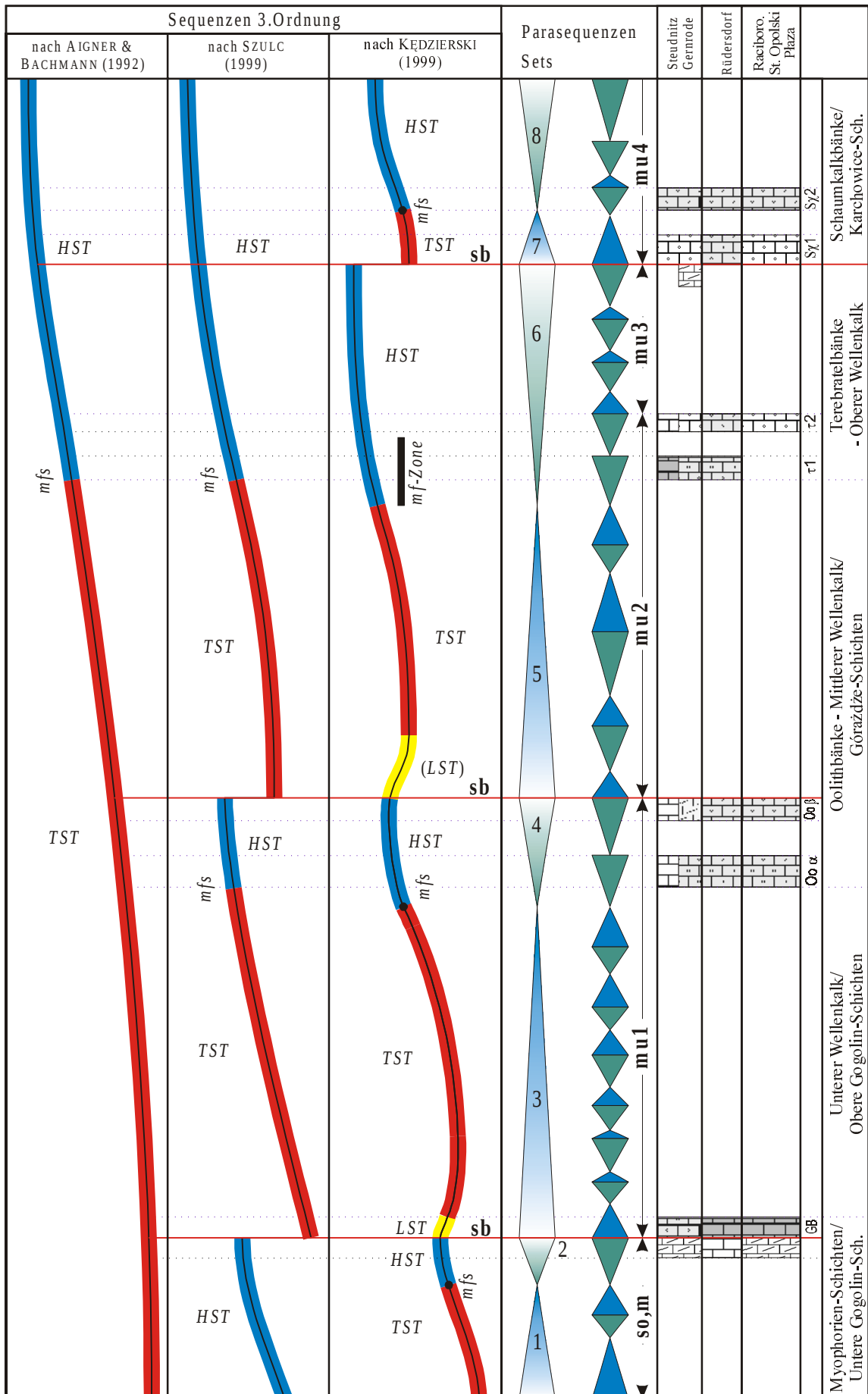
Jeweils zwei Parasequenz-Sets lassen sich zu einer Sequenz zusammenfassen. Von der Basis der Grenzbank beginnend sind im Unteren Muschelkalk bis zu den Schaumkalkbänken zwei vollständige Sequenzen entwickelt (Abb. 14). Myophorien-Schichten und Schaumkalkbänke sind Teile von zwei weiteren Sequenzen.

Die in fünf Gruppen gegliederten Zyklen entsprechen weitgehend den stratigraphischen Abschnitten und den Sequenzen (Zyklengruppe **so,m**: Myophorien-Schichten, **mu1**: Unterer Wellenkalk und Oolithbänke, **mu2**, **mu3**: Mittlerer Wellenkalk, Terebratelbänke und Oberer Wellenkalk, **mu4**: Schaumkalkbänke; Abb. 14).

Die Zyklengruppe **so,m** besteht aus überwiegenden Vertiefungs-Semizyklen, die einen transgressiven Trend zeigen und somit in der sequenzstratigraphischen Interpretation einem *TST* entsprechen. Die *mfs* wird unterhalb der Grenzbank erreicht. Mit einem abschließenden kurzen regressiven Trend bis zur Grenzbank wird ein *HST* gekennzeichnet. Am Top eines Dolomithorizontes bzw. an der Basis der Grenzbank liegt eine *sb*.

Die Zyklengruppe **mu1** beginnt mit der Grenzbank, die einem *LST* entspricht. Weiter folgt ein transgressiver *Parasequence Set*, der als *TST* interpretiert wird. Der transgressive Puls ist deutlich stärker als in der vorhergehenden Sequenz. Nach der *mfs* unterhalb der Oolithbank α folgt als nächstes ein regressiver Trend, der bis zur Oolithbank β_2 anhält (*HST*). Am Top der Oolithbank β_2 liegt die *SB* dieser Sequenz, die aus 16 Parasequenzen besteht. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Dauer von 71.000 Jahren pro Parasequenz ergibt sich damit eine Dauer von ca. 1,14 Mio. Jahren.

Im westlichen Teil des Arbeitsgebiets zeigt die Zyklengruppe **mu2** einen übergeordneten *TST* (transgressiven *Parasequence Set*) bis zu den Terebratelbänken, obwohl die einzelnen Zyklen in Brandenburg, Großpolen und Schlesien wegen ihrer Position auf der oolithischen Schwelle stets als Verflachungs-Zyklen ausgebildet sind (*Retrogradational Parasequence Set*). Deswegen könnte hier an der Basis der Zyklengruppe **mu2** auch eventuell ein *LST* definiert werden, der allerdings nicht im gesamten Becken verfolgt werden kann. Der *TST* im Mittleren Wellenkalk erreicht in den Terebratel-Schichten sein Maximum. Im Bereich der Terebratelbänke wird allgemein eine übergeordnete maximale Überflutungszone (*mf*-Zone) für den gesamten Unteren Muschelkalk interpretiert (SZULC 1991, AIGNER & BACHMANN 1992, GÖTZ 1994, RAMEIL 1999). Dafür sprechen auch paläontologische Hinweise wie die Verbreitung von Ammoniten (KAIM & NIEDŹWIEDZKI 1999) und Conodonten (KĘDZIERSKI & SZULC 1996), sowie Ichnofossilien (KNAUST 1998).


 Abb. 14: Sequenzen 3. Ordnung als *coastal onlap*-Kurven im Unteren Muschelkalk.

Die Zyklengruppe **mu3** bildet einen *HST*, der mit einer *SB* an der Basis der Schaumkalkbank χ_1 abgeschlossen wird. Die Sequenz besteht aus 16 Parasequenzen, was eine Dauer von ca. 1,14 Mio. Jahren ergibt.

Die Zyklengruppe **mu4** beginnt mit einem kurzen *TST* bis zu der Schaumkalkbank χ_2 . Hier wird erneut ein *HST* erreicht, der bis in den Mittleren Muschelkalk reicht.

Für die Definition der Sequenzen ist das Auftreten von Dolomithorizonten direkt unterhalb von allen drei Sequenzgrenzen ein wichtiger Hinweis. Bei der ersten Sequenzgrenze konnte dieser Dolomithorizont außer in Rüdersdorf in allen Profilen verfolgt werden. Im Bereich der Oolithbänke tritt ein Dolomithorizont nur im Profil Gernrode auf. Dolomite in dieser Position sind aber aus den weiter westlich gelegenen Teilen des Beckens bekannt. In Brandenburg und Polen treten an dieser Stelle oolithische Bänke mit Rippeln und Hartgründen auf. In Steudnitz ist die Oolithbank β_2 als bankiger Kalkstein mit Hartgrund entwickelt. Ähnlich ist die Situation bei der dritten Sequenzgrenze an der Basis der Schaumkalkbank χ_1 . Hier ist im Arbeitsgebiet nur in Gernrode ein Dolomithorizont zu beobachten, der sich aber ebenfalls weiter nach Westen fortsetzt.

Diese Dolomithorizonte sprechen sicherlich für Verflachungs-Ereignisse und dienen damit auch als ein Hinweis für Sequenzgrenzen.

Auch die auf die Sequenzgrenzen folgenden Horizonte sprechen für den Anfang neuer Sequenzen. Es sind entweder oolithische Horizonte mit erosiver Basis (Intraklasten, Konglomerate) und verschiedenen Schrägschichtungstypen oder bioklastische Kalksteine (Tempestite), die auch Intraklasten enthalten und meistens Hartgründe überlagern.

e) Vergleich der Sequenzen

Abb. 14 zeigt neben der oben geschilderten sequenzstratigraphischen Gliederung die Sequenz-Interpretation von anderen Autoren.

Die Interpretation von AIGNER & BACHMANN (1992) gibt einen übergeordneten Trend wieder, der sich gut in der Ausbildung der einzelnen Systemtrakte widerspiegelt. Während des übergeordneten *TST* (AIGNER & BACHMANN 1992) dominiert der transgressive Anteil der Sequenzen, wogegen mit Beginn des übergeordneten *HST* (ab der Terebratelbank) der regressive Systemtrakt (*HST*) vorherrscht.

Auch die Interpretation von SZULC (1999) zeigt übergeordnete Sequenzen. Trotzdem bestehen mit ihr bessere Übereinstimmungen als mit der Gliederung von AIGNER & BACHMANN (1992).

Bei einer angenommenen durchschnittlichen Dauer von 71.000 Jahren pro Parasequenz (insgesamt 42) ergibt sich für beide Sequenzen eine Dauer von jeweils etwas mehr als 1 Mio. Jahren. Dies entspricht damit Sequenzen 3. Ordnung nach VAIL et al. (1991) und DUVAL et al. (1992), die für die Dauer einer Sequenz 0,5-3 Mio. Jahre angeben.