

Tektonische Struktur und fazielle Gliederung der Lechtaldecke am NW-Rand des Tirolischen Bogens in den Chiemgauer Alpen

Tektonic structure and facies succession of the Lechtal Nappe at the northwestern rim of the Tirolian Arc (Chiemgau Alps)

von

Dierk HEBBELN¹⁾, Rüdiger HENRICH²⁾, Klas S. LACKSCHEWITZ²⁾
& Götz RUHLAND¹⁾

mit 5 Abbildungen, 1 Tabelle und Appendix (Geologische Karte)

with 5 figures, 1 plate and appendix (geological map)

Schlüsselwörter:

*Südliche Lechtaldecke
Tirolischer Bogen
Schrägabschiebungen und Kompression
jurassische Kippschollentektonik
Jura-Faziesentwicklung*

Keywords:

*Southern Lechtal nappe
Tyrolian Arc
oblique slip normal faults and
compressional tectonics
syndimentary rotational block faulting
Jurassic facies development*

Adresse der Autoren:

Address of the authors:

- 1) Dr. D. Hebbeln, Dipl. Geol. G. Ruhland
Fachbereich Geowissenschaften
Universität Bremen ?
Klagenfurter Straße ?
D-2800 Bremen 33, BRD
- 2) Priv.-Doz. Dr. R. Henrich, Dr. K.S. Lackschewitz
GEOMAR Forschungszentrum für marine Geowissenschaften
der Universität Kiel
Wisshofstraße 1-3, D-24148 Kiel 14, BRD

Inhalt

Kurzfassung, Abstract	223
1. Geologischer und Tektonischer Rahmen	223
2. Fazielle und Stratigraphische Gliederung	224
3. Abwicklung der Faziesräume	228
4. Lokale Tektonik	229
5. Tektonische Zuordnung der Internstruktur der Lechtaldecke am NW-Rand des tirolischen Bogens	232
6. Zusammenfassung	232
7. Literatur	234

Content

Kurzfassung, Abstract	223
1. Geological and tectonical setting	223
2. Facies and stratigraphic succession	224
3. Spatial and temporal evolution of facies	228
4. Local tectonics	229
5. Tectonic classification of internal structures of the Lechtal Nappe at the NW rim of the Tyrolian Arc	232
6. Summary	232
7. References	234

Kurzfassung

Im Rahmen von umfangreichen Kartierarbeiten in den Chiemgauer Alpen wurde die tektonische und fazielle Entwicklung der südlichen Lechtaldecke am NW-Rand des Tirolischen Bogens unter Anwendung moderner fazieller Arbeitskonzepte neu bewertet. Die faziellen Befunde der jurassischen Schichtfolgen belegen eine engräumige Gliederung in Schwellen- und Beckenbereiche seit Beginn des Juras. Im Dogger und Malm setzte eine Kippschollentektonik ein, die durch die Ausbildung spezieller Faziestypen belegt ist. Von besonderer Bedeutung sind intraformationelle Brekzien und Konglomerate des Doggers, die an bestimmte Schwellenhangpositionen gebunden sind, und die somit bei der Abwicklung der lokalen Tektonik als Leit-horizonte genutzt werden können. Mit Hilfe dieser Dogger-Sonderfazies und aufgrund der Ergebnisse einer tektonischen Detailanalyse wird eine Neuordnung der wichtigsten Sattel- und Muldenzüge in der südlichen Lechtaldecke vorgeschlagen und in einen Kontext zur Mechanik der post-eozänen Einengungsdynamik entlang der Tirolischen Front gestellt. Wichtigste Elemente sind eine sich ostwärts verstärkende Auf-schiebungs- und Schuppungstektonik entlang der in nördlicher Richtung vorrückenden Tirolischen Front, sowie eine Einspannung der Muldenzüge der südlichen Lechtaldecke am Widerlager eines starren Blockes im Zentralabschnitt des Arbeitsgebietes. Beiderseits des Widerlagers tauchen die Muldenachsen in Richtung auf den starren Block ein und werden durch sinistrale bzw. dextrale Schrägabschiebungen und Seitenverschiebungen versetzt. Hierdurch wird ein lateraler Ausgleich des extremen Platzbedarfs bei der fortgeschrittenen Einengung erreicht.

Abstract

Based on the results of an extensive mapping campaign and the application of modern facies analysis concepts a re-evaluation of the tectonic evolution and facies development in the southern Lechtal Nappe at the northwestern rim of the Tirolian Arc has been compiled. Since early Jurassic time facies successions have recorded a narrow-spaced pattern of local swells and basins. In the middle and upper Jurassic, new tectonic elements evolved, e.g. synsedimentary rotational block faulting, which is evidenced by the local development of specific facies types. Among these, facies indicative of intraformational reworking of slope sediments are most significant. Since their occurrence is restricted to specific slope locations, they provide excellent tracer horizons for a correlation of local tectonic units. Based on the distribution patterns of these middle Jurassic

tracer lithologies and on a detailed tectonic analysis a new correlation of the major folds in the southern Lechtal Nappe is proposed and discussed in context of its relevance to the dynamics of intensive compressional tectonics along the Tirolian front during post-Eocene time. The most important tectonic structures are: An intensification of compressional stress in eastern direction along the progressively northward penetrating front of the Tirolian Nappe with intensified reverse faulting and wedging, and a compressional distortion of the major folds in the southern Lechtal Nappe around a rigid tectonic block, which is situated in the central sector of the studied area. The major fold axes dip at both sides towards the rigid block. East of the rigid block left oblique slip normal faults are observed while west of the block right oblique slip faults are recorded. Thus, a most efficient response to the extreme compressional stress is achieved by the lateral detachment movements along the oblique slip faults.

1. Geologischer und tektonischer Rahmen

Die Nördlichen Kalkalpen stellen einen allochthonen Überschiebungskeil dar und sind in entscheidendem Maße von der alpinen Deckentektonik geprägt. Die Gesteine dieses oberostalpinen Ablagerungsraumes sind weit südlich der heutigen Tauern und damit südlich des penninischen, des mittelostalpinen und des unterostalpinen Sedimentationsraumes entstanden (PLÖCHINGER 1980). Die in der tiefsten Unterkreide einsetzende Deckentektonik (FAUPL & TOLLMANN 1979) hat sie in das heutige Gebiet der Nördlichen Kalkalpen transportiert. In Tirol und Bayern werden die Nördlichen Kalkalpen von Süden nach Norden, d.h. von oben nach unten, von drei sich überlagernden Decken aufgebaut: der Staufendecke (Tirolikum), der Lechtaldecke (Hochbajuvarikum) und der Allgäu- (Tiefbajuvarikum) (Abb. 1).

Das Arbeitsgebiet liegt in den Chiemgauer Alpen zwischen Oberwössen und Ruhpolding mit dem Rechenberg und dem Rehwaldkopf im Westen, dem Sulzgrabenkopf und dem Durlachkopf im Osten als markanteste Geländepunkte (Abb. 2). Es gehört zum südlichen Teil der Lechtaldecke und befindet sich im Grenzbereich der sich südlich anschließenden Staufendecke, deren nördlicher Rand über die hohen Wettersteinkalkgipfel des Hochscharten, des Gurnwandkopfes und der Hörndlwand verläuft (Abb. 2).

Die Ergebnisse von TOLLMANN (1976), HENRICH & ZANKL (1981) und EISBACHER et al. (1990) geben für die Faltung und die Anlage des Deckenbaues ein vorgosauisches Alter an. Zu einer weiteren Einengung und Verschuppung der Gesteinspakete kam es

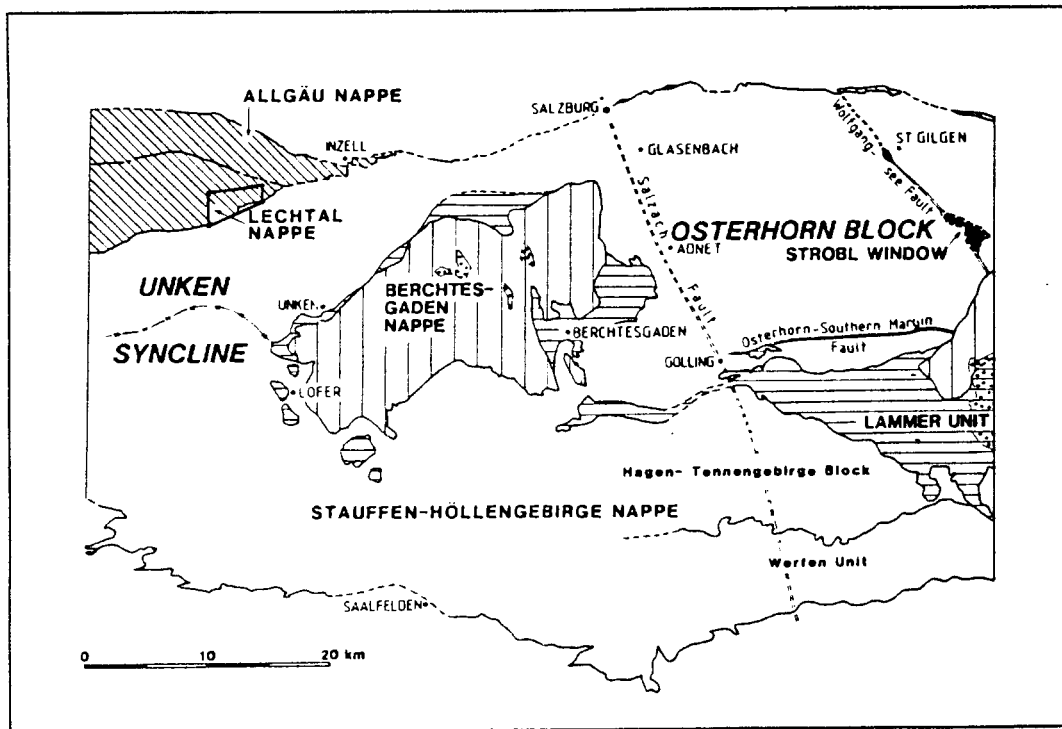


Abb. 1: Kartenskizze nach TOLLMANN (1976) mit der Lechtaldecke im westlichen Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen. Eingezeichnet in die Lechtaldecke ist die Lage des Arbeitsgebietes.

Fig. 1: Sketch map after TOLLMANN (1976) showing the Lechtal Nappe within the western part of the Northern Calcareous Alps. The position of the study area is indicated by a square.

zwischen der Gosau und dem Eozän. Das jüngste Ereignis, die endgültige Überschiebung durch die Staufendecke, fand post-eozän statt (HENRICH & ZANKL 1981).

Im Rahmen von Diplomkartierungen (HEBBELN 1987, GRÜTZMACHER 1988, LACKSCHEWITZ 1987, RUHLAND 1987, SCHRÖDER 1990, SUHR 1989) und während verschiedener Fortgeschrittenen-Kartierkurse des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Kiel (1986–1992) wurde der Südrand der Lechtaldecke vor der Überschiebungsfront der Staufendecke unter Berücksichtigung moderner fazieller Auswertungen geologisch neu aufgenommen. In den differenzierten Ablagerungen des Jura konnte eine bisher nicht bekannte Sonderfazies ausgegliedert werden, die aufgrund ihres Leithorizontcharakters eine Neuordnung der wichtigsten tektonischen Internstrukturen der Lechtaldecke ermöglichte. Mit Hilfe dieser als Schwellenfazies interpretierten Sonderfazies des Oxford konnte eine Muldenstruktur über das gesamte Arbeitsgebiet verfolgt werden. Dabei wurde festgestellt, daß die bisherige tektonische Zuordnung der Muldensysteme im Südteil der Lechtaldecke, wie sie auch in der amtlichen Geologischen Karte von Bayern, Blatt 8241 Ruhpolding (DOBEN 1970), dargestellt ist, nicht zutreffend ist.

2. Fazielle und stratigraphische Gliederung

Im Südteil der Lechtaldecke ist eine Schichtenfolge aufgeschlossen, die von dem norischen Hauptdolomit bis zu den Neokom-Aptychenschichten reicht. Die Triasablagerungen sind dabei durch mächtige Kalk- und Dolomitfolgen geprägt. Im Jura trat eine räumliche Differenzierung ein, die zur Ablagerung wesentlich geringmächtigerer Rot-, Grau- und Kieselkalke führte. Diese Entwicklung wurde durch das Einsetzen einer rein kalkigen, pelagischen Sedimentation im Malm beendet, die sich mit einem erhöhten Mergelanteil bis in die Unterkreide fortsetzt (DOBEN 1970).

Im Arbeitsgebiet sind die ältesten aufgeschlossenen Gesteine der Lechtaldecke die mächtigen Gezeiten- und Lagunensedimente des Hauptdolomites, die während des Nors zur Ablagerung kamen (ZANKL 1971). Im obersten Nor gerät die Hauptdolomitplattform teilweise unter terrigenen Einfluß und es kommt im Rhät zur Entstehung der Kössener Becken. Die Ursache liegt in Schüttungen von Pro-Deltasedimenten, die die Karbonatsedimentation zunehmend unterbrechen und somit bei gleichbleibender Subsidenz zur Ausbildung der flachen Schelfbecken führen. Daneben kommen aber auch weiterhin mit den mächtigen Oberrhätkalken Flachwasserkarbonate zur Ablagerung (Abb. 3a, b, c), die in einem Profil des Nordflügels der

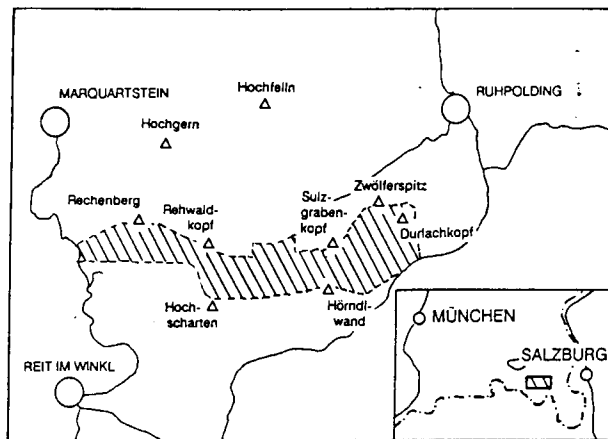


Abb. 2: Lage des Arbeitsgebietes.

Fig. 2: Regional setting of the study area.

Burgaualm-Mulde zyklische Ablagerungsmuster von Loferiten, oolithischer Fazies, Foraminiferen-Peloid-Fazies und Biogen-Schlammfazies mit einer typischen benthischen Foraminiferenfauna (u.a. *Triasina hantkeni* MAJZON) aufzeigen. Im unteren Teil dieses Profils deuten Kalksandsteine (Abb. 3b) und zyklisch auftretende Mergellagen auf Schüttungen aus sich ständig verlagernden Deltas der Vindelizischen Schwelle. Im Bereich des Sulzgrabenkopfes weisen Spaltenfüllungen mit Adneterkalken auf eine Verkarstung der Plattformkarbonate im obersten Rhät hin.

Im Jura änderte sich das Bild und es kam zu einer größeren faziellen Differenzierung. Die Öffnung des penninischen Ozeans führte an den Kontinentalrändern zum Einsetzen einer Bruchschollentektonik, was das Zerbrechen der noch vorhandenen alpinen Plattformen zur Folge hatte. Es kam zu einer deutlichen morphologischen Gliederung des Ablagerungsraumes durch variable Subsidenz. Im Lias wurde auf Tiefschwellen eine Schwellenfazies in Form von kondensierten Rotkalken (Adneterkalk und Hierlatzkalk) abgelagert (Abb. 3a, b, c), während in den Becken die Kössener Mergel direkt in die „Fleckenmergel“ übergingen, wie es CARSTENS (1987) aus der nördlich anschließenden Allgäu-Decke (Tiefbajuvarikum) beschrieben hat.

Im Arbeitsgebiet begann im Jura die Sedimentation mit den roten Adneterkalken, die südlich des Sulzgrabenkopfes sowie im nördlichen Burgaualm-Muldenflügel von geringmächtigen Beckensedimenten, den „Fleckenmergeln“, überlagert wurden (Abb. 3b). Die Adneterkalken zeigen ein Wackestone-Gefüge mit wechselnden Anteilen von Echinodermen-Fragmenten, Ammoniten, Belemniten, Gastropoden, Brachiopoden, Ostracoden und benthischen Foraminiferen (u.a. *Involutina liassica* JONES).

Des Weiteren konnten im Bereich der Burgaualm, Rechenbergalm und am Zwölferspitz Hartgrundbildung, biogene Inkrustationen, Anbohrungen und Fe-Mn-Kru-

sten beobachtet werden. Diese verschiedenen Sedimentstrukturen stehen im engen Zusammenhang mit einer kondensierten Sedimentation sowie zeitweiligen Sedimentationsunterbrechungen.

Die „Fleckenmergel“ sind durch eine Kalk/Mergel-Wechselagerung gekennzeichnet. Charakteristisch für diese Gesteinsabfolge ist die intensive Durchwühlung des Sediments, die aufgrund der Bioturbationsmuster der *Zoophycos-Chondrites-Planolites* Ichnofazies zugeordnet werden kann. Die relativ gering diverse Fauna besteht überwiegend aus Schwammnadeln, Filamenten, Echinodermendetritus und benthischen Foraminiferen. Zeitlich ist diese oberste Fleckenmergel-Abfolge vermutlich in den oberen Lias zu stellen, wobei jedoch biostratigraphische Untersuchungen an benthischen Foraminiferen (Tabelle 1) eine stratigraphische Reichweite vom oberen Lias bis unteren Dogger aufgezeigt haben. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, daß sich die Fleckenmergelsedimentation noch bis in den Dogger fortsetzte.

Tabelle 1: Benthische Foraminiferen im Fleckenmergel des nördlichen Burgaualm-Muldenflügels

Ammodiscus sp.

Astracolus sp.

Citharina sp.

Cornuspira orbicula (?) (TERQUEM & BERTHOLET)

Dentalina commininis D'ORBIGNY

Dentalina tenustriata (?) TERQUEM

Dentalina varians TERQUEM

Lingulina aff. *tenera* BORNEMANN

Proteonina aff. *ampullacea* (BORNEMANN)

Der hohe Tongehalt und die relativ geringen Anteile von Quarz und Glimmer weisen auf eine offen marine Sedimentation mit Zufuhr feinen terrigenen Materials in die Beckenbereiche.

Parallel dazu kam es zu einer Eintiefung des Ablagerungsraumes, welche sich während des Doggers fortsetzte und die Ablagerung eines dunkelgrauen bis dunkelbraunen Kieselkalkes zur Folge hatte. Die hornsteinreichen Kieselkalken lassen eine kontinuierliche Entwicklung aus den Fleckenmergeln erkennen, wobei es zu einer deutlichen Verringerung des Toneintrages kommt. Der Kieselkalk ist durch den hohen Anteil von Schwammnadeln gekennzeichnet, was auf eine zunehmende Besiedlung der Beckenbereiche durch Kiesel-schwämme hinweist.

Gleichzeitig kam es aufgrund einsetzender Kipp-schollentektonik zur Bildung neuer Schwellen im Bereich der mittleren und nördlichen Lechtaldecke (LACKSCHEWITZ et al. 1991). Diese Entwicklung wird im


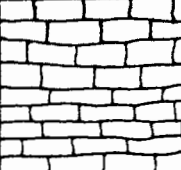





KREIDE	Unterkreide		-400m	Neocom- Aptychenkalk	Mergel mit Kalkmergelbänken
	JURA	Malm		30m	Aptychenkalk
Dogger			10m	Radiolarit	rote Kieselkalke
			-15m	Knollenflaserkalk	intraformationelle Auf- arbeitungen, Fe/Mn-Krusten
			50m	Kieselkalk	dunkle Kalke mit dunklen Hornsteinen
Lias		10m	Adneterkalk	knollig, fossilreich, Fe/Mn-Krusten	
TRIAS	Rhät		-300m	Oberrhätkalk	gebankte und massige Kalke

Abb. 3: Standardprofile der (a) Rechenberg-, (b) Burgaualm- und (c) Oberwössener-Mulde (Standardprofil der Oberwössener Mulde nach SCHRÖDER 1990).

Fig. 3: Standard profiles of the (a) Rechenberg-, (b) Burgaualm- and (c) Oberwössen synclines (standard profile of the Oberwössen syncline after SCHRÖDER 1990).

Arbeitsgebiet (Nordflügel der Rechenberg-Mulde, Rehwaldkopf und Zwölferspitze) durch rote Knollenkalke mit häufig auftretenden intraformationellen Aufarbeitungen angezeigt (Abb. 3a). BERNOULLI (1972) beschreibt einen syndementären Mechanismus der Knollenbildung, die Bildung sogenannter Schlammmergelströme („pebbly mudstones“). Mögliche diagenetische Bildungen werden bei HOLLMANN (1962) und bei ZANKL (1969) diskutiert. Die durch Drucklösungsprozesse gebildeten Stylolithscharen reichten jedoch in die Knollen hinein, so daß sie als spätdiagenetisch entstanden gedeutet werden. Neben der unterschiedlichen Farbe von Knollen und Matrix, rotbraune bis weiße Knollen schwimmen in einer blaßroten Matrix, ist eine deutlich unterschiedliche Biogenführung zu beobachten. Während die Matrix durch eine Anreicherung feinen Echinodermendetritus gekennzeichnet ist, können neben bioklastenreichen auch Fila-

ment-führende und Spicula-führende Knollen beobachtet werden. Die Knollen müssen somit als Rutschungs- bzw. Schlickgerölle eines nicht völlig verfestigten Schlammes angesehen werden. Der hohe bioklastische Eintrag (überwiegend feiner Echinodermenschutt) und der relativ hohe Tongehalt sowie der vermehrt auftretende detritische Quarz scheinen hier auf eine vorhandene submarine, eventuell zeitweise exponierte Schwelle im unmittelbaren Einflußbereich hinzudeuten (LACKSCHEWITZ et al. 1991). Der durchschnittlichen Mächtigkeit des Doggers im Arbeitsgebiet von ca. 150 m steht eine Mächtigkeit der Abfolge im Nordflügel der Rechenberg-Mulde von ca. 65 m gegenüber (Abb. 4). Erst im Oxford mit dem Beginn der Radiolaritsedimentation in weiten Bereichen der heutigen Nördliche Kalkalpen endet die Ausbildung einer Schwellenfazies im Nordflügel der Rechenberg-Mulde.

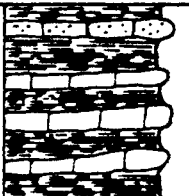
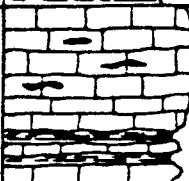

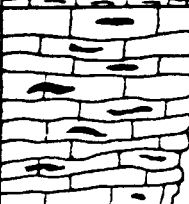



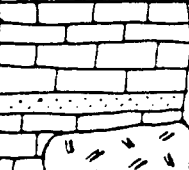
KREIDE	Unterkreide		-400m	Neocom- Aptychenkalk	Sandsteinbänke Mergel mit Kalkmergelbänken
	JURA	Malm		30m	Aptychenkalk
			10m	Radiolarit	rote Kieselkalke
Dogger			-150m	Kieselkalk	hellbraune Kalke mit braunen Hornsteinen
				Spatkalk	stark verkieselt
Lias			-10m	Fleckenmergel	Kalk/Mergel Wechselagerung
			10m	Adneterkalk	knollig, fossilreich, dünnbankig, z.T. kieselig
TRIAS	Rhät		-300m	Oberrhätkalk	gebankte und massige Kalke lokal Sandsteinbänke

Abb. 3 (Fortsetzung): Standardprofile der (a) Rechenberg-, (b) Burgaualm- und (c) Oberwössener-Mulde (Standardprofil der Oberwössener Mulde nach SCHRÖDER 1990).

Fig. 3 (Continue): Standard profiles of the (a) Rechenberg-, (b) Burgaualm- and (c) Oberwössen synclines (standard profile of the Oberwössen syncline after SCHRÖDER 1990).

In dieser Ausbildung läßt sich die Sonderfazies vom Rechenberg im Westen des Arbeitsgebietes über den Rehwaldkopf bis zum Zwölferspitz im Osten des Arbeitsgebietes verfolgen. An der Wende Dogger/Malm setzt großräumig Radiolarit-Sedimentation ein (DIERSCHKE 1980), die bedingt ist durch die sprunghafte Entwicklung des kieseligen Zooplanktons. Die Radiolarite sind im Arbeitsgebiet als rote, dünngebankte Kieselkalke in Wechselagerung mit feinen dunkelroten Mergellagen ausgebildet (Abb. 3a, b, c). Typische Radiolarite bestehen aus mikrosparitisch kalzitischen Radiolarien-Gehäusen in einer mikritischen oder kieseligen Matrix.

Im Oxford waren dann die tiefsten Meereströge des

alpinen Mesozoikums entstanden (PLÖCHINGER 1980), in denen diese Radiolarite sedimentiert wurden, die nur auf einigen Schwellen durch die Ablagerung von Rotkalken ersetzt wurden (DIERSCHKE 1980, GRÜTZMACHER 1988). Im Tithon kam es durch die Entwicklung des kalkigen Nannoplanktons und der planktischen Foraminiferen zu einer deutlichen Absenkung der Karbonatkompensationstiefe, so daß über ein sehr breites Tiefenintervall pelagische Kalke zur Ablagerung kamen. Diese Phase wird im Arbeitsgebiet durch die elfenbeinfarbenen Malm-Aptychenschichten repräsentiert (Abb. 3a, b, c), die durch das Vorherrschen von nannofossilreichen Calpionellen Wackestones gekennzeichnet sind. Die Entwicklung des kalki-

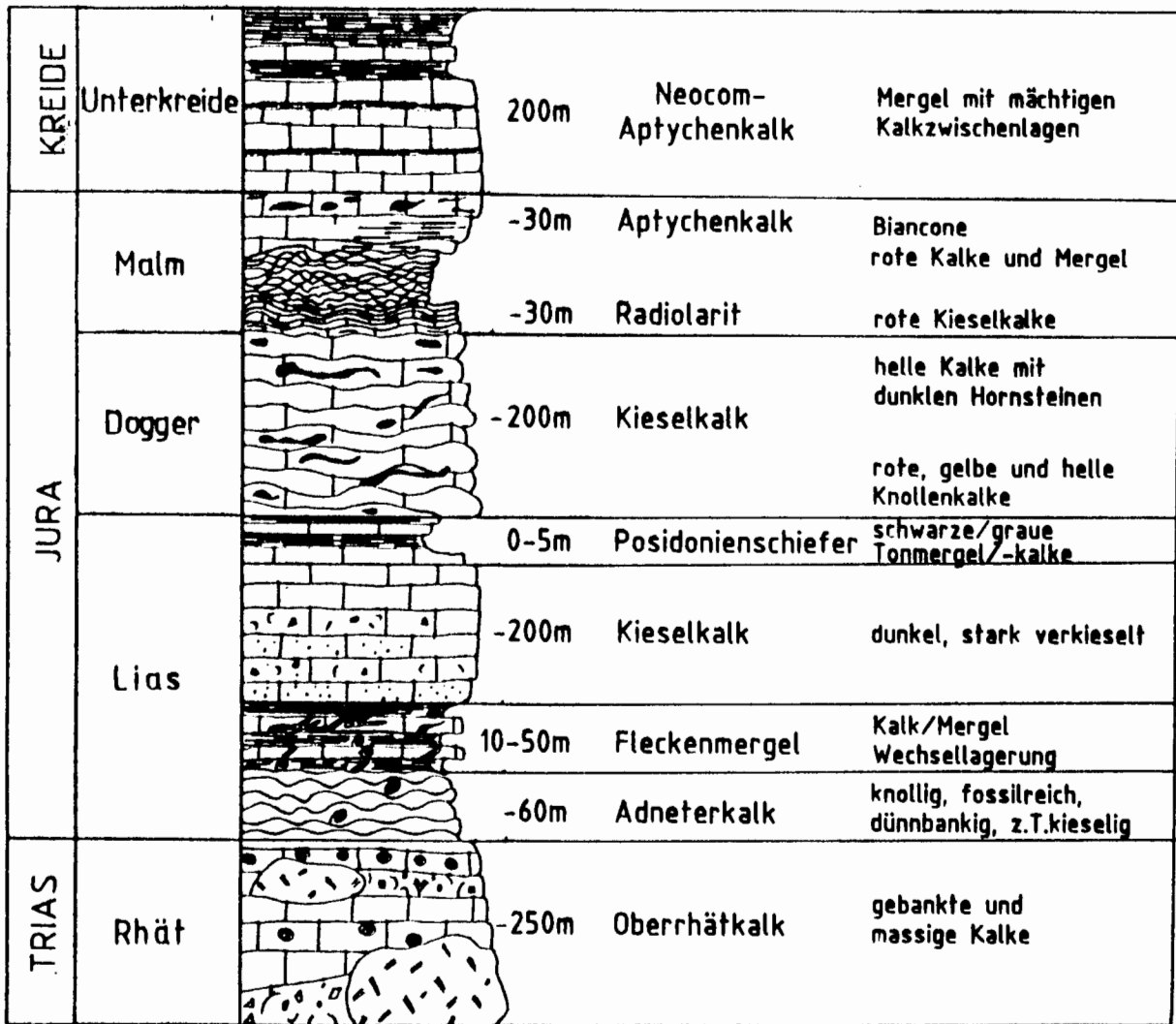


Abb. 3 (Fortsetzung): Standardprofile der (a) Rechenberg-, (b) Burgaualm- und (c) Oberwössener Mulde (Standardprofil der Oberwössener-Mulde nach SCHRÖDER 1990).

Fig. 3 (Continue): Standard profiles of the (a) Rechenberg-, (b) Burgaualm- and (c) Oberwössen synclines (standard profile of the Oberwössen syncline after SCHRÖDER 1990).

gen Planktons setzte sich in die Unterkreide hinein fort, während der eine Zunahme des terrestrischen Einflusses mit den tonreichen und sandsteinführenden Neocom-Aptychenschichten zu beobachten ist. Der zunehmende terrestrische Einfluß in der Unterkreide zeigt die im Süden beginnende Subduktion des penninischen Ozeans, in deren Zusammenhang es zu ersten Aufstiegsbewegungen und zu einer dadurch verursachten verstärkten Schüttung terrigener Klastika in die subduzierten Ozeanbecken kam (FAUPL & TOLLMANN 1979).

3. Abwicklung der Faziesräume

Die weite Verbreitung der Oberrhätkalke und der liassischen Rotkalke deutet darauf hin, daß das gesamte Arbeitsgebiet an der Wende von der Trias zum Jura eine E-W streichende Schwellenregion dar-

stellte. Im Gegensatz dazu belegt der kontinuierliche Übergang von den Kössener Mergeln des Rhät zu den liassischen Fleckenmergeln in der nördlichen Allgäu-Decke (CARSTENS 1987) eine stärkere Subsidenz bei einer durchlaufenden Beckenentwicklung. Die räumliche Differenzierung in E-W streichende Schwellen und Becken während der Grenze Trias/Jura sind eine typische Erscheinung für den gesamten Bereich der Nördlichen Kalkalpen (CHANNEL et al. 1992). Im Arbeitsgebiet zeigen lokal auftretende Sedimentpakete von geringmächtigen Fleckenmergeln auf den liassischen Rotkalke eine erste Eintiefung im unteren Jura an (Abb. 4a). An anderen Stellen deutet die direkte Überlagerung der Adneterkalke durch die Dogger-Kieselkalke auf eine zeitlich spätere Absenkung des Ablagerungsraumes hin (Abb. 4b). Zu dieser Zeit hat sich wahrscheinlich ein nach Süden abfallender Beckenhang mit intensiver Be-

siedlung durch Kieselschwämme und lokale Crinoidenwälder ausgebildet. Seine nördliche Begrenzung muß in Form einer ausgeprägten Schwellenregion im Bereich der nördlichen Lechtaldecke gelegen haben. Echinodermenreiche Kalke mit intraformationellen Einschaltungen im nördlichen Abschnitt der Lechtaldecke (Abb. 4b) weisen hier auf hangwärts gerichtete Sedimenttransporte am oberen Schwellenhang hin (LACKSCHEWITZ et al. 1991). Während des Doggers setzte sich die Vertiefung des Beckenhangs fort, wobei rote Knollenkalk mit intensiven intraformationellen Aufarbeitungsphänomenen die Existenz einer Schwelle im Norden bis in den obersten Dogger dokumentieren (Abb. 4b). Aufgrund ihrer räumlichen Ausdehnung und ihrer ausgeprägten Schwellenfazies ist anzunehmen, daß diese Schwelle im Dogger eine stabile, weiträumige nördliche Begrenzung des Beckenhangs darstellte.

Im Oxford setzt auf dem Nordflügel der Rechenberg-Mulde wie im gesamten Arbeitsgebiet die Radiolarit sedimentation ein. Somit gerät der Ablagerungsraum des heutigen Nordflügels der Rechenberg-Mulde mit Beginn des Oxford aus dem unmittelbaren Einflußbereich dieser im Norden gelegenen Schwelle. Die relativ kalkige und geringmächtige Ausbildung des Radiolarits in der Rechenberg-Mulde verglichen mit anderen Bereichen der Nördlichen Kalkalpen (DIERSCHKE 1980) deutet aber auf eine andauernde Existenz eines Beckenhangs als Sedimentationsraum hin. Dagegen kommt es auf der nördlich gelegenen Schwelle zur Ablagerung roter Knollenflaserkalk (Ruhpoldinger Marmor) (LACKSCHEWITZ et al. 1991), die heute östlich des Hochgern aufgeschlossen sind (Abb. 4c). In diese Calpionellen- und planktische Foraminiferen-führenden Knollenflaserkalk sind rinnenartig Flachwasserkarbonate mit einer spezifischen Pseudopeloid- und Ooidfazies eingelagert. Diese Folge reicht bis in den Kimmeridge.

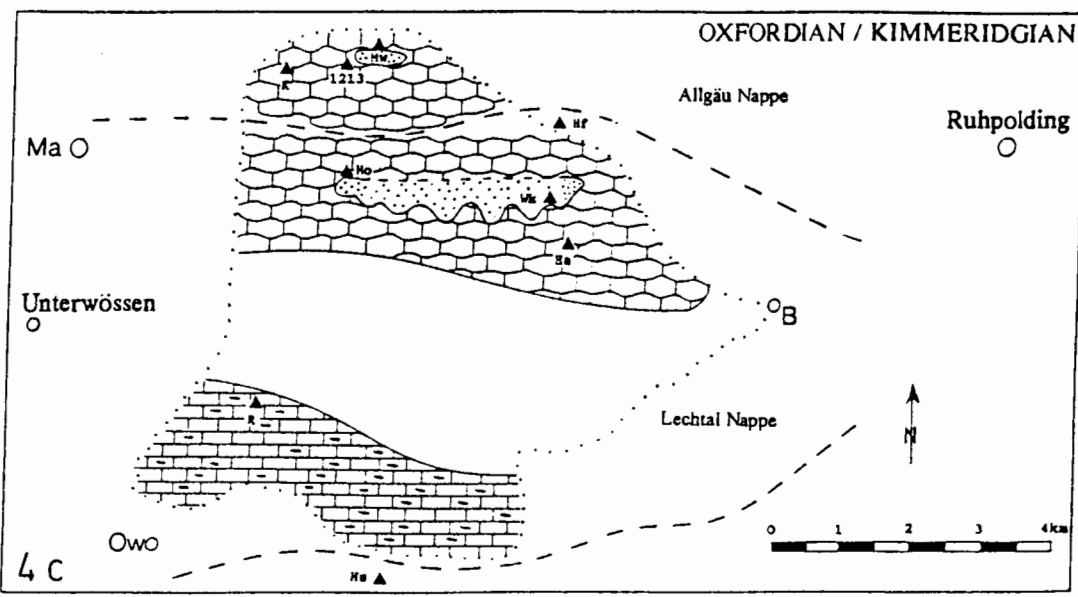
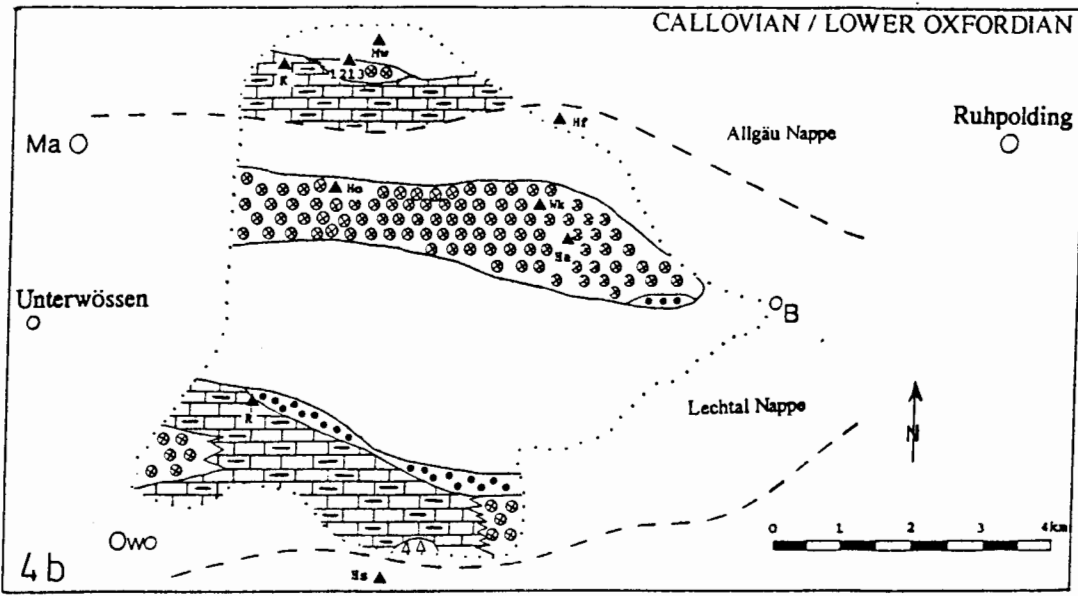
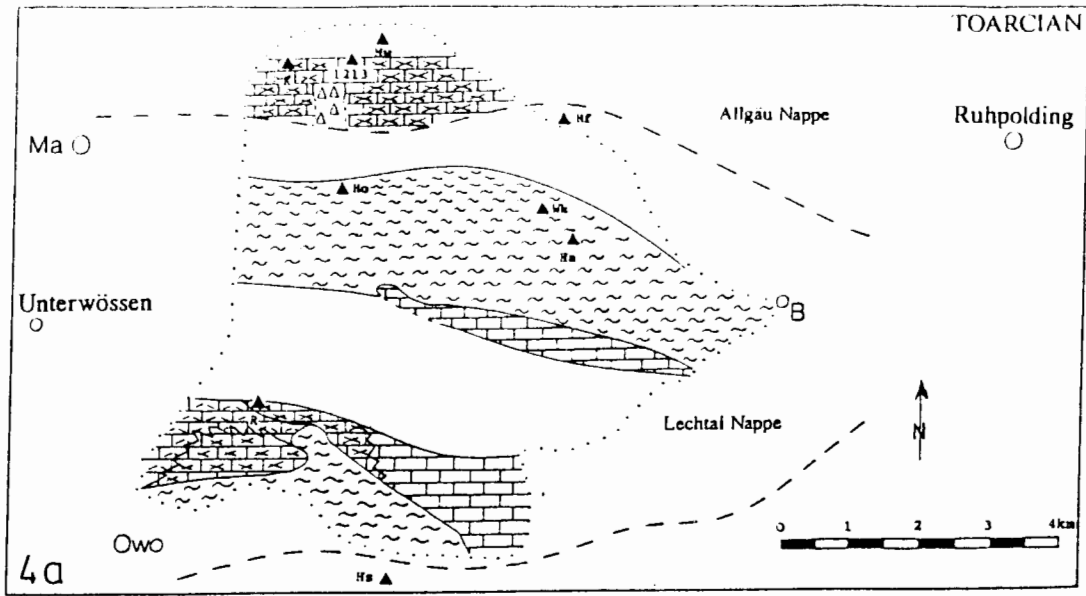
Diese Faziesdifferenzierung wird auf eine vom Oxford bis in den Kimmeridge fortschreitende Kippschollentektonik zurückgeführt (LACKSCHEWITZ et al. 1991), wie sie bereits schon häufiger in den letzten Jahren für die paläogeographische Rekonstruktion des südlichen Kontinentalrandes des Tethys/Piemontese Ozeans dokumentiert wurde (EBERLI 1988, VESCEI et al. 1988, CHANNEL et al. 1992). Die Topbereiche der südlichen Kippschollen sind durch die Ablagerung von Pseudo-Peloiden und Pseudo-Ooiden als ehemalige flachmarine Zonen ausgewiesen. Diese verzahnen sich hangabwärts mit pelagischen Schlämmen und zeigen somit die topographischen Gradienten der asymmetrischen Kippschollen an. Die Ablagerung von

Knollenflaserkalken am Top weiter nördlich gelegener Kippschollen in der Allgäudecke sind hingegen durch Lamellibranchiaten- und Echinodermenbruch gekennzeichnet (MEINECKE 1987, SCHNEIDER 1987). Somit zeichnen die Fazies auf den obersten Schwellenbereichen der Lechtal- und Allgäudecke immer tiefer gelegene Abbruchräume von Süden nach Norden nach, was ein Abgleiten der Kippschollen nach Norden dokumentiert.

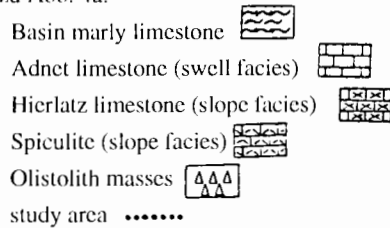
Jedoch können die lystrischen Bruchzonen heute im Gelände nicht mehr nachgewiesen werden. Dies steht möglicherweise im Zusammenhang mit der nachfolgenden starken Einengungstektonik im Arbeitsgebiet. Auch am Osterhorn Block und in der Lammer-Einheit zeigt die laterale fazielle Entwicklung ein Abscheren der Blockschollen nach Norden (VESCEI et al. 1988). Dagegen zeigen CHANNEL et al. (1992) anhand fazieller Beobachtungen ein südwärts gerichtetes Abbrechen der Kippschollen im Gebiet der Karwendel-Thiersee Mulde. Ihrer Meinung nach handelt es sich hierbei um Kippschollen des nördlichen Kontinentalrandes des „Hallstätter Ozeans“, der im Jura die Nördlichen Kalkalpen von den Südalpen getrennt haben soll. Da diese Kippschollen im Streichen der hier untersuchten Lechtal-Einheit und auch der Osterhorn- und Lammer-Einheit liegen, besteht ein Konflikt hinsichtlich der Abbruchrichtung und Lage dieser Kippschollen und bleibt somit Gegenstand weiterer Untersuchungen.

4. Lokale Tektonik

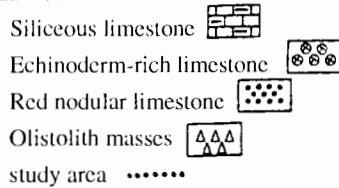
Der südliche Teil der Lechtaldecke ist geprägt durch post-eozäne Einengungstektonik (HENRICH & ZANKL 1981), welche durch das Aufschieben der Staufendecke von Süden nach Norden auf die Lechtaldecke ausgelöst wurde. Dabei wurden bereits vorgosauisch in der Lechtaldecke angelegte, heute annähernd E-W-streichende Mulden- und Sattelstrukturen intensiv überprägt (siehe geologische und tektonische Karte, Beilage 5). Das Arbeitsgebiet ist in erster Linie durch drei große Muldenzüge (Rechenberg-, Burgaualm- und Oberwössener-Mulde) gekennzeichnet, deren zugehörige Sättel (Rechenberg- und Gschlad-Sattel) zum Teil nur als Fragmente erhalten sind. Im Westteil des Arbeitsgebietes sind die Mulden und Sättel noch weitgehend ungestört erhalten (s. geol. und tektonische Karte, Beilage 5). Aufgrund der größeren Nähe zur Deckenstim der Staufendecke konnte im östlichen Teil der zunehmende Druck der Einengung nicht mehr durch Verformung kompensiert werden, so daß es weitflächig zum Ausquetschen ganzer Mulden- bzw. Sattelstrukturen und zu intensiven Schuppungen und Zerschuerungen kam. Hierbei wurden die Nordflügel der



Erläuterungen zu Abb. 4a:



Erläuterungen zu Abb. 4b:



Erläuterungen zu Abb. 4c:

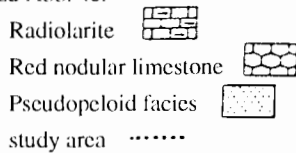


Abb. 4 (linke Seite): Fazieskarten vom oberen Lias bis in den Malm der Lechtaldecke und der angrenzenden südlichen Allgäudecke (reproduziert aus LACKSCHEWITZ et al. 1991).

(a) Die Faziesverteilung im oberen Lias zeigt Adneterkalke auf der Schwelle im Mittelabschnitt der Lechtaldecke und „Fleckenmergel“ in den Becken. Westlich dieser Schwelle deuten Kieselkalke und resedimentierte, echinodermenreiche Kalke auf den Übergang zum Schwellenhang hin.

(b) Die Faziesverteilung vom oberen Dogger bis unteren Malm zeigt mächtige echinodermenreiche Kalke auf einer breiten Schwelle in der zentralen Lechtaldecke. Der südliche Hang dieser Schwelle ist gekennzeichnet durch rote Knollenkalke mit intraformationellen Aufarbeitungen. Südlich und nördlich dieser Schwelle zeigen Kieselkalke eine Becken- bzw. Beckenhangfazies an.

(c) Im unteren Malm bis oberen Malm wurden in den Becken der südlichen Lechtaldecke weit verbreitet Radiolarite abgelagert, während die Schwellen in der nördlichen Lechtaldecke und in der südlichen Allgäudecke Ablagerungen von roten Calpionellen-reichen Knollenfaserkalken aufweisen. Der Top der Schwellen wird von einer Flachwasser-Pseudopeloidfazies eingenommen.

Fig. 4 (left side): Facies maps showing the Upper Liassic to Malmian facies development in the Lechtal Nappe (reproduced from LACKSCHEWITZ et al. 1991).

(a) Upper Liassic facies patterns reveal condensed nodular limestones of Adnet facies on a swell in the central Lechtal Nappe and rhythmic marl/limestone succession in the basins. Towards west this swell seems to slope down as evidenced by a spiculite facies and resedimental echinoderm-rich Hierlatz limestones.

(b) Upper Dogger to Lower Malm facies successions indicate a broad swell covered with thick echinoderm-rich limestone units in the central Lechtal Nappe. Southward red nodular limestone with intraformational breccias and conglomerates point to downslope mass wasting and reworking.

(c) Facies development from Lower to Middle Malm records radiolarites in a basin in the southern Lechtal Nappe while three surrounding swells in the northern Lechtal Nappe and southern Allgäu Nappe display deposition of pelagic red nodular limestones intercalated with calpionellid and planktic foraminifers wackestones. Near the top of the swells lense-shaped shallow water pseudopeloid and ooid facies are intercalated.

Mulden, gegenüber ihren Kernen und Südflügeln, weniger stark beansprucht (s. geol. Profile B, C, Beilage 5). Im Bereich der stärksten Einengung vor der Deckenstirn der Stauffendecke sind auch die Nordflügel nur noch zerschert erhalten (s. geol. Profile, Beilage 5). Die Schuppung erfolgte entlang heute W–E bis SW–NE-streichender, südfallender Aufschiebungen, die sich als bestimmende tektonische Trennelemente zwischen den Hauptmulden über das gesamte Arbeitsgebiet verfolgen lassen.

Bei einer genauen Detailanalyse fallen weitere tektonische Strukturen auf, deren mechanisches Verhalten bei der starken tektonischen Einspannung wesentliche zusätzliche Informationen zum Gesamtbild der Einengungsdynamik am NW-Rand des Tirolischen

Bogens beitragen. Es sind dies SW–NE (untergeordnet auch NW–SE) streichende dextrale Schrägabschiebungen bzw. dextrale Seitenverschiebungen in den westlichen Abschnitten des Gebietes (Oberwössen bis Rehwaldkopf — siehe geologische Karte, Beilage 5; Abb. 5c). Hierdurch werden die im Westteil des Gebietes generell nach Osten eintauchenden Muldenachsen wie auch die Hauptaufschiebungen, die die Muldenzüge trennen, zunehmend südwärts versetzt. Hingegen werden im Ostabschnitt des Gebietes (Röthelmoos–Unternberg) die Muldenachsen und die trennenden Hauptaufschiebungen durch sinistrale Schrägabschiebungen bzw. Seitenverschiebungen zunehmend nordwärts versetzt (siehe geol. u. tekt. Karte, Beilage 5) und die Muldenachsen tauchen hier nach W ein.

Insgesamt ergibt sich somit eine starke Einspannung der Lechtaldecke im Vorfeld der in östlicher Richtung zunehmend nach Norden überschneidenden Tirolischen Front. Das breite Hauptdolomitareal des Rehwaldkopfes im Mittelabschnitt des Gebietes fungierte dabei als starrer Block, an dem sich die maximale Einengung in dem schmalsten Ausstrich und in der intensivsten Ausdünnung und Verschuppung der Muldenzüge im gesamten Arbeitsgebiet dokumentiert. Zudem wird die starke Einspannung der südlichen Lechtaldecke um diesen starren Block durch die dextralen bzw. sinistralen Schrägabschiebungen und das gegenläufige Achsenabtauchen beiderseits des Blockes belegt.

Vergleichbare Strukturen werden auch aus anderen Bereichen der Lechtaldecke beschrieben (EISBACHER et al. 1990). In einigen Fällen kann ihre Anlage möglicherweise auf frühe Kippschollenbewegungen zurückgeführt werden (CHANNEL et al. 1992). Während der späteren Einengungstektonik wurden die Störungen reaktiviert und in ihrem mechanischen Verhalten umfunktioniert. Jungtertiäre Ausgleichsbewegungen an Seitenverschiebungen und Schräg-Ab/Aufschiebungen spielen nach RATSCHBACHER et al. (1991) eine große Rolle im Streifelfeld des Alpen-Karpatenbogens und seiner tektonischen Beziehung zum Vor- und Hinterland.

5. Tektonische Zuordnung der Internstrukturen der Lechtaldecke am NW-Rand des Tirolischen Bogens

Aufgrund der oben beschriebenen Ergebnisse ist eine Neuordnung der Muldenstrukturen im Arbeitsgebiet gegenüber dem bisherigen Wissensstand notwendig geworden. DOBEN (1970) sah in dem Muldenzug, der vom Zwölferspitze über den Nordhang des Sulzgrabenkopfes nach Westen verläuft, noch die Fortsetzung der Oberwössener-Mulde (Abb. 5b). Die Auskartierung der Sonderfazies und die in dieser Arbeit vorgelegte tektonische Analyse zeigen jedoch, daß dieser Muldenzug mit der Muldenstruktur am Rechenberg identisch sein muß, die auch bei DOBEN (1970) als Rechenberg-Mulde bezeichnet wird. An einer NE-SW streichenden Störung südwestlich des Rehwaldkopfes werden alle Muldenzüge im Osten des Arbeitsgebietes deutlich gegenüber den westlichen Teilen nach Süden versetzt. Diese Störung wurde von DOBEN (1970) nur in ihrem nördlichen Teil beschrieben. Die Oberwössener-Mulde sah er von dieser Störung schon nicht mehr betroffen und verband sie mit der Muldenstruktur nördlich des Sulzgrabenkopfes und am Zwölferspitze. Diese Fortsetzung gehört aber, nach unseren Ergebnissen, eindeutig zur Rechenberg-Mulde (Tekt. Karte, Beilage 5; Abb. 5c). Aus dieser Neuordnung ergibt sich auch die Not-

wendigkeit, die Zuordnung der weiter südlich gelegenen Mulden zu betrachten.

Aufgrund der Abfolge der Mulden im Westteil des Arbeitsgebietes, wo auch die namengebenden Strukturen für die Mulden zu finden sind, ist anzunehmen, daß sich auch im Ostteil des Arbeitsgebietes die Burgaualm-Mulde im Süden an die Rechenberg-Mulde anschließt. Ausgehend davon, daß sich im Norden die Oberwössener-Mulde befindet, bezeichnet DOBEN (1970) diese Struktur als Sulzgrabenkopf-Mulde. Auch hier gibt es zusätzlich zu den oben diskutierten tektonischen Befunden lithofazielle Hinweise darauf, daß es sich im östlichen Arbeitsgebiet ebenfalls um die Burgaualm-Mulde handelt, die sich an die Rechenberg-Mulde anschließt (Abb. 5c). So wurden sowohl hier als auch am Gschlad-Sattel auffällig glasig-violette Spatkalke gefunden (Abb. 3). Der Muldenkern der Oberwössener-Mulde ist östlich der eng gebündelten Störungsschar von dextralen Schrägabschiebungen bzw. Seitenverschiebung am Rehwaldkopf nur noch relik-tisch in Schuppen kurz vor der Deckengrenze erhalten.

6. Zusammenfassung

Die Ablagerungen der Trias in dem heutigen Gebiet der Nördlichen Kalkalpen zeigen typische Fazies-spektren einer Flachwasserkarbonatplattform auf einem tektonisch relativ stabilen subsidierenden Schelf. Die im mittleren Jura vermutlich in Verbindung mit der Öffnung des penninischen Ozeans einsetzende Kipp-schollentektonik am passiven Kontinentalrand im Süden des sich öffnenden Ozeans führte zu einer verstärkten Faziesdifferenzierung in diesem Ablagerungsraum. Dabei kam es zur Ausbildung von lokalen bis regionalen Sonderfaziestypen.

Im Zuge geologischer Kartierarbeiten in den Chiemgauer Alpen konnte im Nordflügel der Rechenberg-Mulde zwischen Oberwössen und Ruhpolding eine ausgeprägte jurassische Sonderfazies erstmals beschrieben werden. Diese als Schwellenfazies interpretierte Sonderfazies ist gekennzeichnet durch rote Knollenkalke mit häufig auftretenden intraformationellen Aufarbeitungen, die sich deutlich von der typischen Beckenfazies der Dogger-Kieselkalke unterscheidet. Die Sedimente des Doggers weisen somit auf eine sich stetig entwickelnde Schwellensituation im Bereich des Nordflügels der Rechenberg-Mulde hin. Diese Sonderfazies konnte über das gesamte Arbeitsgebiet vom Rechenberg im Westen bis zum Zwölferspitze im Osten verfolgt werden. Im Gegensatz zu früheren Auffassungen konnte dadurch gezeigt werden, daß diese topographischen Einheiten einer einzigen Muldenstruktur angehören. Diese Zuordnung führt auch zu einer neuen Korrelation der sich südlich anschließenden Mulden

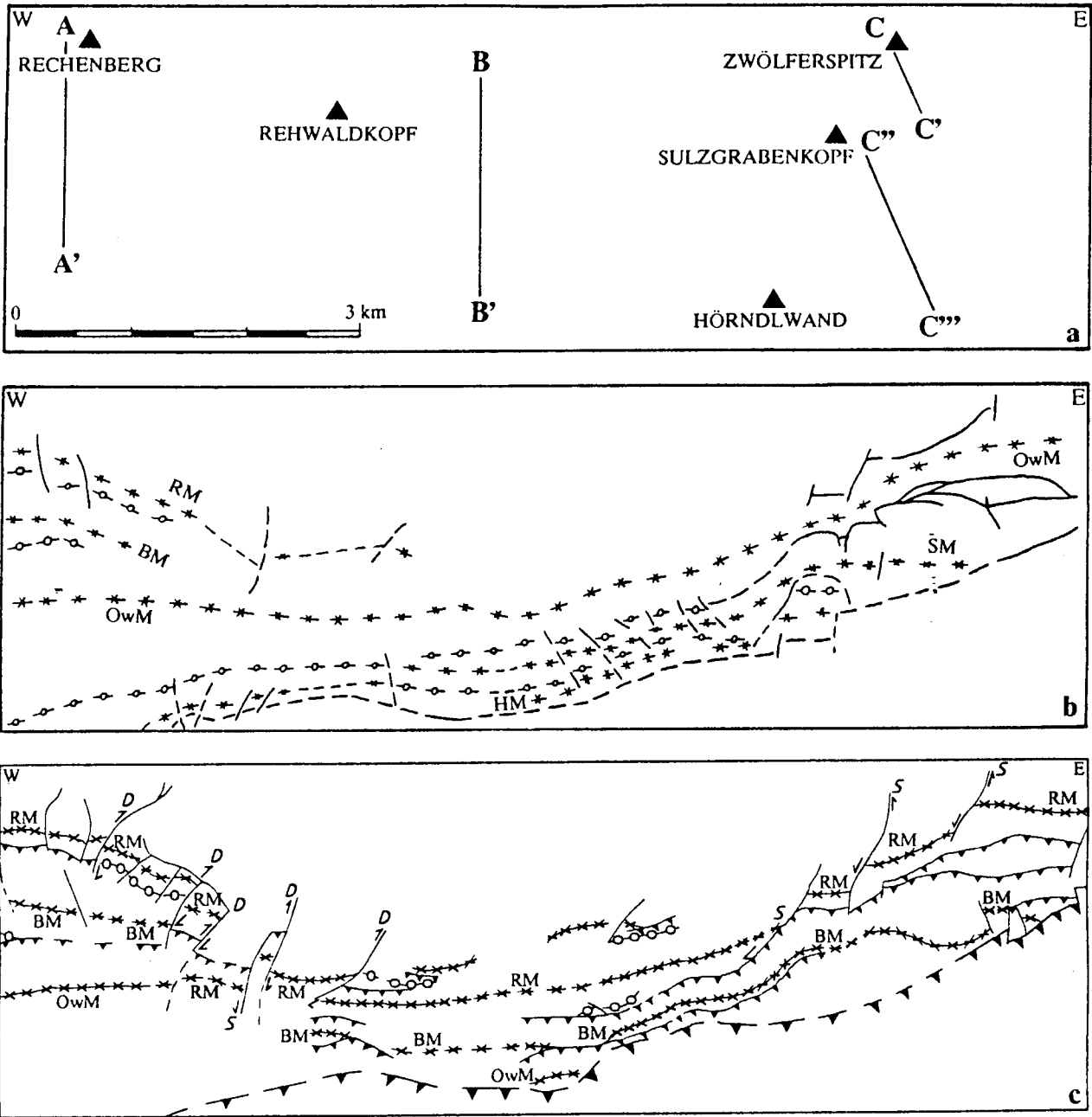


Abb. 5: Tektonische Zuordnung der Muldenstrukturen
 a: Geographische Übersicht mit Lage der Profilschnitte (Beilage 5)
 b: Interpretation nach DOBEN (1970)
 c: Interpretation nach dieser Arbeit

RM: Rechenberg-Mulde, BM: Burgaualm-Mulde,
 OwM: Oberwössener Mulde, HM: Hörndlalm-Mulde, RS: Rechenberg-Sattel, GS: Gschlad-Sattel.

S: Sinistrale Schrägabschiebung, D: Dextrale Schrägabschiebung

Fig. 5: Tectonic correlation of syncline structures
 a: geographical overview with positions of tectonic profiles (Addition 5)
 b: correlation according to DOBEN (1970)
 c: correlation proposed by this study

RM: Rechenberg syncline, BM: Burgaualm syncline,
 OwM: Oberwössen syncline, HM: Hörndlalm syncline, SM: Sulzgrabenkopf syncline, RS: Rechenberg anticline, GS: Gschlad anticline.

S: left oblique slip fault, D: right oblique slip fault

über eine ausgeprägte NW–SE Störung südwestlich des Rehwaldkopfes.

Unterstützt wird die aus den faziellen Befunden abgeleitete tektonische Zuordnung von Muldenzügen durch die auf einer Detailanalyse basierende tektonische Reinterpretation der Internstruktur der südlichen Lechtaldecke am NW-Rand des Tirolischen Bogens. Die Gesamtstruktur belegt eine starke Einspannung der Lechtaldecke vor der tirolischen Überschiebungsfrent, wobei eine maximale tektonische Ausdünnung der drei Hauptmulden an einem starren Block (Hauptdolomitsattel nördlich des Rehwaldkopfes) im Zentralabschnitt des Arbeitsgebietes erfolgte. Westlich und östlich des starren Blockes zeigen die Hauptmuldenzüge ein auf den Block hin zugerichtetes Achseneintauchen und werden zusätzlich durch scherende dextrale bzw. sinistrale Schrägabschiebungen in Richtung auf das Widerlager hin versetzt. Als Folge des intensiven einengenden Schubes der ostwärts zunehmend nach Norden greifenden Tirolischen Front sind nur die nördlichen Muldenzüge Burgaualm-Mulde und Rechenberg-Mulde nach Osten hin verfolgbar.

Danksagung

Die Diplommkartierungen und Geländearbeiten wurden durch die Forstbehörden des Raumes Ruhpolding, Siegsdorf und Marquartstein durch großzügige Vergabe von Fahrgenehmigungen unterstützt, wofür wir uns herzlich bedanken. Grundlage der vorliegenden Arbeit bilden neben den von den Co-Autoren angefertigten Diplomarbeiten weitere von R. Henrich betreute Diplommkartierungen. Wir danken Dipl.-Geol. J. Carstens, U. Grützmaier, G. Meinecke, R. Schneider, A. Schröder und J. Suhr für die Nutzung unpublizierter tektonischer und fazieller Befunde aus der nördlichen Lechtaldecke und der Allgäudecke. Während der Fortgeschrittenen-Kartierkurse des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Kiel in den Jahren 1986, 1987, 1989 und 1992 wurden wichtige ergänzende Geländebefunde gesammelt. Wir danken den Kollegen Prof. Dr. K. Duphorn, Dr. U. Pflaumann, Dr. C. Samtleben und Prof. Dr. M. Sarnthein für anregende Diskussionen und wichtige Hinweise im Gelände. Die vorliegende Arbeit hat sehr von den konstruktiven Anmerkungen von Herrn Dr. K. Decker und eines weiteren, uns nicht namentlich bekannten Reviewers profitiert, wofür wir uns herzlich bedanken. Nicht zuletzt gebührt unser großer Dank Frau Dipl.-Geol. C. Henrich und Herrn cand.-geol. F. Lindemann für die Assistenz bei der Erstellung der Geologischen Karte, des Tektonischen Beiblattes und der Reinzeichnung der Profilschnitte, sowie Frau C. Hoffmann und Frau O. Runze für das Korrekturlesen der Textteile.

7. Literatur

- BERNOULLI, D. (1972): North Atlantic and Mediterranean Mesozoic facies: a comparison. — [In:] HOLLISTER, C.D. et al. (Hrsg.): *Init Rep. Deep-Sea Drill. Proj.*, **11**, 801–872.
- CARSTENS, J. (1987): Geologische Kartierung der Allgäu-Decke nördlich des Hochfelln. — Unveröff. Dipl.-Arbeit, 1–37, Univ. Bremen.
- CHANNEL, J.E.T., BRANDNER, R., SPIELER, A. & STONER, J.S. (1992): Paleomagnetism and paleogeography of the Northern Calcareous Alps (Austria). — *Tectonics*, **11/4**, 792–810.
- DIERSCHKE, V. (1980): Die Radiolarite des Oberjura im Mittelabschnitt der Nördlichen Kalkalpen. — *Geotekt. Forsch.*, **58**, 1–217.
- DOBEN, K. (1970): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen Blatt Nr. 8241 Ruhpolding. — Bayer. Geol. Landesamt, 156 S., 44 Abb., 1 Tab., 3 Beil., München.
- EBERLI, G.P. (1988): The evolution of the southern continental margin of the Jurassic Tethyan Ocean as recorded in the Allgäu formation of the Austroalpine nappes of Graubünden. — *Eclogae geol. Helv.*, **81/1**, 175–214.
- EISBACHER, G.H., LINZER, H.-G., MEIER, L. & POLINSKI, R. (1990): A depth-extrapolated structural transect across the Northern Calcareous Alps of the western Tirol. — *Eclogae geol. Helv.*, **83/3**, 711–725.
- FAUPL, P. & TOLLMANN, A. (1979): Die Roßfeldschichten: Ein Beispiel für Sedimentation im Bereich einer aktiven Tiefseerinne aus der kalkalpinen Unterkreide. — *Geol. Rundschau*, **68**, 93–120, Stuttgart.
- GRÜTZMACHER, U. (1988): Großkartierung zwischen Haaralm und Nesselauer Schneid in den Chiemgauer Alpen. — Unveröff. Dipl.-Arbeit, 1–133, Univ. Kiel.
- HEBBELN, D. (1987): Geologie und Stratigraphie zwischen Sulzgrabenkopf und Durlachkopf in den Chiemgauer Alpen. — Unveröff. Dipl.-Arbeit, 1–37, Univ. Bremen.
- HENRICH, R. & ZANKL, H. (1981): Die Geologie des Hochstaufenmassivs in den Nördlichen Kalkalpen. — *Verh. Geol. B.-A.*, **2**, 31–57, Wien.
- HOLLMANN, R. (1962): Über Subsolution und die „Knollenkalke“ des *Calcare Ammonitico Rosso Superiore* in Monte Baldo (Malm, Norditalien). — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **4**, 163–179.
- LACKSCHEWITZ, K.S. (1987): Die Geologie des Rechenbergs und des Rehwaldkopfes in den Nördlichen Kalkalpen. — Unveröff. Dipl.-Arbeit, 1–121, Univ. Kiel.
- , GRÜTZMACHER, U. & HENRICH, R. (1991): Paleocyanography and rotational block faulting in the Jurassic carbonate series of the Chiemgau Alps (Bavaria). — *Fazies*, **24**, 1–24, 13 Abb., 4 Taf., Erlangen.
- MEINECKE, G. (1987): Geologie der Allgäudecke nordöstlich des Hochfelln. — Unveröff. Dipl.-Arbeit, 1–40, Univ. Bremen.
- PLÖCHINGER, B. (1980): Die Nördlichen Kalkalpen. — [In:] OBERHAUSER, R. (Hrsg.): *Der geologische Aufbau Österreichs*. — 218–262, Wien (Springer Verlag).
- RATSCHBACHER, L., FRISCH, W. & LINZER, H.-G. (1991): Lateral extrusion in the eastern Alps, Part 2: Structural analysis. — *Tectonics*, **10/2**, 257–271.
- RUHLAND, G. (1987): Geologie, Stratigraphie und Tektonik des Hochbajuvarikums im Bereich der Rötelmoosalm (Nördliche Kalkalpen). — Unveröff. Dipl.-Arbeit, 1–39, Univ. Bremen.

- SCHNEIDER, R. (1987): Zur Geologie der Allgäudecke (Tiefbajuvarikum) nördlich des Hochfelln. — Unveröff. Dipl.-Arbeit, 1–50, Univ. Bremen.
- SCHRÖDER, A. (1990): Zur Geologie der westlichen Oberwössener-Mulde rund um Hinterwössen. — Unveröff. Dipl.-Arbeit, Univ. Kiel.
- SUHR, J. (1989): Die Geologie zwischen Hochgern und Mehrentaler Wand in den Nördlichen Kalkalpen unter besonderer Berücksichtigung der Mikrofazies in den jurassischen Gesteinen. — Unveröff. Dipl.-Arbeit, 1–140, Univ. Kiel.
- TOLLMANN, A. (1976): Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums — Stratigraphie, Fauna und Fazies der Nördlichen Kalkalpen. — 580 S. (Deuticke Verlag), Wien.
- VESCEI, A., FRISCH, W., PIRZER, M. & WETZEL, A. (1988): Origin and tectonic significance of Radiolarian chert in the austroalpine rifted continental margin. — [In:] HEIN, J.R. & OBRADOVIC, J. (Eds.): Siliceous Deposits of the Tethys and Pacific Regions, 65–80 (Springer Verlag), New York—Berlin—Heidelberg.
- ZANKL, H. (1969): Structural and textural evidence of early lithification in fine-grained carbonate rocks. — *Sedimentology*, **12**, 241–256,
- (1971): Upper Triassic carbonate facies in the Northern Limestone Alps. — [In:] MÜLLER, G. (Ed.): *Sedimentology of Parts of Central Europe*, 147–185, Heidelberg.