

# Stratigraphie, Fazies und Kleintektonik der kohleführenden Schichten in der bayerischen Faltenmolasse (Peißenberg, Peiting, Penzberg, Hausham, Marienstein)

Von GÜNTER LENSCH

Mit 19 Abbildungen, 4 Tabellen und 6 Beilagen

## Inhaltsverzeichnis

|  | Seite |
|--|-------|
| Vorwort . . . . .  | 4     |
| A. Einleitung und Überblick . . . . .  | 5     |
| B. Stratigraphie und Fazies in den Kohlenrevieren der subalpinen Molasse in Bayern . . . . .   | 6     |
| I. Sedimentation und Flözbildung in der Unteren Süßwassermolasse . . . . .   | 6     |
| 1. Sedimentation . . . . .   | 6     |
| 2. Flözbildung . . . . .   | 8     |
| 3. Zur Frage von Sedimentations-Rhythmen und -Zyklen . . . . .   | 11    |
| II. Stratigraphie und Faziesentwicklung der Unteren Süßwassermolasse in der Peißenberg-Rottenbucher und der Nonnenwald-Penzberger Mulde . . . . .  | 13    |
| 1. Allgemeine Verhältnisse . . . . .   | 13    |
| 2. Baustein-Schichten und Übergangszone . . . . .  | 14    |
| 3. Untere Bunte Molasse . . . . .  | 16    |
| 4. Produktive Cyrenen-Schichten und sogenannte Glassande . . . . .   | 16    |
| 5. Promberger Schichten und höhere Cyrenen-Schichten bis zur Basis der Oberen Bunten Molasse . . . . .   | 18    |
| 6. Faziesentwicklung und stratigraphische Identifizierung der brackisch-marinen Schichten zwischen der Unteren und der Oberen Bunten Molasse in der Peißenberger und in der Nonnenwald-Mulde . . . . . | 19    |
| 7. Obere Bunte Molasse und Miozän-Flöz-Horizont . . . . .  | 24    |
| 8. Altersvergleich der Peißenberger und der Nonnenwald-Penzberger Flöze . . . . .  | 24    |
| III. Stratigraphie und Faziesentwicklung der Unteren Süßwassermolasse in der Haushamer und Mariensteiner Mulde . . . . .   | 25    |
| 1. Allgemeine Verhältnisse . . . . .   | 25    |
| 2. Baustein-Schichten und Übergangszone . . . . .  | 26    |
| 3. Cyrenen-Schichten und Untere Bunte Molasse . . . . .  | 26    |
| 4. Altersvergleich der Haushamer und der Mariensteiner Flöze . . . . .   | 27    |
| IV. Bergbaulich nicht mehr aufgeschlossene Bereiche des Reviers: Penzberger Mulde, Miesbacher und Auer Mulde . . . . .   | 27    |
| V. Schichten- und Flözvergleich im Oberbayerischen Pechkohlenrevier . . . . .  | 28    |
| C. Kleintektonische Untersuchungen . . . . .   | 30    |
| I. Tektonischer Überblick . . . . .  | 30    |
| II. Kleintektonik in der Peißenberger Überschiebung . . . . .  | 33    |

|  | Seite |
|--|-------|
| III. Kleintektonik in den Flözen . . . . .   | 35    |
| 1. Deformationen und Massenverlagerungen im Gefolge von schichtparallelen Bewegungen . . . . .     | 35    |
| 2. Kluft- (Schlechten-) Tektonik . . . . .   | 40    |
| 3. Die Kleintektonik in den Flözen der Faltenmolasse und ihre Beziehung zur Großtektonik . . . . . | 48    |
| D. Ergebnis . . . . .  | 49    |
| E. Schrifttum . . . . .  | 51    |

## Vorwort

Die Geologie der gefalteten Molasse des bayerischen Alpenvorlandes, in deren älterem Teil die Pechkohlenflöze des oberbayerischen Kohlenreviers liegen, war schon wiederholt Gegenstand eingehender Einzelstudien und zusammenfassender Darstellungen. Gerade in den letzten Jahren entstanden wichtige Beiträge zur Geologie der Faltenmolasse und damit zur Geologie ihrer Lagerstätten. Unter anderen gaben GANSS & SCHMIDT-THOMÉ (1955) eine übersichtliche Gesamtdarstellung des derzeitigen Standes unserer Kenntnisse, HAGN (1952, 1955), HÖLZL (1953, 1955, 1957) und ZÖBELEIN (1952, 1953, 1957) erarbeiteten neue Erkenntnisse zur Stratigraphie und Paläontologie, GILLITZER (1955, 1957) setzte sich speziell mit den für den Pechkohlenbergbau wichtigen Fragen auseinander.

Im Rahmen geologisch-lagerstättenkundlicher Untersuchungen P. SCHMIDT-THOMÉS habe ich die bergbaulich aufgeschlossenen Teile der Faltenmolasse bearbeitet. Meine Untersuchungen galten der Faziesentwicklung und ihrer Verknüpfung mit der Flözbildung, der Feinstratigraphie innerhalb der flözführenden Schichten und der Kleintektonik. Die Arbeit wurde 1960 unter dem Titel „Geologische Untersuchungen in der kohleführenden Faltenmolasse Oberbayerns“ an der Technischen Hochschule München als Dissertation angenommen.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. P. SCHMIDT-THOMÉ, gebührt mein aufrichtiger Dank für die Anregung zu diesen Untersuchungen und für die ständige Förderung bei ihrer Durchführung. Ebenso danke ich den Direktionen und Markscheidereien der Gruben Peißenberg, Peiting, Penzberg, Hausham und Marienstein, sowie den Generaldirektionen der BAYERISCHEN BERG-, HÜTTEN- UND SALZWERKE AG und der OBERBAYERISCHEN AG FÜR KOHLENBERGBAU für ihre großzügige und bereitwillige Unterstützung bei der Durchführung meiner Arbeit. Die BAYERISCHE BERG-, HÜTTEN- UND SALZWERKE AG hat darüberhinaus durch einen namhaften Druckkostenzuschuß die Wiedergabe der Beilagen ermöglicht.

## A. Einleitung und Überblick

Die oligozän-miozäne Molasse des bayerischen Alpenvorlandes ist charakterisiert durch mächtige, einförmige Sedimentserien und durch häufige seitliche Faziesübergänge. Beide Eigenschaften setzen detaillierten stratigraphischen Gliederungsversuchen erhebliche Widerstände entgegen. Nach den großen Faziesbereichen in der vertikalen Aufeinanderfolge unterscheidet man üblicherweise vier Einheiten, welche auch stratigraphisch verwendet werden:

|                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| Obere Süßwassermolasse  | (Torton und jünger)         |
| Obere Meeressmolasse    | (Burdigal—Helvet)           |
| Untere Süßwassermolasse | (Chatt—Aquitän)             |
| Untere Meeressmolasse   | (Lattorf—Rupel—Chatt z. T.) |

Diese faziell-stratigraphische Gliederung der Molasseserien entspricht nur westlich des Lechs den tatsächlichen Verhältnissen. Nach Osten vollzieht sich ein Übergang zu vorwiegend marinen Verhältnissen. Im bayerisch-österreichischen Grenzgebiet in der Gegend der Salzach herrscht vom Rupel bis zum Helvet einheitlich marine Fazies.

In dem schmalen Streifen der gefalteten Molasse, nördlich des eigentlichen orographischen Alpenrandes, sind nur Schichtglieder der Unteren Meeressmolasse und der Unteren Süßwassermolasse erhalten. Die Obere Meeressmolasse tritt am Nordrand der Faltenmolasse zutage und bildet dort zusammen mit Teilen der Oberen Süßwassermolasse den steil aufgerichteten Südrand der ungefalteten Vorlandsmolasse. Diese schließlich ist das Verbreitungsgebiet der vorwiegend mergeligen und sandigen Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse.

Im mittleren Oberbayern, etwa zwischen den Flüssen Lech im Westen und Inn im Osten, ruft der Fazies-Übergang eine lebhafte Verzahnung limnisch-fluviatiler, brackischer und mariner Faziesbereiche innerhalb der stratigraphischen Einheit „Untere Süßwassermolasse“ hervor. Nur hier haben sich, an die brackische Gesteinsfazies geknüpft, bauwürdige limnische Pechkohlenflöze entwickelt. Der Bereich der Faltenmolasse zwischen Lech und Inn ist daher auch das Gebiet des oberbayerischen Pechkohlenbergbaus.

Für die Gliederung dieses Teils der Unteren Süßwassermolasse mögen die Verhältnisse in der Peißenberger Mulde, dargestellt auf Tabelle 1, als Beispiel dienen.

Diese Gliederung entspricht etwa der Schichtfolge im Mittelfeld des Pechkohlenreviers von Peißenberg/Peiting. Bereits im Westfeld und im Ostfeld haben sich die Verhältnisse erheblich geändert. In den weiter östlich gelegenen Revieren von Penzberg, Hausham und Marienstein ist das auf Tabelle 1 wiedergegebene Schema zum Teil nicht mehr anwendbar. In den folgenden Abschnitten werden die faziellen Verhältnisse in den Grubenrevieren im einzelnen dargestellt und die Zusammenhänge zu deuten versucht. Aus dieser Deutung ergeben sich Hinweise für die stratigraphische Gleichsetzung der verschiedenen petrographisch-faziellen Einheiten und damit ein Schichten- und Flözvergleich für das oberbayerische Pechkohlenrevier. Daneben wird an Kluftdiagrammen und an Beobachtungen in den Flözen der Ablauf der Faltungsvorgänge in der Molasse zu klären versucht.

Tabelle 1

**Stratigraphie der Unteren Süßwassermolasse in der Peißenberger Mulde**

**Hangendes:** Obere Meeresmolasse (Burdigal und Helvet): 300 bis 400 m glaukonit-führende sandige Mergel und Sandsteine

|   |
|---|
| 25 m graue Cyrenen-Mergel mit einem 10 cm mächtigen Flöz (sogenanntes Miozän-Flöz)<br>800 bis 1200 m Obere Bunte Molasse: limnisch-terrestrische, gelbfleckte tonige Mergel, einzelne Sandsteinlagen<br>200 m Höhere Cyrenen-Schichten und Übergangsschichten: brackische, graue Cyrenen-Mergel und Sandsteine mit zwei Flözhorizonten, Unterbauhorizont und Becherstollenhorizont<br>80 bis 120 m Oberer Sand: grauer, teils mariner Sandstein mit Flöz 1<br>60 bis 80 m Zwischen-Cyrenenschichten: graue, brackische Mergel und Sandmergel mit Flöz 2 bis 4<br>30 bis 40 m Unterer Sand: grauer, teils mariner Sandstein<br>350 bis 400 m Produktive Cyrenen-Schichten: graue, brackische Mergel und Sandmergel mit Flöz 5 bis 26<br>1200 bis 1400 m Untere Bunte Molasse: limnisch-terrestrische, rotfleckte Mergel und Sandmergel, Konglomerate und einzelne feinkörnige Sandsteine<br>15 bis 25 m graue Mergel mit einem 20 bis 30 cm mächtigen Flöz = „Echelsbacher Flöz“ |
| 2800 bis 3000 m Untere Süßwassermolasse<br>(Chatt—Aquitian)   |

**Liegendes:** Untere Meeresmolasse (Rupel und unteres Chatt): ungefähr 1600 m marine Tonmergel und Sandsteine

## B. Stratigraphie und Fazies in den Kohlenrevieren der subalpinen Molasse in Bayern

### I. Sedimentation und Flözbildung in der Unteren Süßwassermolasse

#### 1. Sedimentation

Die Gesteine der Unteren Süßwassermolasse entstanden unter Ablagerungsbedingungen, die für kohleführende Sedimente in Randtrögen soeben in Faltung begriffener und aufsteigender Gebirge charakteristisch sind. Absenkung des Molassetroges und Auffüllung mit Abtragungsschutt erfolgten während langer Zeiträume, aber in sich unstetig. Die häufigen Stillstände in der Senkungsbewegung führten zur Bildung von ausgedehnten Mooren und Torflagern. Während der Senkungszeiten bildeten sich marin beeinflußte Ablagerungen. Die Flözbildung war dabei hier aus nicht völlig geklärter Ursache ausschließlich an eine brackische Nebengesteinsfazies geknüpft. Deswegen lassen sich in den weit mächtigeren terrestrisch-fluviatilen Ablagerungen der Unteren Süßwassermolasse und auch in den marinen Sedimenten des Ostteils der Faltenmolasse die Senkungsstillstände nicht nachweisen. Es besteht aber kein Grund, für die Molasse im ganzen eine stetige Senkung und Sedimentation anzunehmen und lediglich die Zeiten der Flözbildung als Perioden unstetiger Sedimentation zu betrachten. Den flözführenden Sedimenten entsprechen ja auch außerhalb des kohlenführenden Bereichs gleichalte, terrestrische oder marine Schichten ohne diese Stillstandsmarken.

Die mehrere tausend Meter mächtige Schichtfolge der Unteren Süßwassermolasse besteht vorwiegend aus Mergeln, Kalkmergeln und Sandmergeln, daneben aus Kalksandsteinen und Konglomeraten. Innerhalb der flözführenden, brackischen Cyrenenmergelserie des Peissenberger Reviers ist die marine Fazies vorwiegend an eine sandige Gesteinsausbildung geknüpft (LENSCH 1958). Dieser Zusammenhang hat jedoch keine allgemeine Geltung. Die grobkörnigen Sedimente, namentlich die Konglomerate, sind vor allem an die terrestrisch-fluviatile Fazies der „Bunten Molasse“ gebunden.

Im engeren Bereich der flözführenden Cyrenen-Schichten war die Sedimentation ziemlich einförmig. Man findet sehr feinkörnige Mergel und Kalkmergel, daneben Sandmergel und untergeordnet kalkige, feinkörnige Sandsteine. Mergel und Kalkmergel zeigen öfter eine feine Bänderung, ein Hinweis auf ruhige Wasser- und Sedimentationsverhältnisse. Während der Senkungsperioden bedeckte wohl seichtes, wenig bewegtes Wasser das Sediment; möglicherweise herrschten über weite Flächen wattenähnliche Verhältnisse. In seltenen Fällen, z. B. im Penzberger Flözbereich, wurden die Torfablagerungen durch Priele wieder erodiert und die Rinnen mit fossilreichen Brackwasserabsätzen gefüllt. Ein Beispiel für einen solchen Priel in Flöz 26 der Nonnenwald-Mulde ist auf Abb. 1, S. 10, dargestellt.

Der Salzgehalt des Wassers schwankte innerhalb des süßen bis brackischen Bereiches, vermutlich je nach der Lage zur Mündung der Flüsse und nach deren Wasserführung. Die dauernd veränderten Lebensbedingungen bildeten sich in der Verteilung der Fossilien ab: Lagen reichster Anhäufung von *Polymesoda*, *Typanotomus* und anderen Brackwasserbewohnern wechseln mit fossilleeren Schichten ab; auf Horizonte mit Foraminiferen, vor allem der Gattungen *Streblus*, *Miliola* und *Nonion* folgen solche mit reicher, aber ausschließlicher Characeen- oder Ostracodenführung. Oogonien zahlreicher Characeenarten sind fast überall verbreitet; sie bilden ebenso ein Charakterfossil dieser Schichten wie die „Cyrenen“.

Dieses offenbar wattenähnliche Gebiet mit geringer, eventuell nur periodischer Wasserbedeckung hatte eine beträchtliche Ausdehnung. Das Westende liegt etwa am Lech, das Ostende östlich des Inn. Festland war im Süden und Westen, im Osten stand das Meer. Über die Verhältnisse im Norden sind noch keine Einzelheiten bekannt. Insgesamt stand dieser Sedimentationsraum, besonders wegen der so häufig wiederholten Aussüßungen, Verlandungen und Moorbildungen, dem Festland näher als dem Meer.

Die Faziesgebiete änderten sich in diesem Raum schnell und oft. Die Verlagerung der festländischen Fazies der Bunten Molasse ist dabei am wichtigsten und heute am leichtesten zu verfolgen. Ihre Grenze trennte zugleich den Bereich vorwiegend terrestrisch-fluviatiler Sedimentation vom Bereich des Brackwassers, das Gebiet vorwiegend oxydierender von demjenigen reduzierender Bedingungen (daher die bunte Färbung des Gesteins der Bunten Molasse) — und damit den sterilen vom kohleführenden produktiven Raum. Paläogeographisch lag zur Zeit des Senkungsstillstandes im Westen und Süden erhöhtes Gebiet mit tiefliegendem Grundwasserspiegel. Der Luftsauerstoff konnte ungehindert die abgestorbene Vegetation oxydieren; von den gleichzeitig entstandenen Flözen sind deshalb hier keine Spuren oder höchstens lettige Kohlenstreifen mit einigen Land-

schnecken erhalten. Im Norden und Osten davon folgte ein weites, vornehmlich in Ost-West-Richtung ausgedehntes, versumpftes Süßwassergebiet mit hohem Grundwasserspiegel, so daß alle abgestorbene Pflanzensubstanz unter Luftabschluß geraten und erhalten bleiben konnte. Weiter nach Osten schließlich hörte die Moorbildung an der Grenze des dauernden Meereseinflusses auf.

In den Zeiten fehlender Moorbildung blieben die Verhältnisse im Ablagerungsgebiet der Bunten Molasse offenbar unverändert. Das Gebiet der Flözbildung dagegen war von einem weiten, wattenähnlichen Meer bedeckt. Noch unbeantwortet bleibt die Frage nach dem Verlauf der Flüsse, die ja auch in den Zeiten der Vermoorung dieses Gebiet auf ihrem Wege zum Meer durchquert haben müssen.

## 2. Flözbildung

Hierzu Beilage 2 und 3

Die Flöze der Molasse-Kohle entstanden im Bereich von verlandenden, ausgesüßten, flachen Gewässern. Die brackische Fazies hielt bis zum Beginn der Flözbildung an. Danach bewirkte offensichtlich ein Stillstand der Senkung den Rückgang des Meeres, ein allmähliches Trockenfallen des Gebietes und ein Aussüßen der zurückbleibenden Lagunen. Stellenweise kam es in diesem Stadium zu einer letzten starken Entfaltung der brackischen Fauna; dabei bildeten sich Lumachellen aus Cyrenenschalen im Flözliegenden, die sehr bezeichnend sind. Nach der endgültigen Aussüßung setzte die Flözbildung ein. Oft beginnt die reine Kohle direkt über dem grauen Cyrenenmergel, sie kann auch ebenso vom brackischen Mergel direkt überlagert werden. Gänge von Bohrmuscheln (*Teredo*) aus dem hangenden brackischen Mergel reichen oft in das Dach des Flözes herein. An der Grenze zwischen Kohle und Gestein tritt häufig eine Lage von *Planorbis*-Schalen auf. Planorben finden sich auch an allen Stellen innerhalb des Flözes und beweisen die ununterbrochene Anwesenheit von Süßwasser während der Flözbildung.

Oft wurde die Flözbildung mit einem dünnen Kohlenband eingeleitet, dann bildete sich jedoch im Süßwasserbereich zunächst eine gelegentlich recht mächtige „Seekreide“, die heute als sogenannter Stinkstein erhalten ist (Beispiel auf Beilage 2, Flöz 10/11). Die Gründe, welche mich zur Deutung des Stinksteins als fossile Seekreide veranlassen, sind vor allem Analogien zu postglazialen Mooren Oberbayerns (LENSCH 1956, 1958). Mikroskopische Untersuchungen gaben bisher keine Hinweise auf die Entstehungsbedingungen des Stinksteins. Seltener begann die Seekreidebildung ohne Kohlenlage direkt über dem Cyrenenmergel. In diesen Fällen herrschte zu Beginn der Flözbildung noch tieferes Süßwasser, so daß zunächst die organische und anorganische Kalkausscheidung überwog. Erst als die Wassertiefe genügend abgenommen hatte, begann die eigentliche Torfbildung. Gelegentliches Auftreten offener Wasserflächen in den Mooren führte wiederum zu Kalkausscheidungen; sie finden sich heute als mehr oder weniger scharf begrenzte Stinksteinlagen innerhalb der Kohle. Gegen das Hangende der Flöze tritt meist erneut Stinkstein auf, als geschlossene Lage das Flöz abschließend oder in wechselnden Lagen mit Kohle verwachsen als sogenannte „Stinksteinkohle“ (vgl. Beilage 2). Dieses Auftreten von Stinkstein im Flözhangenden ist das erste Anzeichen der erneut beginnenden

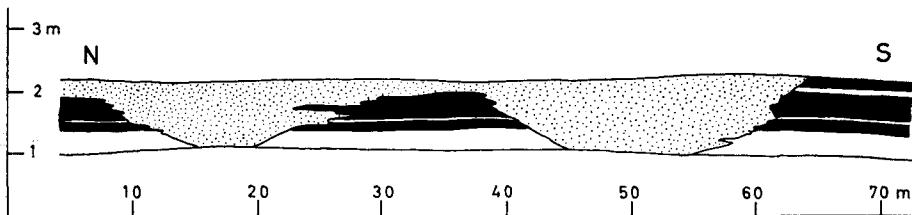
Absenkung oder Überflutung. Über dem Stinkstein, der Stinksteinkohle oder dem reinen Flöz setzen sofort wieder Cyrenenmergel ein. Oft beginnen sie zunächst mit einer ca. 30 cm mächtigen Schicht großer Schalen von *Tympanotomus margaritaceus* oder seltener *Mytilus aquitanicus*, dann erst tritt *Polyomesoda* (*Cyrena*) zusammen mit Foraminiferen auf.

Die Mergellagen zwischen den Kohlenbänken der einzelnen Flöze oder die Bergmittel innerhalb der Flöze führen manchmal Süßwassermuscheln und Süßwasser- und Landschnecken wie *Planorbis*, *Helix*, *Margaritifera*, sowie kohlige Pflanzenreste. Sie haben in diesem Falle limnisch-fluviatile Fazies und sind vermutlich als Sedimente schlammbeladener Flüsse entstanden, zum Teil vielleicht bei katastrophalen Unwettern und Überschwemmungen. Aufgrund von Bestimmungen des Bor-Gehaltes in solchen Bergmitteln, die durch Herrn Dr. WERNER, Krefeld, im chemischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen ausgeführt wurden, zeigt es sich aber, daß selbst geringmächtige Bergmittel in vielen Fällen von brackischer Fazies sind.

Ausgehend von den Ergebnissen LANDERGRENDS (1945) haben ERNST & WERNER (1960) die Bor-Gehalte von tonigen Sedimenten des Ruhrkarbons, daneben auch von jüngeren und älteren Formationen untersucht. Vom Kambrium bis in die jüngste Zeit hat sich dabei ein gleichbleibender Zusammenhang zwischen dem Bor-Gehalt der Sedimente und dem Salzgehalt des Wassers des Ablagerungsgebiets feststellen lassen. Die Faziesbereiche sind durch folgende Bor-Gehalte charakterisiert. Marine Fazies über 0,035 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Brackische Fazies 0,025—0,035 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Limnische Fazies unter 0,025 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Zur serienmäßigen Bestimmung diente ein von WERNER (1959) angegebenes Verfahren.

Man könnte die Fazies dieser Mergel benutzen zur Entscheidung, ob man zwei Kohlenbänke, welche durch eine nicht sehr mächtige Berglage getrennt sind, als zwei verschiedene Flöze oder als Ober- und Unterbank des gleichen Flözes betrachten will (vgl. die Beispiele auf Beilage 2). Ist der Mergel brackisch, so handelt es sich um zwei getrennte Flözbildungen; ist er limnisch-fluviatil, so ist er nur eine Einschwemmung in einer sonst ununterbrochenen Flözbildungsperiode. Im Ganzen gesehen scheint sich die Süßwasser-Fazies jedoch fast ausschließlich auf Kohle und Stinkstein zu beschränken. Eindeutig limnisch-fluviatile Bergmittel sind selten, das Nebengestein ist immer brackisch.

Im Liegenden der Pechkohle sind bisher nirgends Stubbenhorizonte bekannt geworden. Es entstanden auch keine ausgeprägten Wurzelböden. Die Flöze bildeten sich offenbar aus verlandenden Gewässern, wobei naturgemäß tiefer wurzelnde Gewächse zunächst fehlten. Es ist wohl nicht zutreffend, daß Stubben zwar ursprünglich vorhanden waren, infolge tektonischer Vorgänge aber heute nicht mehr als solche zu erkennen sind, wie STACH (1926, S. 291) meint. Abgesehen von der Arbeit STACHS (1926) ist der Flözaufbau im einzelnen noch wenig untersucht worden. Es muß einer eingehenden mikroskopischen Analyse vorbehalten bleiben, die Umweltbedingungen zu klären, unter denen die Pechkohlenflöze entstanden sind. In manchen Fällen kann man eine Art Wurzelboden an der äußeren Beschaffenheit des Gesteins erkennen, besonders, wenn es schon einige Zeit den Grubenwettern ausgesetzt war. Das Gestein ist tonig, verwittert leicht mit bräunlichen Farben und bricht unregelmäßig und kleinstückig. In seltenen Fällen sieht man in ihm kohlige, verzweigte Spuren, die aus ehemaligen Wurzeln entstanden sein können. So wenig sich solche „Wurzelböden“ im Hangenden eines Flözes finden, so wenig treten die Lagen mit *Tympanotomus*



Grube Penzberg, Flöz 26, Streb Nord 1 nach Osten

Abb. 1. Erosionsrinnen (Priele) in einem Flöz der Nonnenwald-Mulde.

oder *Mytilus* unmittelbar im Liegenden auf. Dadurch kann es im Zweifelsfalle möglich sein, ein Oben und Unten zu unterscheiden.

Die Bildung der Kohlenmoore in der Molassevortiefe ist im ganzen unregelmäßiger und begrenzter gewesen als in der subvaristischen Karbonvortiefe. Die Flöze wechseln rasch in ihrer Mächtigkeit und Reinheit und vertauben schnell. In der Regel ist ein Flöz nicht im gesamten Bereich eines Grubenfeldes bauwürdig. Die Vertaubung erfolgt teils durch eine Zunahme der Bergemittel und Stinksteinlagen, teils durch einfache Verringerung der Kohlemächtigkeit. Dabei lassen sich oft paläogeographische Ursachen erkennen: Größere Meeresnähe und das dadurch verursachte häufigere Auftreten von offenen Wasserflächen, Flussläufen und Prielen hatte schlechtere Wachstumsbedingungen für die Moorvegetation zur Folge. Vermutlich sind so die zahlreichen primären Vertaubungen entstanden, die durch ihr unregelmäßiges Auftreten den Bergbau im Bereich der Nonnenwald-Mulde erschweren. In manchen Fällen bildeten sich Vertaubungen durch direkte Erosion des Flözes durch Prielen bei dem wattenähnlichen Stadium, welches die Torfbildung beendete (siehe Abb. 1). Auch der generell höhere Aschegehalt der Penzberger Flöze kann auf diese ungünstigeren Bildungs- und Ablagerungsbedingungen zurückgeführt werden.

Eine weitere Abhängigkeit der Flözbildung von der paläogeographischen Lage und gleichzeitig ein Beweis für die paläogeographische Anlage der heutigen Muldenachsen zeigt sich im Verhalten des Flözes 10/11 der Grube Peißenberg. Wie auf Beilage 3 dargestellt ist, nimmt die Flözöffnung von Nord nach Süd gegen das Muldentiefste hin zu, wobei das Flöz stetig unreiner wird. Es schalten sich mehr und immer mächtigere Stinksteinlagen zwischen die Kohle ein; diese selbst zeigt ebenfalls einen zunehmenden Aschengehalt. Die Erklärung für dieses Verhalten sehe ich darin, daß das heutige Muldentiefste bereits zur Zeit der Flözbildung als Depression angelegt war. Dadurch traten dort bevorzugt und häufig offene Wasserflächen auf, in denen sich Kalk ausscheiden konnte, während auf den (Sattel-) Flanken die Torfbildung ungestört weiterging. Auch nach dem Aufhören der Kalkfällung wurde in diesen Depressionen am leichtesten tonige Trübe zusammengeschwemmt und so auch in der reinen Kohle der Aschegehalt erhöht.

### 3. Zur Frage von Sedimentations-Rhythmen und -Zyklen

Zyklische Sedimente sind charakteristisch für Ablagerungen in Innen- und Außensenken von Gebirgen (sogenannte Molassen) und in Schelfgebieten. Unter einem Zyklus versteht man dabei die regelmäßig wiederholte Aufeinanderfolge mehrerer Gesteinsarten, welche zugleich verschiedene „Phasen“ der Sedimentation abbilden. Die geschlossene Folge in einer zyklischen Wiederholung von verschiedenartigen Sedimenten wird auch als „Zyklothem“ bezeichnet. Als Ursache zyklischer Sedimentation betrachtet man im allgemeinen tektonische Vorgänge. Den zyklischen stehen die rhythmischen Sedimente gegenüber; sie zeigen einen regelmäßigen Wechsel von zwei Sedimentarten und damit von zwei „Phasen“ und sind nach BUBNOFF (1947) im allgemeinen klimatisch bedingt.

In vielen Randtrögen großer Geosynkinalen, z. B. in dem Kohlenbecken des Ruhrkarbons, aber auch in tertiären Randtrögen, haben sich Groß- und Kleinzyklen in oft endloser Wiederholung in der Sedimentfolge abgebildet. In der varistischen Außensenke, dem rheinisch-westfälischen Karbontrög, ist diese zyklische Sedimentation gut ausgeprägt und eingehend von JESSEN (1956, dort weitere Literatur) studiert worden.

*Tabelle 2  
Voll-Zyklothem des Ruhrkarbons, schematisch, nach JESSEN*

|                 |              | Hochpunkt | Schieferton mit Wurzelboden |
|-----------------|--------------|-----------|-----------------------------|
| Zyklothemgrenze |              | Ende      | Sandstein                   |
| ↑               | regressiver  | Beginn    | brackischer Schieferton     |
|                 | Hemizyklus   |           | mariner Schieferton         |
|                 |              | Tiefpunkt |                             |
|                 |              | Ende      | mariner Schieferton         |
|                 | progressiver | Beginn    | brackischer Schieferton     |
|                 | Hemizyklus   |           | Kohlenflöz                  |
| Zyklothemgrenze |              | Beginn    | Schieferton mit Wurzelboden |
| ↓               |              |           | Sandstein                   |

Das Zyklothem wird dort verstanden als ein sich dauernd wiederholendes Spiel von extratellurisch verursachten Transgressionen und Regressionen des Meeres, begleitet von einem stetigen, geosynkinalen Sinken des Sedimentationsraumes. Den verschiedenen Phasen dieses rhythmischen Wechsels sind bestimmte Sedimentarten zugeordnet (vgl. das Schema auf Tabelle 2). Aus verschiedenen Ursachen kann die Reihenfolge dieser Sedimente unvollständig oder abweichend ausgebildet sein, die Progression (= Transgression) und Rezession (= Regression) kann ihren Höhepunkt erreicht haben oder auch vorher schon in den gegenläufigen Hemizyklus umgeschlagen sein. Immer gleich ist dagegen der rhythmische Wechsel von Steigen und Fallen des Meeresspiegels. Die „genetisch richtige Grenze (des Zyklothem) liegt ... dort, wo die vorherige rezessiv-hemizyklische Sedimentbelieferung aufhört...“ (JESSEN 1956, S. 3). Mit anderen Worten: In dem Augenblick, in welchem in einem vollständigen Zyklothem die Sedimentation aufhört und der Pflanzenwuchs beginnt, beginnt auch ein neues Zyklothem. Die summarische Mächtigkeit der Zyklotheme im Ruhrgebiet be-

trägt 18 m. (Das Schema eines vollständigen Zyklothsems auf Tabelle 2 verdanke ich einer brieflichen Mitteilung von JESSEN und MICHELAU vom 29. 4. 1959.)

In der tertiären Faltenmolasse Oberbayerns fällt es zunächst schwer, überhaupt die Existenz zyklischer Sedimentation wahrzunehmen. Der weitaus größere Teil der Sedimente ist scheinbar azyklisch abgelagert. Zeichen für unstetige Absenkung des Troges oder rhythmische Meeresspiegelschwankungen und damit Zeichen für eine unstetige Sedimentation erkennt man nur in den flözführenden Teilen der Molasse, wo jede Kohlenlage einen Senkungsstillstand oder, bei der Annahme von rhythmischen Meeresspiegelschwankungen, einen festländischen „Hochpunkt“ markieren muß. In der Gesteinsfolge der produktiven Cyrenenschichten selbst konnte ich bisher keine Zyklen erkennen und kam deshalb 1958 zu dem Schluß, es handle sich um „ein Gebiet mit unstetiger Senkungstendenz ohne erkennbare Sedimentationszyklen“. Vielleicht wird es bei Anwendung anderer Untersuchungsmethoden einmal möglich sein, auch in der Gesteinsfolge Zyklen zu finden. Erste Hinweise auf das Vorhandensein solcher Sedimentationszyklen liegen aus dem Gebiet der Miesbacher Mulde bereits vor (STEPHAN 1960).

Während im Ruhrkarbon die Rhythmen in der Gesteinsfolge frühzeitig erkannt waren und lange vor ihrer theoretischen Ableitung im Sinne der Zyklothemtheorie in der Praxis des Bergbaus zum Aufsuchen der Flöze verwendet worden sind, kann man in der Faltenmolasse umgekehrt verfahren. Ausgehend von der Vorstellung des Zyklothsems als unaufhörlichem Wechsel von Progression und Rezession kann man auch die Flözbildung in der Molasse zyklothematisch deuten. JESSEN und MICHELAU (briefl. Mitteilung vom 29. 4. 1959) haben, von dieser Vorstellung ausgehend, die Deutung eines Flözprofils aus der Molasse entworfen. Der Deutungsversuch ist auf Tabelle 3 unverändert wiedergegeben. Ihm liegt das Flözprofil aus Flöz 10/11 der Grube Peißenberg auf Beilage 2 zugrunde.

Diese Auffassung der Flözbildung und Sedimentation als Zyklothem auch in der Molasse ist zweifellos zumindest formal richtig. Das Aufhören der Mergelablagerung und der Beginn der Kohle- und Stinksteinbildung ist das Ergebnis einer vorhergehenden „Rezession“. Ob man dabei die „Kohle als Verlandungsprodukt“ auffaßt, wie es meiner Auffassung entsprechen würde (linke Spalte), oder als „Glied inmitten der Phase allmählich ansteigenden Wasserspiegels wie im Ruhrkarbon“ (rechte Spalte) ist dabei zunächst von sekundärer Bedeutung. Die Untergliederung in 3 Zyklotheme erscheint mir allerdings für die Verhältnisse im Flöz 10/11 etwas zu weitgehend. Der Stinkstein im Hangenden entspricht der limnischen Phase der Progression, über ihm setzt dann rasch oder allmählich brackische Fazies ein. Während sich der „Hochpunkt“ des Zyklothsems eindeutig fixieren läßt (allerdings nur, wenn es zur Bildung eines Flözes gekommen ist), bleibt der „Tiefpunkt“ unsicher, wenigstens solange nicht durch paläontologische oder petrographische Feinarbeit die gleichförmigen grauen Mergel und Sandmergel zwischen den Flözen ebenfalls gegliedert und den Phasen des Zyklothsems zugeordnet werden können. Ich möchte annehmen, daß ein ausgesprochener Tiefpunkt nicht ausgebildet ist, es scheint vielmehr, daß die mehr oder weniger brackische Fazies mit unregelmäßigen Schwankungen während der ganzen Sedimentationsdauer anhielt.

Abgesehen von den möglichen Unterschieden zu den Verhältnissen im Ruhrkarbon und den möglichen Einwänden gegen die Zyklothemtheorie bleibt die Tatsache bestehen, daß die Flöze eine bestimmte und während eines gewissen Zeitraums immer wiederkehrende Phase in der Sedimentation abbilden, die ganz bestimmten paläogeographischen Verhältnissen entspricht. Sie als Glied einer zyklischen Sedimentation anzusehen liegt nahe, zumal da bei der Anhäufung großer Torfmassen, also der Flözbildung, offenbar immer Rhythmen oder Zyklen, sogar innerhalb der Flöze selbst, auftreten.

Tabelle 3

**Zyklothematischer Deutungsversuch des Flözprofils Flöz 10/11, 7 m 2, Strecke a<sup>o</sup>, Grube Peißenberg (Beilage 2) (JESSEN und MICHELAU 1959)**

| Zyklotheme unter der Annahme „Kohle als Verlandungsprodukt“ | Gesteinsfolge                     | Zyklotheme unter der Annahme „Kohle als ein Glied inmitten der Phase allmählich ansteigenden Wasserspiegels (wie im Ruhrkarbon)“     |
|---|-----------------------------------|--|
| rezessiv  | brackischer Mergel mit Polymesoda | vielleicht schon rezessiv  |
| progressiv  | Fossillage (Typanotomus) ? marin  | „Tiefpunkt“ — Höchststand der Progression  |
| Beginn der Progression                                      | Stinkstein-Kohle                  | Beginn des progressiven „Ertrinkens“ des Moores  |
| ?? Zyklothemgrenze<br>Ende der Rezession                    | Pechkohle                         | progressive Moorbildung<br>„Hochpunkt“ 1. Zyklothemgrenze  |
| Teilschwankung innerhalb der Rezession                      | limnischer Mergel                 | oben rezessiv<br>„Tiefpunkt“<br>unten progressiv   |
| rezessiv  | Pechkohle                         | progressiv<br>„Hochpunkt“ 2. Zyklothemgrenze   |
| rezessiv (Teilschwankung)                                   | Stinkstein                        | oben mit Kohlenschmitzen ... rezessiv (Kohle = erste progressive Vorläuferansätze)<br>„Tiefpunkt“<br>unten (limnisch) ... progressiv |
| rezessiv  | Pechkohle                         | progressiv<br>„Hochpunkt“ 3. Zyklothemgrenze   |
| rezessiv  | brackische Mergel mit Polymesoda  | oben rezessiv  |

## II. Stratigraphie und Faziesentwicklung der Unteren Süßwassermolasse in der Peißenberg-Rottenbucher und der Nonnenwald-Penzberger Mulde

### 1. Allgemeine Verhältnisse

In der Peißenberger und Rottenbucher Mulde sowie in der Nonnenwald- und Penzberger Mulde sind alle Schichtglieder der Unteren Süßwassermolasse vom Echelsbacher Flözhorizont im Hangenden der Unteren Meeresmolasse bis zum sogenannten Miozänflöz-Horizont im Liegenden der Oberen Meeresmolasse erhalten und über oder unter Tage aufgeschlossen. In dem betrachteten Gebiet

zwischen Lech und Loisach vollzieht sich der Übergang von der festländischen Fazies im Westen zur brackischen und marinen Fazies im Osten vor allem im Bereich der Unteren Bunten Molasse, daneben auch im Bereich der Promberger Schichten. Für einen stratigraphischen Vergleich zwischen dem Penzberger und dem Peißenberger Grubenrevier ist vor allem die Beantwortung der Frage nach einem Äquivalent der Promberger Schichten in der Peißenberger Mulde wichtig. Dazu haben die jüngsten Bohrungen im Peißenberger Ostfeld neues Material geliefert. Trotzdem bleiben immer noch Unsicherheiten, da alle stratigraphisch verwendeten Einheiten im Grunde Fazieseinheiten mit fließenden Grenzen sind.

## **2. Baustein-Schichten und Übergangszone (Horizont der Echelsbacher und Schönmühl-Flöze)**

Als Baustein-Schichten faßt man die plattigen, blaugrauen Sandsteine zusammen, welche den hangenden Teil der Unteren Meeresmolasse bilden. Ihre Begrenzung gegen das Liegende ist nicht scharf, auch gegen das Hangende verschiebt sich die Grenze etwas mit der regionalen Änderung der Fazies im tieferen Teil der Unteren Süßwassermolasse. Für die Betrachtung der Faziesentwicklung innerhalb des flözführenden Teils der Faltenmolasse ist die Abgrenzung der Bausteinschichten gegen das Hangende und damit die Einordnung der tiefsten Flözhorizonte wichtig.

KORSCHELT (1890) bezeichnet bereits in seinen Untersuchungen in der östlichen Haushamer Mulde das Auftreten von Konglomeraten (sogenannte Bierhäuser- und Attenberger Konglomerate) als Hangengrenze der Baustein-Schichten im engeren Sinne. Zwischen diesen und den Cyrenen-Schichten fügt er eine „Übergangszone“ ein. Im Gegensatz zu der einheitlichen Fazies der Baustein-Schichten engeren Sinnes vollzieht sich innerhalb der Übergangszone ein häufiger Fazieswechsel.

Ihre Basis bildet das Bierhäuser-Konglomerat. Es kann als geschlossene Bank oder als Vielzahl von Konglomeratschnüren ausgebildet sein. Im Hangenden folgen Sandsteine von der Art der Bausandsteine, abwechselnd mit Konglomeratlagen und Mergeln mit Pechkohlenflözen. Im allgemeinen herrscht brackische Fazies, doch treten immer wieder marine Horizonte auf. Die Hangengrenze wird durch den Beginn der viel gleichmäßigeren Cyrenenmergel-Fazies gebildet.

Da diese Konglomerate im liegenden Teil der flözführenden Molasse-Schichten weit verbreitet sind, möchte ich diese Gliederung KORSCHELTS auch auf die Peißenberger und die Nonnenwald-Mulde anwenden. Entsprechend der Faziesentwicklung in den tieferen Teilen der Unteren Süßwassermolasse bildet hier die Untere Bunte Molasse das Hangende der Übergangszone. Da die absolute Horizontbeständigkeit der Konglomerate wegen fehlender Aufschlüsse nicht beweisbar ist, bleibt bei dieser Verwendung der Konglomeratlagen im Hangenden der Bausteinzone als Leithorizont eine Unsicherheit. Diese Unsicherheit soll jedoch in Kauf genommen werden, da sonst ein stratigraphischer Vergleich überhaupt nicht möglich ist. In diesem Bereich gilt also folgende Gliederung:

Untere Bunte Molasse — Cyrenen-Schichten  
Übergangszone (tiefste Flözhorizonte)  
Baustein-Schichten im engeren Sinne

In der Peißenberger und Nonnenwald-Mulde sind über die Ausbildung dieser Schichtglieder keine direkten Beobachtungen möglich. Aufschlüsse finden sich nur in der südlich anschließenden Rottenbacher und Penzberger Mulde. Die folgenden Beschreibungen behandeln die dort aufgeschlossenen Schichten. Es ist anzunehmen, daß die Verhältnisse in der nördlicheren Muldenzone davon nicht wesentlich abweichen, da sich die fazielle und petrographische Ausbildung von Baustein-Schichten und Übergangszone in der subalpinen Molasse nur langsam ändert.

In der Rottenbacher Mulde treten die Schichten im Südfügel (Echelsbacher Brücke) und Nordflügel (Krebsbach) zu Tage. GILLITZER (1914) gibt im Ammerprofil (Echelsbacher Brücke) für die Baustein-Schichten im engeren Sinne 150 m Mächtigkeit an. Darüber läßt er die Untere Bunte Molasse beginnen. Auch er unterscheidet ein „überleitendes Glied“, welches aus den „kohleführenden Zwischenschichten (Echelsbacher Kohlenschichten)“ und der „Konglomeratzone“ besteht. Die Mächtigkeit dieser Übergangszone beträgt nach GILLITZER etwa 170 m. Sie gliedert sich nach seinen Beobachtungen wie folgt:

Über einigen geringmächtigen Gerölleinlagen im hangenden Teil der Baustein-Schichten folgt ein 7—8 m mächtiges Konglomerat, das „Echelsbacher Konglomerat“. Es wird direkt überlagert vom Echelsbacher Flözhorizont, welcher etwa 5 m mächtig ist und zwei Flöze mit 30 cm und 10 cm Kohle enthält. Im Hangenden schließen sich buntgefleckte Staubsandsteine an. Über einer zweiten Konglomeratbank folgen zwischen weiteren geringmächtigen Konglomeraten rotbunte Steinmergel in der Fazies der Unteren Bunten Molasse. Die Grenze gegen die Untere Bunte Molasse im engeren Sinne wird durch das Aufhören der Geröllschüttung und den Beginn der gleichförmigen Steinmergel und Staubsandsteine markiert. Naturgemäß läßt sich die Grenze nicht auf den Meter genau festlegen.

Der Fazies nach ist die flözführende Übergangszone im Ammerprofil nur noch 5 m mächtig. Selbst dieser Bereich führt nach den Angaben ZÖBELEINS (1955) keine brackischen Fossilien mehr, der marine Einfluß ist mit dem Beginn des Echelsbacher Konglomerats zu Ende. Trotzdem kann man im tiefsten Teil der Unteren Bunten Molasse eine konglomeratische Serie abtrennen und sie zusammen mit dem Flözhorizont der weiter östlich ausgebildeten Übergangszone KORSCHELTS gleichsetzen.

In der Penzberger Mulde sind im Muldensüdfügel bei St. Johannisrain die Übergangsschichten früher durch Schurfarbeiten aufgeschlossen worden. Das dort aufgenommene Schichtenprofil ist auf Beilage 1, Profil 5, wiedergegeben. Auch hier schließen die Baustein-Schichten engeren Sinnes nach oben mit einem morphologisch an vielen Stellen hervortretenden Konglomerat ab. Ähnlich wie bei Echelsbach folgt über der hier mächtigeren liegenden Konglomeratzone ein Flöz, welches von einer weiteren Konglomeratbank überlagert wird. Weiter ins Hangende folgen vorwiegend Sandsteinbänke in der petrographischen Ausbildung der Bausandsteine, daneben fossilführende Mergel und weitere 4 Flözhorizonte mit einer oder mit mehreren dünnen Kohlenlagen von 1—2 cm Dicke. Die Grenze gegen die Fazies der Unteren Bunten Molasse ist nicht eindeutig festzulegen, weil in dem fraglichen Bereich die Aufschlüsse fehlen. Die Grenze dürfte jedoch ziemlich genau mit dem Beginn des erwähnten Schurfs zusammen-

fallen, da die Morphologie auf das Aufhören der härteren (Bau-) Sandsteine und auf den Beginn mergeliger Gesteine schließen lässt. Für die gesamte, brackisch-marine und flözführende Übergangszone kommt man hier auf eine Mächtigkeit von ca. 300 m. Die produktive Fazies im unteren Grenzbereich der Unteren Süßwassermolasse, welche in der Rottenbucher Mulde nur 5 m mächtig ist, hat also hier auf Kosten der Fazies der Unteren Bunten Molasse bedeutend zugenommen. Diese Zunahme hat zum Entstehen der tiefsten Flözhorizonte geführt, die in der Haushamer und Mariensteiner Mulde produktiv werden.

### **3. Untere Bunte Molasse**

Im Hangenden dieser teilweise flözführenden Übergangszone folgen in der Peißenberger und der Rottenbucher Mulde wie in der Nonnenwald- und der Penzberger Mulde die mächtigen Sedimentserien der Unteren Bunten Molasse. Ihr Gesteinscharakter ist wiederholt beschrieben worden, ich verweise vor allem auf GILLITZER (1914) und ZÖBELEIN (1955).

Die Mächtigkeit der Unteren Bunten Molasse beträgt in der Rottenbucher Mulde nach GILLITZER im Südflügel 1350 m, im Nordflügel ca. 1000 m. GILLITZER konnte die Schichtserie in eine untere „rote bunte“ und eine obere „graue bunte“ Abteilung untergliedern. Diese Unterteilung belegte ZÖBELEIN (1955) auch paläontologisch durch Landschnecken. Ein Schluß auf die Mächtigkeit der Unteren Bunten Molasse in der Peißenberger Mulde ist nicht ohne weiteres möglich, da hier die Fazies der Cyrenenmergel mächtiger ausgebildet ist und einen Teil der bunten Schichten der Rottenbucher Mulde vertritt. Trotzdem darf man auch in der Peißenberger Mulde bis über 1000 m Mächtigkeit für die Untere Bunte Molasse annehmen.

In der Penzberger Mulde beträgt die Mächtigkeit im Muldensüdflügel 1050 m vom morphologisch bestimmbaren Aufhören der Übergangszone bis zum Auftreten der produktiven Cyrenenmergel-Fazies im Liegenden von Flöz Null. Die gleiche Mächtigkeit kann man in der Nonnenwald-Mulde annehmen, da auch in der Ausbildung und Mächtigkeit der Cyrenen-Schichten in beiden Mulden kaum Unterschiede bestehen.

Auch in Penzberg kann man aus alten Schurfaufnahmen und Profilen (aufgenommen von Markscheider SCHLUGE um 1890) auf eine Zweiteilung der Unteren Bunten Molasse schließen. Nur die oberen 680 m des Schichtpakets werden danach als eigentliche „Bunte Molasse“ bezeichnet. Darunter sollen gelbliche Sandsteine folgen, die offenbar nicht der üblichen Beschaffenheit der Gesteine der Unteren Bunten Molasse entsprechen. Aus dem tiefsten Teil, dem Grenzbereich gegen die Übergangszone, sind keine Aufschlüsse bekannt geworden.

### **4. Produktive Cyrenen-Schichten und sogenannte Glassande Hierzu Beilage 1, Profil 1—4**

Die produktiven Cyrenen-Schichten bestehen aus zwei ungefähr gleich mächtigen Komplexen. Der liegende Teil ist in der Peißenberger wie in der Nonnenwald-Mulde gleichartig ausgebildet. Er besteht aus einer Folge von brackischen Cyrenenmergeln, Sandmergeln und Sandsteinen. Ihre Mächtigkeit beträgt in der Peißenberger Mulde 380 m (in ihr liegen die Flöze 5—26), in der Nonnenwald-Mulde 350 m (mit den Flözen 0—24). In dem Profil aus

Querschlag 6 m 2 (Beilage 1, Profil 2), welches als Beispiel für die Verhältnisse in Peißenberg gewählt wurde, ist der liegende Teil des Schichtpaketes flözärmer. Hier macht sich der in den westlichen Querschlägen der Grube Peißenberg zunehmende Einfluß der Fazies der Bunten Molasse bemerkbar. Im übrigen gleichen die Verhältnisse grundsätzlich denen in der Nonnenwald-Mulde (Beilage 1, Profil 4).

Das Hangende und die obere Begrenzung dieser Schichten bildet der sogenannte Untere Sand. In der Nonnenwald-Mulde ist er ca. 25 m mächtig und wird aus reinem Quarzsand mit kaolinischem Bindemittel gebildet. Nach GILLITZER (1955, S. 19) sollen an der Grenze zwischen Unterem Sand und liegenden Cyrenenmergeln marine Lagen gefunden worden sein. Über dem Sand folgen in der Nonnenwald-Mulde wiederum 240 m Cyrenenmergel mit den Flözen 25—32 (sogenannte Schwaiger Schichten) in der gleichen Ausbildung wie die Cyrenenmergel unter dem Unterem Sand. Den Abschluß gegen das Hangende bildet ein zweiter Quarzsandstein, der ca. 15 m mächtige Obere Sand. Die Gesamtmächtigkeit dieses hangenden Teils der produktiven Cyrenen-Schichten in der Nonnenwald-Mulde beträgt mit den beiden Sanden 280 m, die Mächtigkeit der gesamten produktiven Cyrenen-Schichten 630 m.

In der Peißenberger Mulde ist der ca. 220 m mächtige obere Teil grundsätzlich vom unteren Teil verschieden und auch anders ausgebildet als die Schwaiger Schichten der Nonnenwald-Mulde. In den mittleren Querschlagsabteilungen (m 2, Wetterschacht, siehe Beilage 1, Profil 2) folgt über den Cyrenenmergeln zunächst ein ca. 40 m mächtiges Kalksandsteinpaket. In Analogie zur Nonnenwald-Mulde trägt es die Bezeichnung „Unterer Sand“. Über ihm liegt eine von wenigen dünnen mergeligen Lagen mit schwacher Flözführung unterbrochene Folge aus harten und weichen Kalksandsteinen. Den ca. 45 m mächtigen hangenden Teil der Serie nennt man, wieder in Analogie zur Nonnenwald-Mulde, den „Oberen Sand“. Er enthält in seinem oberen Drittel den Horizont des Flözes 1.

Soweit diese Sandsteine fossilführend sind, enthalten sie vorwiegend Reste von Bewohnern des Brackwassers. Seit langem ist ein mariner Horizont aus den sogenannten Zwischen-Cyrenenschichten bekannt, den sandig-mergeligen Schichten zwischen Unterem und Oberem Sand. Er ist z. B. bei Steinfall (Straße nach Hohenpeißenberg) aufgeschlossen, von wo BÄRTLING (1905, S. 44) eine ausführliche Fossiliste gibt. Das gleiche Vorkommen beschreibt auch GILLITZER (1955, S. 24). Außerdem hat BÄRTLING (S. 47) aus dem obersten Teil des Peißenberger Oberen Sandes, aufgeschlossen im Sulzer Steinbruch, eine marine Fauna beschrieben.

Die flözführenden Mergeleinlagerungen verschwinden in den östlichen Teilen des Peißenberger Grubenreviers, gleichzeitig nimmt der marine Einfluß zu. Bereits beim Hauptschacht haben sich die gesamten Schichten zwischen Unterem und Oberem Sand zu einem einzigen Sandsteinpaket zusammen geschlossen, das eine Abtrennung der beiden Sande nur mit Mühe erlaubt. Im Peißenberger Ostfeld ist diese Entwicklung noch weiter gediehen. Nach GILLITZER (1957, S. 642) kann man in den dort niedergebrachten Bohrungen „Oberhausen“ und „Auf dem Alta“ die „Schichten unterhalb der Becherstollenschichten nicht mehr in ihre Unterabschnitte gliedern, es liegt ein zusammenhängendes Sandsteinpaket bis zur Basis des Unterem Sandes vor“. Die Mächtigkeit des Sand-

steins wird mit 230 m angegeben, sie hat sich also gegenüber dem Mittelfeld nicht geändert. Die Fazies ist nach den Fossilbestimmungen HÖLZLS (in GILLITZER 1957, S. 644) durchweg marin. Erst unter der Basis des Unteren Sandes treten flözführende, brackische Cyrenenmergel in üblicher Ausbildung auf. Sie enthalten die aus dem Mittelfeld bekannten Flöze in durchweg größerer Mächtigkeit und schönerer Ausbildung.

Im Westteil des Peißenberger Reviers geht diese marin-brackische Sandsteinfazies zum Teil in normale flözführende Cyrenenmergel-Fazies über. Erst dort kann man wirklich von einem Unteren und einem Oberen Sand sprechen. Die Faziesübergänge in den produktiven Cyrenen-Schichten im Westteil des Peißenberger Reviers sind in einer früheren Arbeit (LENSCH 1958) im einzelnen dargestellt.

##### **5. Promberger Schichten und höhere Cyrenen-Schichten bis zur Basis der Oberen Bunten Molasse**

Unmittelbar über dem Oberen Sand folgen in der Nonnenwald-Mulde die sogenannten Promberger Schichten. Sie wurden erstmals von WEITHOFER (1899, S. 271) so benannt und später nochmals eingehender beschrieben (WEITHOFER 1935). Es handelt sich um eine vorwiegend sandige, rein marine Serie. Nach der Fossiliste bei WEITHOFER (1935, S. 5) ähnelt der Fossilinhalt sehr dem der Unteren Meeresmolasse. Nach seinen Angaben werden die Promberger Schichten in der Nonnenwald-Mulde 400 m mächtig. Aufgrund der Unterlagen der Markscheiderei in Penzberg kam ich nur auf ca. 330 m, was sich übrigens genau mit den Angaben WEITHOFERS (1912) über die Mächtigkeit der Promberger Schichten in dem großen Wasserstollen im Leitzachtal deckt.

Über diesen marinen Schichten folgen im Penzberger Gebiet nochmals brackische flözführende Mergel von bisher unbekannter Gesamtmächtigkeit. In der Nonnenwald-Mulde, deren innersten Kern sie erfüllen, erreichen sie 45 m und führen ein unbauwürdiges Flöz von 15 cm Kohle und 15 cm Stinkstein („Daser Flöz“, WEITHOFER 1899, S. 279). Eine Fortsetzung dieser Schichten ins Hangende ist im Penzberger Grubenrevier nicht bekannt. Erst jenseits der nördlichen Hauptüberschiebung sind Schichten der Oberen Bunten Molasse unter Tage angefahren worden. Die auf dem Profil 3 der Beilage 1 angegebenen Mächtigkeiten für Daser Schichten und Obere Bunte Molasse sind Mindestmächtigkeiten. Tatsächlicher Schichtenverband und wirkliche Mächtigkeit sind nirgends bekannt.

Promberger Schichten und darüber folgende Cyrenen-Schichten sind im Jahre 1911 durch einen Wasserstollen im Leitzachtal erschlossen worden. Nach WEITHOFER (1912, S. 352) erreichen hier die Promberger Schichten eine Mächtigkeit von 320 m; über ihnen folgen 150 m Cyrenen-Schichten, welche den Daser Schichten entsprechen. In einer späteren Arbeit (1917) schlägt WEITHOFER für diese Schichten den Namen „Heimberg-Schichten“ vor. Auch in diesem Aufschluß im Leitzachtal werden die Daser-Heimberg-Schichten von einer Störungszone abgeschnitten. In der 250 m langen gestörten Zone erscheinen miteinander verschuppte Cyrenenmergel und Obere Bunte Molasse. Hinter der Störungszone beginnt sofort die Obere Meeresmolasse.

In der Peißenberger Mulde liegen über dem Oberen Sand ca. 190 m sandige und mergelige Schichten größtenteils brackischer Fazies mit den sogenannten Becherstollen- und Unterbau-Flözen. Die Schichten gehen ungestört und all-

mählich in die Fazies der Oberen Bunten Molasse über. Die Grenze zwischen beiden Schichtgliedern ist unscharf. Konventionell gilt das Obere Unterbauflöz als die Obergrenze dieser „Höheren Cyrenen-Schichten“. Die ganze mergelige-sandige Schichtfolge mit ihren Flözen über dem Oberen Sand ist von GILLITZER (1955) im einzelnen untersucht und gegliedert worden.

#### **6. Faziesentwicklung und stratigraphische Identifizierung der brackisch-marinen Schichten zwischen der Unteren und der Oberen Bunten Molasse in der Peißenberger und in der Nonnenwald-Mulde**

Hierzu Beilage 4 und 5.

Schon seit langer Zeit hat man versucht, die flözführenden Schichten der Nonnenwald-Mulde und der Peißenberger Mulde zu parallelisieren. Man ging dabei von den im Penzberger Revier bekannten beiden Glassanden aus und versuchte, sie ähnlichen Gesteinen in Peißenberg gleichzusetzen.

WEITHOFER (1899, S. 270) schreibt schon, daß diese Quarzsandsteine zur Schichtparallelisierung bis nach Peißenberg verwendet werden könnten: „Am besten bekannt und aufgeschlossen sind sie in dem Bergreviere von Penzberg—Promberg, erstrecken sich jedoch nach Westen über Staltach bis Peißenberg . . .“. Er vermutete auch im Hangenden des Peißenberger Oberen Sandes die marinen Promberger Schichten, konnte aber wegen schlechter Aufschlußverhältnisse keine Beobachtungen machen.

BÄRTLING (1905, S. 46) fand im Sulzer Steinbruch bei Peißenberg eine marine Fauna, welche er als Äquivalent der Promberger Schichten auffaßte und ins Hangende des Oberen Sandes setzte.

STUCHLIK (1906, S. 322 ff.) brachte eine ausführlichere Abhandlung über die Gleichstellung der Penzberger Glassande mit den „Glassanden“ in Peißenberg und folgerte als erster richtig, daß bei dem Zutreffen dieser Gleichsetzung die Obere Bunte Molasse in Peißenberg stratigraphisch den Promberger Schichten der Nonnenwald-Mulde entspricht. Er erkannte auch, daß die Untere Bunte Molasse der Peißenberger und Penzberger Reviere in Hausham in der Fazies der Cyrenen-Schichten ausgebildet ist. Schließlich berichtete er über das Vorkommen mariner Fossilien in den Schichten zwischen dem Peißenberger Oberen und Unteren Sand und stellte fest (S. 328), daß die von BÄRTLING (1905) beschriebene marine Fauna nicht über, sondern unter dem Oberen Sand liegt. Diese Gleichsetzung der Penzberger Glassande mit dem Oberen und Unteren Sand in Peißenberg ist bis heute die Grundlage aller stratigraphischen Vergleiche zwischen beiden Revieren geblieben.

Die von STUCHLIK erkannten Konsequenzen einer stratigraphischen Identifizierung der Schichtglieder der Reviere Peißenberg und Penzberg auf der Grundlage der Gleichsetzung der Sande sind später oft verwischt und vermengt worden. Diese Konsequenzen seien daher nochmals genannt: Wenn man den Peißenberger Oberen Sand dem Oberen Glassand in Penzberg stratigraphisch gleichsetzt, dann beginnt das stratigraphische Äquivalent der Promberger Schichten in Peißenberg erst über dem Oberen Sand. Den Promberger Schichten entsprechen also in Peißenberg die Höheren Cyrenen-Schichten (Becherstollen- und Unterbauschichten) und ein Teil der Oberen Bunten Molasse. Es ist dann sowohl stratigraphisch als auch faziell falsch, die Schichten zwischen dem

Unteren und dem Oberen Sand in Peißenberg als „Promberger Sande“ zu bezeichnen. Sie entsprechen vielmehr den Schwaiger Schichten der Nonnenwald-Mulde mit den dortigen Flözen 25—32. Wirkliche Promberger Schichten gibt es unter dieser Voraussetzung in Peißenberg nicht.

In der weiteren Diskussion vertrat KOEHN (1910 und 1912) ebenfalls die Auffassung STUCHLIKS. Er übertrug die Penzberger Bezeichnung „Schwaiger-Neumayer-Schichten“ auf die Peißenberger Schichten zwischen Unterm und Oberem Sand und berichtete, daß diese Schichten beim Schacht Peißenberg völlig sandig ausgebildet seien und sich erst in der Peitinger Gegend den Penzberger Verhältnissen näherten. Seine Auffassung der Promberger Schichten ist jedoch nicht mehr so scharf definiert wie die STUCHLIKS.

WEITHOFER (1935) brachte später noch eine ausführlichere, vor allem paläontologische Behandlung der Promberger Schichten und verglich sie mit anderen, außerbayerischen, gleichaltrigen marinen Tertiärbildungen, ging aber auf ihre Stellung oder Vertretung im Westteil der flözführenden Molasse nicht mehr ein.

Nach der Arbeit STUCHLIKS (1906) erschienen noch eine Reihe von Aufsätzen, die mehr untergeordnete Fragen behandeln; ihre Ergebnisse sind von WEITHOFER (1915) zusammengefaßt worden. Die Glassande als Leithorizonte wurden nirgends in Frage gestellt, nur über Mächtigkeit, Ausbildung und Lagerungsverhältnisse der Promberger Schichten im Peißenberger Gebiet herrschten noch Unstimmigkeiten.

Später geriet die klare Gliederung STUCHLIKS und WEITHOFERS offenbar wieder in Vergessenheit. So vereinigte HARTMANN (1938, S. 31) auch im Penzberger Revier die sowohl stratigraphisch als auch faziell zu trennenden Einheiten der Schwaiger Schichten (zwischen dem Unteren und dem Oberen Glassand) und der Promberger Schichten (über dem Oberen Glassand). Er bezeichnete die Peißenberger Schichten zwischen den beiden Sanden als „Promberger Sandstein“ und deutete sie als „sandige Fazies der im Penzberger Kohlenbezirk viel mergeliger und mächtiger entwickelten marinen Promberger Mergelschichten...“. Nach seiner Darstellung (S. 31) enthalten „im Gebiet der Nonnenwald-Mulde... die Promberger Schichten ... nurmehr zwei Sandsteinhorizonte, deren unterer als der bedeutendere rund 30 m stark ist“. Gemeint sind die Schwaiger Schichten, die HARTMANN offenbar mit den Promberger Schichten identisch glaubte. Dadurch, daß er den ganzen Peißenberger Schichtkomplex vom Unteren bis Oberen Sand als „Promberger Sandstein“ bezeichnete (S. 32) und ihn mit den von ihm irrtümlich mit den echten Promberger Schichten gleichgesetzten Schwaiger Schichten der Nonnenwald-Mulde in Verbindung brachte, trat eine Verwirrung der Begriffe ein, die sich immer noch bei Diskussionen über die Stratigraphie und Fazies der flözführenden Molasse bemerkbar macht.

Erst M. RICHTER (1940) trennte wieder scharf die Begriffe „Glassande“ und „Promberger Schichten“. Er kam zu dem Ergebnis, daß nur der Untere Sand in Peißenberg dem Penzberger Glassand vergleichbar ist, während der Obere Sand „... nichts mit dem wirklichen Glassand zu tun hat, sondern daß er mehr den Verhältnissen von Penzberg zuliebe ausgeschieden worden ist“ (S. 20). Die sogenannten Promberger Schichten des Peißenbergs können nach seiner Auffassung „nicht den echten Promberger Schichten entsprechen, denn nördlich von

Penzberg beginnt die marine Transgression derselben 200 m über dem Unteren Glassand, am Peißenberg und bei Rottenbuch dagegen liegen die bisher den Promberger Schichten zugerechneten Sandsteine unmittelbar auf dem Unteren Glassand. Sie können daher unmöglich Promberger Schichten sein, denn die Transgression der Promberger Schichten kommt ja aus dem Osten, kann also in einem westlich gelegenen Gebiet nicht bereits 200 m tiefer beginnen“ (S. 22). Bei den marinen Bänken, die man bisher mit den Promberger Schichten identifiziert hatte, handelt es sich nach RICHTER um Sandsteine in den Cyrenen-Schichten mit gelegentlich stärkerer Beteiligung mariner Formen. Wie bereits STUCHLIK (1906) sah M. RICHTER das Äquivalent der Promberger Schichten am Peißenberg in einem Teil der Oberen Bunten Molasse.

In neuerer Zeit hat GILLITZER (1955) speziell die Peißenberger Verhältnisse dargestellt. Er vertritt im wesentlichen die gleiche Auffassung. Wie RICHTER legt er dar, daß von einem „Oberen Glassand“ keine Rede sein kann, daß vielmehr innerhalb eines ca. 140 m mächtigen Sandpaketes nicht horizontbeständige mürbe Lagen vorkommen, die über Tage zu „Glassanden“ zerfallen. Außerdem weist er auf weitere Sandlagen hin (3. und 4. Sand), die im Hangenden des Oberen Sandes liegen und über Tage ebenfalls zu Glassanden verwittern können. Beim Vergleich der Nomenklatur in Penzberg und Peißenberg (S. 28) kommt GILLITZER wie M. RICHTER zu dem Ergebnis, daß die Promberger Schichten erst über den obersten Sandsteinlagen des „Oberen Sandsteinpaketes“ liegen können, während die Sandsteine selbst den Schwaiger Schichten gleichzusetzen sind. In einer jüngsten Arbeit drückt sich GILLITZER (1957, S. 644) noch konkreter aus, indem er die Peißenberger Becherstollen-Unterbau-Schichten und einen Teil der Oberen Bunten Molasse stratigraphisch den Promberger Schichten des Penzberger Reviers gleichsetzt. In der gleichen Arbeit berichtet er, daß im Ostfeld der Grube Peißenberg die gesamten, hier durchweg sandig entwickelten „Schwaiger Schichten“ vollmarin ausgebildet sind und erklärt diese überraschende Tatsache durch besondere paläogeographische Verhältnisse.

Über den engeren Rahmen des hier behandelten Gebietes hinausgehend sind alle bisherigen Gliederungsversuche der subalpinen Molasse Oberbayerns von ZÖBELEIN (1957) kritisch miteinander verglichen worden. Wegen weiterer Einzelheiten sei auf diese Arbeit verwiesen.

Beim Vergleich der Profile 1 und 3 auf Beilage 1 gelangt man bei der stratigraphischen Gleichsetzung Unterer Sand in Peißenberg = Unterer Sand in Penzberg, und unter Berücksichtigung aller bisher bekannten Tatsachen zu dem auf Beilage 4 wiedergegebenen schematischen Faziesprofil (Deutung A). Die tiefere Abteilung der flözführenden Cyrenen-Schichten erstreckt sich in gleichbleibender Mächtigkeit von der Nonnenwald-Mulde bis zum Peißenberger Mittelfeld und verzahnt sich weiter nach Westen zunehmend mit der Unteren Bunten Molasse, bis die brackische Fazies am Lech fast völlig verschwunden ist. Das Optimum der Flözbildung liegt, wie die Tiefbohrungen im Peißenberger Ostfeld ergeben haben, in den bergmännisch noch nicht aufgeschlossenen Teilen der Grubenreviere östlich von Peißenberg und westlich von Penzberg.

In der Bohrung Oberhausen ist die in Penzberg flözführende mergelig-brackische Schwaiger Schichtserie zwischen den beiden Glassanden als kompakte marine Sandsteinfolge angetroffen worden. Zwischen den westlichen Auf-

schlüssen des Penzberger Reviers und Oberhausen muß also ein Übergang von der brackisch-mergeligen zur sandig-marinen Fazies stattfinden. Der Einfluß dieser Fazies nimmt erst weiter nach Westen wieder ab, so daß zwischen Peiting und dem Lech ähnliche Verhältnisse herrschen wie in der Nonnenwald-Mulde.

Die marinen Promberger Schichten der Nonnenwald-Mulde, die ja über der eben beschriebenen Schichtfolge liegen, müssen nach Westen sehr rasch in brackische und terrestrische Fazies übergehen, denn in der Bohrung Oberhausen wurden über dem marinen Sand nur 175 m brackische Sande und Mergel der Unterbau- und der Becherstollen-Schichten gefunden. Ihnen stehen im Penzberger Gebiet immerhin 330 m Promberger Schichten + bis 150 m Heimberg-Schichten gegenüber. Die höheren Cyrenenschichten-Horizonte der Bohrung Oberhausen zeigen außerdem fast die gleiche Ausbildung wie im Peißenberger Hauptfeld.

Bei diesem aus der Deutung A folgenden Übergang der ziemlich mächtigen Promberger Schichten in brackische und limnische Fazies nach Westen können sich in diesem stratigraphischen Niveau zwischen Penzberg und Oberhausen flözführende, brackische Cyrenen-Schichten in größerer Mächtigkeit einschalten. Da die eigentlichen produktiven Cyrenen-Schichten hier zu tief liegen, wäre dies für einen eventuellen Bergbau in dieser Gegend von Interesse.

Diese sozusagen „klassische“ Deutung der Stratigraphie der beiden Kohlenreviere hat zweifellos vieles für sich. Trotzdem scheinen mir manche Gründe gegen sie zu sprechen, namentlich die Ergebnisse der Tiefbohrungen im Peißenberger Ostfeld. Die hauptsächlichen Gründe sind:

1. Die schon lange bekannte Tatsache, daß den Penzberger Glassanden wirklich entsprechende Horizonte in Peißenberg nicht vorhanden sind.
2. Die ebenfalls schon lange bekannten Einschaltungen mariner Fossilien im Liegenden des Peißenberger Oberen Sandes.
3. Die erst durch die Tiefbohrungen im Peißenberger Ostfeld bekannt gewordene vollmarine Ausbildung des gesamten Sandkomplexes. Sie ist, von den bisherigen Vorstellungen ausgehend, nur schwer zu erklären.
4. Demgegenüber das aus der klassischen Auffassung zu folgernde sehr rasche und völlige Verschwinden der ziemlich mächtigen Promberger Schichten der Nonnenwald-Mulde nach Westen. In der Bohrung Oberhausen ist über dem marinen Sand nur ein 175 m mächtiger Komplex brackischer Schichten gefunden worden, der eigentlich nur als Fortsetzung der Daser-Heimberg-Schichten aufgefaßt werden kann.

Deshalb möchte ich von der bisher üblichen Ansicht abgehen und die faziellen und stratigraphischen Zusammenhänge zwischen den brackisch-marinen Schichten der Nonnenwald-Mulde und der Peißenberger Mulde durch die auf Beilage 5 (Deutung B) niedergelegte Auffassung deuten. Sie löst die Widersprüche der bisherigen Auffassung (Deutung A) ziemlich zwanglos und steht auch in ihren übrigen Konsequenzen nicht im Widerspruch zu den bekannten und abzuleitenden stratigraphisch-faziellen Verhältnissen in diesem Teil der Unteren Süßwassermolasse.

Ich gehe dabei von der Vorstellung aus, daß die Penzberger Glassande in Peißenberg nicht existieren, sondern daß zufällig ähnlich ausgebildete Schichten mit den echten Glassanden nur „den Penzberger Verhältnissen zuliebe“ gleichgesetzt worden sind. Die Sandschichten über den Peißenberger produktiven Cyrenen-Schichten betrachte ich vielmehr als das stratigraphische Äquivalent der echten Promberger Schichten der Nonnenwald-Mulde. Diese werden nach Westen zu offenbar sandiger und geringmächtiger, bleiben aber bis in das Peißenberger Ostfeld marin; erst im Mittelfeld setzt sich die brackische Fazies durch. Die oft erwähnten geringmächtigen marinen Horizonte im Liegenden des Oberen Sandes sind die westlichsten Ausläufer der Promberger Fazies. Mit ähnlichen stratigraphischen Vorstellungen wendet SCHMIDT-THOMÉ (1955, S. 415) die „Promberger Schichten als Faziesbegriff“ auf die Peißenberger und Rottenbucher Mulde an.

Noch weiter nach Westen geht die sandig-marine Fazies dann völlig in die mergelig-brackische Cyrenenmergel-Fazies über und wird produktiv. Schließlich bleiben noch zwei Sandlagen übrig, die annähernd den gleichen Abstand voneinander haben wie die Penzberger Glassande. Es ist möglich, den Peißenberger Unteren Sand mit dem Penzberger Oberen Sand stratigraphisch gleichzusetzen, obwohl es sich in Penzberg um einen Sand mit kaolinischem Bindemittel handelt, der bereits im Grubenwagen zu zerfallen beginnt, während der Peißenberger Untere Sand ein ziemlich fester Kalksandstein ist. Die Becherstollen- und Unterbau-Schichten im Hangenden der Peißenberger Sande entsprechen dann altersmäßig den Daser-Heimberg-Schichten, was auch der Mächtigkeit nach sehr gut stimmt.

Die Cyrenen-Schichten im Liegenden des Peißenberger Unteren Sandes sind demnach gleichaltrig mit den Schwaiger Schichten der Nonnenwald-Mulde. Nach Westen verzähnen sie sich mit der Unteren Bunten Molasse und nehmen an Mächtigkeit ab. Nach Osten dringen sie in immer tiefere Teile dieser sterilen Fazies vor. Der unteren Abteilung der Penzberger produktiven Cyrenen-Schichten entspricht daher in Peißenberg stratigraphisch eine ebenso mächtige Abteilung der Unteren Bunten Molasse. Wieweit die produktive Fazies im Peißenberger Ostfeld schon ins Liegende reicht, bleibt unbekannt, da die Bohrungen unter den in Peißenberg bekannten Flözen eingestellt worden sind. Der Penzberger Untere Sand schließlich keilt zwischen Penzberg und Peißenberg aus oder findet seine Fortsetzung in einem der zahlreichen Sandsteine der Cyrenen-Schichten und der Unteren Bunten Molasse. Diese Verdrängung der bunten festländischen durch die graue brackische Fazies, die nach Osten hin sowohl vom Hangenden wie auch vom Liegenden ausgehend immer größere Teile der Unteren Bunten Molasse in Cyrenenmergel umwandelt, kommt auf dem Faziesprofil der Beilage 5 deutlich zum Ausdruck. Sie entspricht ganz der bekannten allgemeinen Faziesentwicklung im Bereich der Unteren Bunten Molasse, die nach Osten zu mehr und mehr in Sedimente von brackischer und schließlich mariner Fazies übergeht.

Ein Beweis für die Richtigkeit der einen oder anderen Deutung ist vorläufig nicht möglich. Ein Vergleich der Mächtigkeiten der Bunten Molasse im Hangenden und Liegenden der brackisch-marinen, flözführenden Schichten könnte Anhaltspunkte geben. Man kann ihn aber bis auf weiteres nicht durchführen,

weil ungestörte Profile bis zum Liegenden, der Unteren Meeresmolasse, und zum Hangenden, der Oberen Meeresmolasse, weder in der Peißenberger noch in der Nonnenwald-Mulde bekannt sind. Sicher ist nur die Mächtigkeit der Unteren Bunten Molasse in der Penzberger und in der Rottenbucher Mulde. Nach dem derzeitigen Stand der Kenntnisse gibt es in der Molasse auch keine engbegrenzten paläontologischen oder petrographischen Leithorizonte. Deshalb wird die Frage, ob die Schichten zwischen dem Peißenberger Unteren und Oberen Sand stratigraphisch wirklich den Promberger Schichten entsprechen, erst durch weitere Aufschlüsse, durch Bohrungen und durch den Bergbau zu entscheiden sein. Bis dahin hat die Deutung B mindestens ebensoviel Wahrscheinlichkeit wie die bisher übliche Deutung A.

#### **7. Obere Bunte Molasse und Miozän-Flöz-Horizont**

Die Obere Bunte Molasse bildet zwar überall das Hangende der brackischen, flözführenden Schichten, doch ist der ungestörte Übergang nur in der Peißenberger und Rottenbucher Mulde zu beobachten. Ein vollständiges Profil durch die Obere Bunte Molasse konnte an keiner Stelle beobachtet werden, so daß genaue Angaben über ihre Gesamtmächtigkeit unmöglich sind. Aus den Verhältnissen in der Peißenberger Mulde folgt, daß sie hier über 1000 m mächtig sein muß. Für das Gebiet der Nonnenwald-Mulde sind keine genauen Angaben bekannt.

Im Hangenden der Oberen Bunten Molasse folgt im Peißenberger Gebiet, als Übergangsfazies zur Oberen Meeresmolasse, nochmals ein geringmächtiger, brackischer Horizont. Er ist bei dem Gut Dessau am Lech aufgeschlossen und wurde beim Gut Berghof östlich Peißenberg durch einen Schurf freigelegt. HÖLZL (1953), der den Schurf aufnahm und bearbeitete, kam zu dem Ergebnis, daß diese brackischen Schichten keine „Cyrenen-Schichten“ im eigentlichen Sinne mehr sind, sondern daß sie bereits eine veränderte, jüngere Fauna enthalten. Nach seinen Angaben sind die brackischen Schichten etwa 25 m mächtig und führen ein 10 cm mächtiges Pechkohlenflöz. Weiter im Osten ist der Horizont nicht bekannt geworden. Er dürfte jedoch ähnlich wie der Echelsbacher Flözhorizont, an der Grenze zwischen der limnisch-fluviatilen und der marinen Fazies sehr weit anhalten und vielleicht auch weiter im Osten noch besser entwickelt sein.

#### **8. Altersvergleich der Peißenberger und der Nonnenwald-Penzberger Flöze**

Die Zusammenfassung der in den vorhergehenden Abschnitten dargelegten Beobachtungen und Vorstellungen ergibt das stratigraphische Schema auf Tabelle 4. Die Mächtigkeiten der einzelnen Schichtglieder, die Gesteinsausbildung und die Flözabstände sind auf den Profilen 1 bis 4 der Beilage 1 dargestellt.

Eine Parallelisierung der Flöze in den beiden Revieren ist bei dieser Gegenüberstellung nur zum Teil möglich. Nach der Deutung A wäre eine Flözgleichstellung besser und leichter möglich. Da die Pechkohlenflöze jedoch durchaus keine beständigen Horizonte sind, kann dies zufällig sein und spricht weder für noch gegen eine der beiden Auffassungen.

*Tabelle 4*  
**Schichtenvergleich zwischen der Peißenberger und der Nonnenwald-Mulde**

| Schichtbezeichnung in der<br>Peißenberger Mulde        | Schichtbezeichnung in der<br>Nonnenwald-Mulde                                    |
|--|--|
| <b>O b e r e M e e r e s - M o l a s s e</b>           |  |
| Berghof-Schichten<br>(Miozän-Flöz)                     | ?  |
| <b>O b e r e B u n t e M o l a s s e</b>               |  |
| Unterbau-Horizont<br>Bucherstollen-Horizont            | Daser- oder Heimberg-Schichten   |
| Oberer Sand<br>Zwischen-Cyrenenschichten<br>(Flöz 1—4) | Promberger Schichten   |
| Unterer Sand   | Oberer Sand  |
| Produktive Cyrenenschichten<br>(Flöz 5—26)             | Schwaiger Schichten<br>(Flöz 25—32)<br>Unterer Sand                              |
| <b>U n t e r e B u n t e M o l a s s e</b>             |  |
| Echelsbacher Flöz                                      | Produktive Cyrenenschichten<br>(Flöz 0—24)<br>Schönmühl- oder Johannisrain-Flöze |
| <b>B a u s t e i n s c h i c h t e n</b>               |  |
| <b>U n t e r e M e e r e s - M o l a s s e</b>         |  |

### III. Stratigraphie und Faziesentwicklung der Unteren Süßwassermolasse in der Haushamer und Mariensteiner Mulde

#### 1. Allgemeine Verhältnisse

In der Hausham-Mariensteiner Mulde sind nur die beiden tiefsten Glieder der in den nördlicheren Mulden bekannten Schichtfolge zwischen der Unteren und der Oberen Meeressmolasse erhalten. Die jüngsten, im Kern der Mulde bekannten Flöze liegen stratigraphisch noch unter dem Flöz 0 der Penzberger Mulde. Die Fazies der noch vorhandenen Schichten hat sich in dem gleichen Sinne weiterentwickelt, wie es schon aus der Peißenberger und der Nonnenwald-Mulde beschrieben worden ist: die Penzberger Untere Bunte Molasse ist bis auf geringmächtige Reste in die Fazies der brackischen Cyrenenmergel übergegangen.

Der Muldenbau läßt vermuten, daß höhere Teile der Unteren Süßwassermolasse hier nicht oder nur in geringer Mächtigkeit ausgebildet waren. Waren sie in ihrer vollen Mächtigkeit vorhanden gewesen, dann müßten die Mulden tiefer und weiter gespannt sein, um auch für diese Sedimente bei der Faltung noch Raum zu geben. Wahrscheinlich erreichten bei dem Wandern der Molasse-Trogachse nach Norden die jüngeren Sedimente jeweils erst weiter nördlich ihre größte Mächtigkeit, so daß sie im Gebiet der Haushamer Mulde primär geringmächtiger waren. Eventuell früher vorhandene jüngere Sedimente sind abgetragen und heute nicht mehr nachweisbar. Die Lage der Trogachse während

der Sedimentation der verschiedenen stratigraphischen Einheiten der subalpinen Molasse und die davon abhängigen Mächtigkeiten der einzelnen Schichtglieder sind ausführlich bei SCHMIDT-THOMÉ (1955, S. 14 ff. und Tafel 3) dargestellt.

## **2. Baustein-Schichten und Übergangszone**

(Horizont der Philippsflöze)

Die Haushamer Mulde ist das Typusgebiet der von KORSCHELT (1890) beschriebenen Übergangszone. Sie umfaßt die Schichten von dem Beginn der Konglomerate (Bierhäusel-Konglomerat) bis zum Flöz Großkohl. Ihre Mächtigkeit beträgt in den Grubenaufschlüssen (Profil 7 und 8, Beilage 1) ca. 300 m. Die Sedimente stehen faziell den Cyrenen-Schichten nahe, die petrographische Ausbildung der Gesteine ist aber insgesamt sandiger. Sie führen noch plattige, blaugraue und gelbe Sandsteine vom Typ der Bausandsteine und enthalten gelegentlich marine Horizonte. Nach KORSCHELT zeigt sich „gegenüber der Brackwassermolasse eine größere Mächtigkeit der verschiedenen Gesteinsarten und nicht dieser schnelle und unausgesetzte Wechsel oft sehr geringmächtiger Gesteinsschichten“.

Der Mächtigkeit nach entspricht die Haushamer Übergangszone genau den bei St. Johannisrain und Schönmühl in der Penzberger Mulde bekannten Schichten (Profil 5 auf Beilage 1). Während dort jedoch nur in der unteren, 150 m mächtigen Abteilung geringe Kohlenführung auftritt, ist in Hausham die ganze Zone der Übergangsschichten produktiv geworden, die Zahl der Flöze sowie ihre Mächtigkeit hat zugenommen. Die beiden besten Flöze sind in Hausham mit den Namen Philipp I und II belegt. Das Flöz Philipp II liegt ungefähr in der Mitte der Übergangszone und ist stellenweise bauwürdig. Die Kohle ist von hoher Qualität, der Bereich der Bauwürdigkeit ist aber sehr begrenzt.

In der Fortsetzung der Haushamer Mulde nach Westen, der Mariensteiner Mulde, sind die Verhältnisse prinzipiell gleich. Im Gegensatz zu Hausham ist dort nur die Übergangszone bergbaulich aufgeschlossen. Der Mangel an bauwürdigen Flözen in höheren Teilen der Mulde erklärt sich aus der Lage weiter im Westen und dem dadurch bedingten stärkeren Einfluß der sterilen Fazies der Unteren Bunten Molasse. Ebenfalls im Gegensatz zu Hausham sind hier nur die allertiefsten Flöze unmittelbar über dem Bierhäusel- (= Echelsbacher) Konglomerat bauwürdig. Abbaue sind auf den Flözen 2, 3 und 5 umgegangen, derzeit wird nur das Flöz 5 abgebaut. Die Bauwürdigkeit hält innerhalb größerer Bereiche an. Die Haushamer Philippsflöze sowie die Flöze Großkohl und Kleinkohl sind offenbar nur durch unbauwürdige Flözchen vertreten.

## **3. Cyrenen-Schichten und Untere Bunte Molasse**

Die Untere Bunte Molasse des Westens ist in der Haushamer Mulde und der Mariensteiner Mulde weitgehend durch die Cyrenenmergel-Fazies ersetzt. Im Mariensteiner Gebiet besteht offenbar noch der ganze, stratigraphisch der Unteren Bunten Molasse entsprechende Muldenkern aus einer Wechsellagerung von Bunter Molasse und Cyrenenmergeln (GANSS & SCHMIDT-THOMÉ 1955, S. 432). Bauwürdige Flöze sind deshalb hier noch nicht entwickelt.

In Hausham ist die bunte Fazies völlig verschwunden. Ihr Einfluß zeigt sich aber noch darin, daß in der ganzen, ca. 800 m mächtigen Serie von

Cyrenen-Schichten über Flöz Großkohl nur in den untersten 150 Metern bauwürdige Flöze auftreten. Die Hauptflöze selbst, Flöz Großkohl und Flöz Klein-kohl, liegen an der Grenze zwischen der Übergangszone und den eigentlichen Cyrenen-Schichten. 100 m über ihnen folgt Flöz 7 mit ca. 30 cm reiner Kohle, das unter Umständen bauwürdig ist. Weiter im Hangenden werden noch Flöze bis Flöz 24 numeriert. Nach den bisherigen Kenntnissen handelt es sich aber überall um unbauwürdige Flözhorizonte. Weiter nach Osten hebt die Haushamer Mulde aus. Ursprünglich in diesem Gebiet vielleicht ausgebildete bauwürdige Flöze in höheren Teilen der Cyrenen-Schichten sind in den Muldenkernen nicht mehr erhalten.

#### 4. Altersvergleich der Haushamer und der Mariensteiner Flöze

Das unaufgeschlossene Gebiet zwischen den Gruben Hausham und Marienstein ist wesentlich kleiner als das zwischen der Peißenberger und der Nonnenwald-Mulde; auch die Strukturen sind hier einfacher und besser bekannt. Trotzdem ist ein Flözvergleich nicht ohne weiteres möglich. Aufgrund des üblichen raschen Wechsels in Gesteinsfazies und Flözausbildung behalten die Flöze auch auf diese kürzere Distanz keine gleichbleibend charakteristische Ausbildung, die ein Wiedererkennen möglich machen würde. Man muß deshalb auch hier zunächst von petrographisch definierten Leitschichten ausgehen und die dadurch möglichen Fehler in Kauf nehmen. Als Bezugshorizont bietet sich nur die Konglomeratzone an der Hangengrenze der Baustein-Schichten. Mit der Oberkante des Hauptkonglomerats als Basis möchte ich die drei in Hausham bei 55 m, 61 m und 75 m unter Flöz Philipp I liegenden Flözhorizonte mit den Mariensteiner Flözen 5, 3 und 2 identifizieren (vgl. die Profile 6 und 7, Beilage 1). Sie haben in Hausham noch fast die gleichen Abstände voneinander wie in Marienstein, liegen in gleicher Weise über, auf und unter dem Konglomerat und entsprechen sich in ihrer Kohleführung. Flöz 5 (Marienstein) führt in Hausham immer noch 15 cm Kohle, es handelt sich also um einen ziemlich ausdauernden Flözhorizont.

Die Haushamer Philippsflöze lassen sich nicht in gleicher Weise mit Flözhorizonten in Marienstein identifizieren, da sie bereits innerhalb des Haushamer Grubengebäudes zu bedeutungslosen Flözchen werden. Man kann deshalb in Marienstein (Profil 6, Beilage 1) nur den Bereich angeben, in dem sie auftreten müssen; die Gleichsetzung mit bestimmten Flözen ist nicht möglich. Eine Flözparallelisierung zwischen Hausham und Marienstein wird zur Zeit auch von O. HÖLZL, München, auf paläontologischer Grundlage versucht. Es ist zu hoffen, daß durch seine Untersuchungen die Frage der Flözgleichstellung endgültig gelöst wird.

#### IV. Bergbaulich nicht mehr aufgeschlossene Bereiche des Reviers: Penzberger Mulde, Miesbacher und Auer Mulde

Die Verhältnisse in der Penzberger Mulde entsprechen nach den Unterlagen der Markscheiderei ziemlich genau denen der Nonnenwald-Mulde. Fazielle Änderungen machen sich zwischen beiden Mulden kaum bemerkbar. Nach Berichten älterer Bergleute waren die Flöze in der Penzberger Mulde schöner und gleichmäßiger ausgebildet als in der Nonnenwald-Mulde. Dies läßt sich so

deuten, daß nur in der südlicheren Penzberger Mulde die für die Flözbildung günstigsten Bedingungen herrschten, während nach Norden bereits ungünstige Faziesverhältnisse einsetzen.

Zwischen den Grubenrevieren von Penzberg und Miesbach geht die Untere Bunte Molasse fast völlig in die Fazies der produktiven Cyrenen-Schichten über. Dadurch werden in der Miesbacher (und Auer) Mulde Flözhorizonte produktiv, die in Penzberg stratigraphisch noch im Fazies-Bereich der Unterer Bunten Molasse liegen. Die eigentlichen Penzberger Flöze sind im Kern der Miesbacher Mulde nicht mehr vorhanden.

Die südlich an die Miesbacher Mulde anschließende Haushamer Mulde enthält die Miesbacher Flöze auch, sie sind dort jedoch nicht bauwürdig. Die Miesbacher Flöze Neumühl, Josef, Johann, Bayern und Karl entsprechen in Hausham den Flözhorizonten im Hangenden von Flöz 7. Eine genaue Parallelisierung war nicht möglich, da nicht mehr genügend Unterlagen aus den stillgelegten Gruben zugänglich waren.

Während in der Haushamer Mulde die Cyrenen-Schichten nur im tiefsten Abschnitt produktiv sind, vollzieht sich nach Norden eine Weiterentwicklung der höheren Teile der brackischen Schichten in Richtung auf optimale Flözbildungsverhältnisse. Gleichzeitig scheint sich im Liegenden der Miesbacher Cyrenen-Schichten wieder ein stärkerer Einfluß bunter Fazies zu zeigen, die aber wohl nur eine geringmächtige Einlagerung in den im übrigen brackischen Schichten darstellt. Über Aufschlüsse in den Schichten, welche den produktiven Haushamer Horizonten entsprechen und unter dieser Einlagerung bunter Fazies zu suchen sind, ist mir nichts bekannt geworden. Es ist möglich, daß sich in den tiefsten Teilen der Miesbacher Mulde die Haushamer Flöze bauwürdig wiederfinden lassen. Das Auftreten der Fazies der Unterer Bunten Molasse in Bohrungen im Gebiet der Miesbacher Mulde ist jedenfalls kein Indiz, daß weitere produktive Horizonte nach der Teufe zu nicht mehr zu erwarten wären.

Die Verhältnisse in der Auer Mulde gleichen denen in der Miesbacher Mulde. In letzter Zeit wurden hier größere Aufschluß- und Schurfarbeiten durchgeführt, deren Ergebnis noch nicht zugänglich ist.

## V. Schichten- und Flözvergleich im Oberbayerischen Pechkohlenrevier

Die Auffassungen über die stratigraphischen und faziellen Verhältnisse der flözführenden Molasseschichten und die daraus abzuleitenden Folgerungen sind im einzelnen in den vorhergehenden Abschnitten besprochen worden und sind auf den Profilen 1—8 der Beilage 1 dargestellt. Sie sollen auf Abbildung 2 nochmals vereinfacht zusammengefaßt werden, um die stratigraphische Lage der Flöze im gesamten Revier miteinander zu vergleichen.

Nach der bisherigen stratigraphischen Deutung, welche den Unterer und Oberen Sand des Penzberger Grubenbezirks mit den gleichnamigen Schichten des Peißenberger Reviers identifizierte, ließen sich die Peißenberger Flöze 2, 4, 10/11 ungefähr den Penzberger Flözen 32, 26, 24 gleichsetzen. Läßt man die Widersprüche außer acht, die sich dabei für die Faziesentwicklung zwischen Peißenberg und Penzberg ergeben, so ist diese Gleichsetzung einleuchtend. Die Zahl der Flöze und die Mächtigkeit der produktiven Schichten sind in beiden Gruben zudem fast gleich.

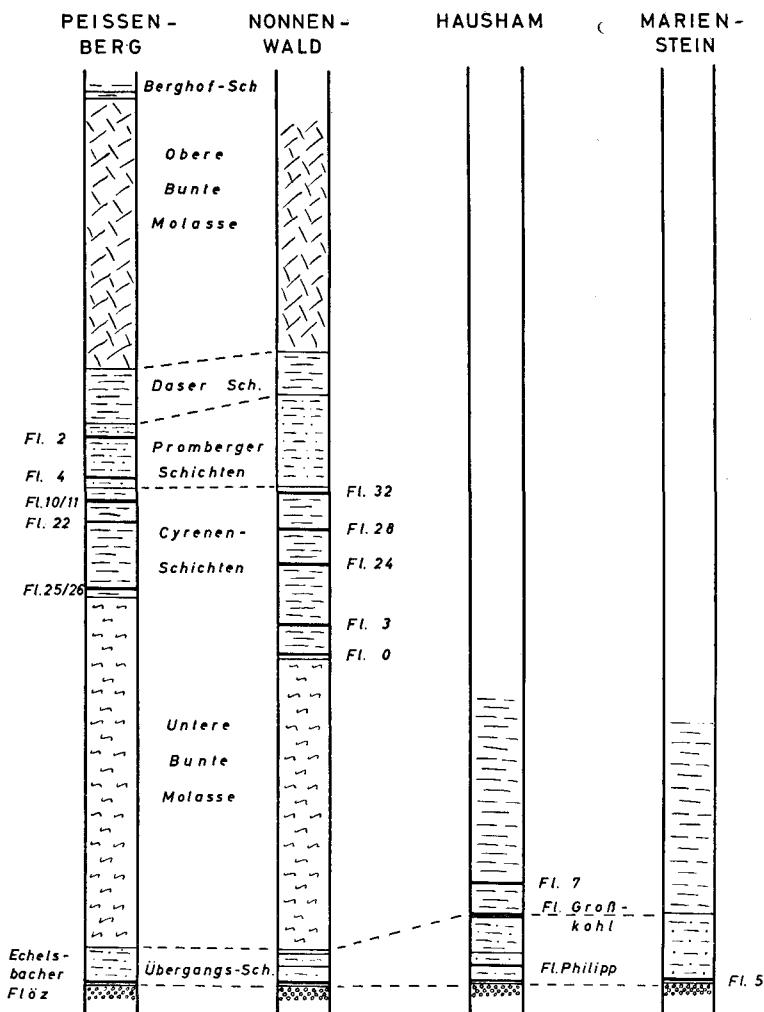


Abb. 2. Schichten- und Flözvergleich im oberbayerischen Pechkohlenrevier.

Für mich waren die Bohrergebnisse im Peissenberger Ostfeld der Hauptgrund, von dieser Vorstellung abzugehen. Ich kam so zu einem anderen Gleichstellungsversuch (Beilage 5), welcher den Faziesverhältnissen besser entspricht. Eine Parallelisierung von markanten Peissenberger Flözen mit gleichwertigen Flözen der Nonnenwald-Mulde ist allerdings damit nicht mehr möglich. Bei dem raschen Wechsel der Bauwürdigkeit und des Abstands der Flöze ist dies auch nicht erforderlich. Eine formale Identifizierung von Flözhorizonten der beiden Gruben durch Abstandsvergleich zwischen den Flözen ist zwar möglich; es scheint mir aber nicht zweckmäßig zu sein, eine solche Deutung zu fixieren, da sie nicht beweisbar ist und nur eine unter mehreren Möglichkeiten darstellt. Durch Vergleich der Schichtprofile aus den beiden Mulden (Profil 2 und 4, Beilage 1) ist es jederzeit möglich, die zueinander passenden Horizonte zu ermitteln.

In den weiter östlich gelegenen kohleführenden Molassemulden sind die produktiven Horizonte von Peißenberg—Penzberg nicht mehr erhalten. Die dortigen produktiven Cyrenen-Schichten liegen stratigraphisch im Bereich der Unteren Bunten Molasse des westlichen Gebietes. In der Miesbacher und Auer Mulde, welche als Ostfortsetzung der Nonnenwald- und Penzberger Mulden gelten können, entsprechen die höchsten Schichtglieder vermutlich noch den Penzberger Schichten im Bereich der Flöze 3—0. Die eigentlichen produktiven Miesbacher und Auer Flöze liegen jedoch unter dem Penzberger Flöz 0, aber über dem Haushamer Flöz 7. Im tiefsten Teil der Miesbacher Mulde sind möglicherweise auch die Hausham-Mariensteiner Flöze ausgebildet. Sie könnten als Reserve für den Haushamer Bergbau interessant sein.

In der Haushamer Mulde sind die Miesbacher Flöze nicht bauwürdig. Hier liegen die produktiven Flöze im Bereich der Übergangsschichten, unmittelbar im Hangenden der Bausteinzone. Die Flözführung dieser Schichten beginnt bereits in der Rottenbucher (und Peißenberger) Mulde. Das Echelsbacher Flöz (= Krebsbachflöz) der Rottenbucher Mulde ist das tiefste Flöz der Übergangszone. Es lässt sich über die Penzberger Mulde in die Hausham-Mariensteiner Mulde verfolgen und dürfte mit dem Mariensteiner Flöz 5 identisch sein. In der Penzberger Mulde ist die Übergangszone in wesentlich größerer Mächtigkeit brackisch und reichlicher flözführend als in der Rottenbucher Mulde. Durch Vergleich der Schurfprofile bei St. Johannisrain am Südrand der Penzberger Mulde mit den flözführenden Schichten der Haushamer Mulde (Profil 5 und 7, Beilage 1) lassen sich die Horizonte der Haushamer Philippsflöze auch in der Penzberger Mulde als dünne Kohlenlagen wiederfinden. Im Horizont des Großkohl-Flözes findet man in der Penzberger Mulde noch keine Flözbildung.

Beim Vergleich der Profile der Gruben Marienstein und Hausham (Profil 6 und 7, Beilage 1) lassen sich die Mariensteiner Flöze mit den tiefsten Haushamer Flözhorizonten 50—75 m im Liegenden von Flöz Philipp I identifizieren. Die Philippsflöze selbst sind nicht sicher von Hausham nach Marienstein zu verfolgen. Aus dem Horizont des Flözes Großkohl und der höheren Flöze sind in Marienstein keine genauen Unterlagen vorhanden.

## C. Kleintektonische Untersuchungen

### I. Tektonischer Überblick

Die Zone der gefalteten südbayerischen Molasse gliedert sich tektonisch in wenige Muldenzüge. Ihre Zahl wie auch die Breite des von der Faltung erfassten Gebietes verringern sich von Westen nach Osten. In gleicher Richtung tritt die Faltenmolasse auch morphologisch mehr und mehr zurück: während im westlichen Allgäu ihre Schichtglieder noch am Bau des eigentlichen Alpenkörpers teilhaben, bildet sie im westlichen und mittleren Oberbayern nur noch untergeordnete, dem eigentlichen Gebirge vorgelagerte Höhenzüge, die weiter nach Osten schließlich ganz ausklingen.

Im Bereich bauwürdiger Flözführung, zwischen Lech und Leitzach, finden sich drei große Muldeneinheiten, welche durch teilweise stark gestörte Antiklinalzonen voneinander getrennt sind. Es sind, von Norden nach Süden:

Peißenberger Mulde — Nonnenwald-Mulde  
 Rottenbucher Mulde — Penzberger Mulde   
 Murnauer Mulde — Marienstein-Haushamer Mulde

Die Murnauer Mulde enthält auch in ihrem Kern nur Sedimente von der Fazies der Unteren Bunten Molasse. Flözführung ist lediglich aus dem Horizont des Echelsbacher Flözes bekannt geworden; das Flöz ist früher an der Ammer bei Scheibum, nordwestlich von Bad Kohlgrub, am Südrand der Mulde abgebaut worden. Die insgesamt 40 km lange Mulde zeigt im allgemeinen einen regelmäßigen, symmetrischen Bau. Tektonische Einzelheiten waren bisher wegen des Fehlens größerer Aufschlüsse wenig bekannt. Neuerdings hat BRUNNER (1960) durch Analyse von Kluftaufnahmen in den Bausteinschichten gezeigt, daß die Mulde offenbar nach dem Abschluß der Faltung durch zahlreiche Sprünge in Schollen zerlegt worden ist, die außerdem gegeneinander verkippt worden sind.

Östlich des Muldenschlusses ist über die Strukturen der Molasse oder ihres Untergrundes in der Verlängerung der Murnauer Mulde noch nichts bekannt. Südlich von Penzberg sind sie unter der weiten Fläche des Kocheler Mooses verborgen, weiter nach Osten springt der Flysch nach Norden vor und verdrängt hier offensichtlich die Molassesstrukturen. Erst östlich von Bad Tölz tritt mit der Marienstein-Haushamer Mulde wieder ein tektonisches Element auf, welches strukturell als die Fortsetzung der Murnauer Mulde angesehen werden kann (SCHMIDT-THOMÉ 1955, 1955 a).

Die Marienstein-Haushamer Mulde zeigt einen ähnlich regelmäßigen Bau wie die Murnauer Mulde; lediglich in einem Teil des Südflügels der Haushamer Mulde drückt sich eine stärkere Nordvergenz durch Steilstellung und Überkipfung im höchsten Teil der Mulde aus. Der tiefste Punkt der Mulde liegt etwa beim Muldenschacht der Grube Hausham. Flöz Großkohl liegt dort bei —50 m (unter NN) und 850 m unter der Tagesoberfläche, Flöz Philipp I bei —200 m und 1000 m unter der Tagesoberfläche. Vom Muldenschacht steigt die Muldenachse leicht nach Osten und Westen. Das Umlaufen der Schichten ist in den Flözen Großkohl und Kleinkohl auf mehreren Sohlen aufgeschlossen worden, der regelmäßige Muldenbau ist dadurch gut erkennbar. Größere Querstörungen sind nicht bekannt geworden.

Die Rottenbucher Mulde läßt sich nach Osten ohne Schwierigkeit in die Penzberger und die Miesbacher und Auer Mulde weiterverfolgen. Die Mulden sind im Westen symmetrisch gebaut, nach Osten zeigt sich eine zunehmende Steilstellung des Südflügels. Einzelheiten über ihren Bau sind besonders aus den ehemaligen Pechkohlenbergbauen in der Penzberger und der Miesbacher Mulde bekannt geworden. In der Rottenbucher Mulde hat nur das Echelsbacher Flöz an der Ammer Anlaß zu einem unbedeutenden Stollenbetrieb gegeben. Die Struktur der Mulde ist hier jedoch aus guten Übertageaufschlüssen in den Schluchten der Ammer und ihrer Zuflüsse zu erkennen.

In der nördlichen Muldenzone sind die tektonischen Verhältnisse erheblich komplizierter als in den näher am Alpenrand gelegenen Rottenbuch-Penzberger und Murnau-Haushamer Mulden. Die Peißenberger Mulde ist innerhalb des durch den Bergbau bekannten Bereiches im Norden und Süden von einer kräftigen Überschiebung begrenzt. Durch die südliche, die Rottenbucher Überschiebung, ist der Muldensüdflügel fast völlig abgeschnitten und teilweise

zu einer schmalen Scholle flach-muldenförmig gelagerter Schichten hochgehoben worden. Die tektonischen Verhältnisse dieser sogenannten Ammer-Scholle sind von SCHMIDT-THOMÉ (1955, S. 416 f.) und GILLITZER (1955) beschrieben worden. Die Überschiebungszonen fallen mit etwa  $50^{\circ}$  nach Süden ein. Die Rottenbucher Überschiebung erreicht einen Überschiebungsbetrag von 1200 m, die ihr zugehörige Ammer-Überschiebung, welche die Ammer-Scholle im Norden begrenzt, erreicht nochmals 600 m.

Die Peißenberger Überschiebung im Norden der Mulde, die gleichzeitig die Randstörung gegen die ungefaltete Vorlandmolasse bildet, ist offenbar aus einer Sattelstruktur hervorgegangen. Das sattelförmige Umbiegen der Schichten ist noch aus den Plänen der alten, am höchsten gelegenen Flözabbaue zu erkennen. Die Überschiebung läuft dem Schichtstreichen genau parallel. Von dem ost-westlichen Generalstreichen der Faltenmolasse abweichend springt sie bogenförmig nach Norden vor und erreicht zwischen den Querschlägen m 2 und m 3 (Bezeichnungen der Markscheiderei Peißenberg) ihren nördlichsten Punkt. Gleichzeitig nimmt hier der Überschiebungsbetrag bis auf 2000 m zu. Die Erhebung des Hohen Peißenbergs markiert diese Stelle weithin sichtbar, allerdings etwas übertrieben durch die gerade hier besonders große Mächtigkeit der Konglomerate der Oberen Süßwassermolasse. Von hier nimmt im Streichen nach Osten wie nach Westen der Überschiebungsbetrag ab, schließlich stellt sich ein stark gestörter Sattel ein. SCHMIDT-THOMÉ (1954 a, 1954 b, 1955, 1955 a) hat mehrfach dargelegt, daß die Überschiebung außerhalb des bergbaulich aufgeschlossenen Bereichs überhaupt ausklingen dürfte und daß in diesem Falle die südländere Rottenbucher Überschiebung die Rolle der Randstörung gegen die ungefaltete Molasse übernimmt. Diese Auffassung hat sich durch die zahlreichen Schürf- und Bohrarbeiten der jüngsten Zeit bestätigt.

Das Vorspringen der Überschiebung nach Norden bei gleichzeitiger Zunahme des Überschiebungsbetrags führte zu Spannungen im Gestein, welche die Ursache der verschiedenen, im Peißenberger Grubenfeld bekannten Störungen und Sprünge bildeten. Die bedeutendste dieser Störungen ist die Sulzer Querstörung auf der Ostflanke des Überschiebungsbogens, welche den Ostteil des Grubenfeldes um etwa 800 m gegenüber dem Westteil absenkt. Die Bühlach- und Weidenschorn-Störungen sind, funktionell gesehen, das Äquivalent der Sulzer Querstörung auf der Westflanke des Überschiebungsbogens. Dazu treten eine Reihe untergeordneter Störungen, die sich auf die gleiche Ursache zurückführen lassen. Die Entstehungszeit aller dieser Störungen dürfte am Ende der eigentlichen Faltung liegen. Diese Vermutung wird unterstützt durch die Tatsache, daß sich der Inkohlungsgrad nach dem Entstehen der Störungen nicht mehr wesentlich geändert hat: Proben aus Flöz 10/11 aus der 8. Sohle östlich der Sulzer Querstörung zeigen den gleichen Gehalt an hygroskopischer Feuchtigkeit und an Bergfeuchtigkeit wie Proben aus dem gleichen Flöz, westlich der Querstörung, über der 5. Sohle, was ungefähr dem Absenkungsbetrag der Sulzer Querstörung entspricht. Demgegenüber zeigt das Inkohlungsbild in der Peißenberger Mulde, daß die Inkohlung durch die Faltung selbst noch beeinflußt worden ist.

Die Peißenberger Mulde hat nach Osten vermutlich keine unmittelbare Fortsetzung. Die Nonnenwald-Mulde bildet zwar ihr östliches Äquivalent, ist jedoch wohl eine selbständige Mulde. Ihr Bau zeigt gewisse Parallelen zur

Peißenberger Mulde: Der Muldensüdflügel ist erheblich gestört und steilgestellt, es fehlt jedoch eine nennenswerte Überschiebung zwischen der Nonnenwald- und der Penzberger Mulde. Die Begrenzung im Norden bildet wie in Peißenberg eine Überschiebung gegen die ungefaltete Vorlandmolasse mit Überschiebungsbeträgen bis 1500 m. Querstörungen von gleichem Ausmaß wie in der Peißenberger Mulde sind hier nicht bekannt. Weiter nach Osten behält diese nördliche Muldenzone noch über eine gewisse Strecke ihren selbständigen Charakter, doch schließt sie sich vermutlich in der Miesbacher Mulde mit der mittleren — Penzberger — Muldenzone zusammen.

## II. Kleintektonik in der Peißenberger Überschiebung

Die Überschiebungs- und Störungszonen in den Antikinalen zwischen den einzelnen Muldenzügen der Faltenmolasse sind über Tage nur sehr selten aufgeschlossen. Die wenigen Aufschlüsse, wie sie sich z. B. in der Antikinalzone zwischen der Murnauer und der Rottenbucher Mulde in der Ammerschlucht bei Echelsbach finden, erlauben keine feintektonischen Aufnahmen. Unter Tage wurden solche Störungszonen beim Vortrieb von Querschlägen verschiedentlich aufgefahren. Verständlicherweise hat man diese Aufschlüsse wegen der Gefahr von Verbrüchen möglichst schnell wieder verbaut, so daß Beobachtungen meist nicht möglich sind.

Beim Abteufen des Hauptschachts der Grube Peißenberg zur 8. Sohle war ein Teil der Peißenberger Überschiebung vorübergehend zugänglich. Das Gestein (Mergel der Cyrenen-Schichten und der Unteren Bunten Molasse) zeigt sich dort völlig mylonitiert und zerfällt in kleine, spiegelblanke Lamellen. Relikte des ursprünglichen Gesteinsverbandes sind nicht mehr vorhanden. Das zertrümmerte Gestein ist in ein sehr deutlich ausgeprägtes Scherkluftsystem eingeregelt. Beide Flächenscharen des Systems sind gleichwertig entwickelt. Beim Anschlagen mit dem Hammer zerfällt der Mylonit in rhombische Scherkörper, welche von den genannten Scherflächen begrenzt sind. Einzelne, noch intakte und bis kubikmetergroße Sandsteinblöcke sind mit ihren Kanten in die Scherflächen eingeordnet. Die Einmessung der Scherflächen war an dieser Stelle nicht möglich.

Im Querschlag 6 m 2 ist kurz vor dem nördlichen Ende eine Mylonitzone von etwa 10 m Breite aufgeschlossen und erlaubt eingehendere Beobachtungen. Die Überschiebungszone ist im Gefolge der Peißenberger Überschiebung entstanden und verläuft etwa 40 m südlich parallel zu ihr. Das zerscherte Gestein zeigt die selben Erscheinungen wie sie oben aus dem Hauptschacht Peißenberg beschrieben sind. Streichen und Fallen der Zone betragen an dieser Stelle  $75^\circ/55^\circ$  S, Streichen und Fallen der Schichten im Liegenden  $90^\circ/70^\circ$  S, im Hangenden  $90^\circ/50^\circ$  S. Aus dem Mylonit lassen sich rhombenförmige Scherkörper herauslösen (Abb. 4). Die Kanten der im Mylonit stehengebliebenen Keile, also die Schnittkanten der Scherflächen, sind schwach nach Westen geneigt. Die Scherflächen sind meist mit Kalzit verkleidet und tragen immer schöne Harnische. Ihre Striemung zeigt, daß an jeder Fläche der beiden Flächenscharen der hängende Teil gegen den liegenden nach oben bewegt worden ist (Abb. 4). Das Gefüge des Mylonits zeigt also das Bild einer Plättung oder „zweischarigen affinen Zergleitung“ (SANDER). Die Abb. 4 und 5 geben die Lage der Zone

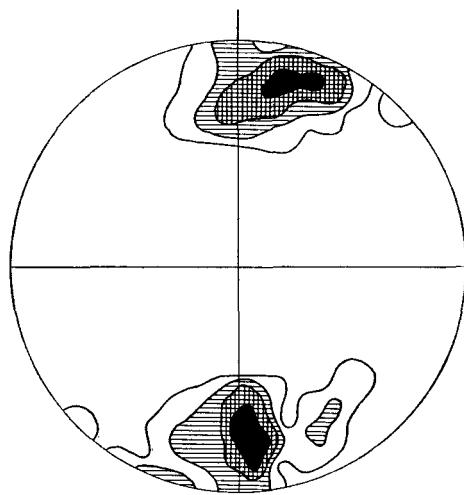


Abb. 3. Grube Peißenberg, Querschlag 6 m 2, Überschiebungszone bei 693—700 m; 80 Pole, über —10 %, 6—10 %, 4—6 %, 0—4 %.

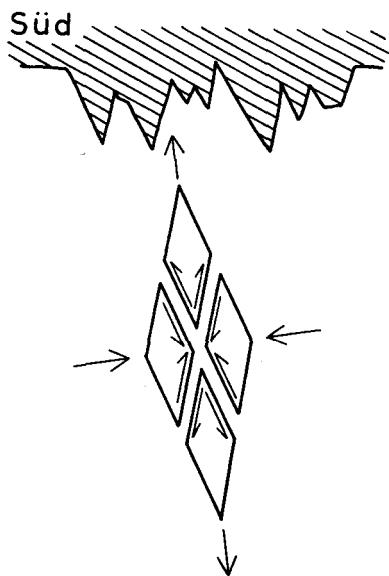


Abb. 4. Scherkörper und Ausgleichsbewegungen in der Überschiebungszone im Querschlag 6 m 2. Vertikalschnitt.

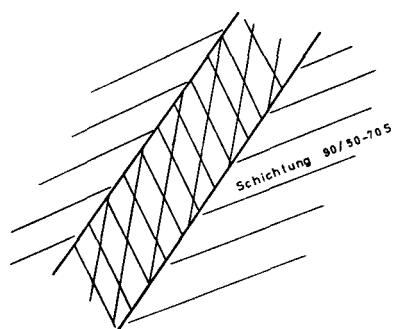


Abb. 5. Lage der Überschiebungszone in der Schichtung. Vertikalprofil.

wieder und in ihr die Lage der Scherflächen sowie die Form und Lage der Scherkörper mit den Relativbewegungen, wie sie sich aus den Harnischen auf den Scherflächen ergeben.

Die Lage der Scherflächen konnte in dieser Überschiebungszone eingemessen werden, ihre Flächenpole sind auf dem Diagramm Abb. 3 (Projektion in die untere Hälfte der Lagenkugel) dargestellt. Aus dem Diagramm geht die scharfe Regelung des Mylonits und auch das Einfallen der Scherachse nach Westen hervor.

Leider waren an keiner anderen Stelle ähnliche Beobachtungen möglich. Es wäre interessant und erfolgversprechend, wenn bei den zukünftigen Aufschlußarbeiten in den Pechkohlengruben weitere Untersuchungen über den Mechanismus dieser Überschiebungen und Störungen möglich würden.

### III. Kleintektonik in den Flözen

#### 1. Deformationen und Massenverlagerungen im Gefolge von schichtparallelen Bewegungen

In allen Flözen lassen sich Spuren von schichtparallelen Bewegungsvorgängen beobachten. Bei der Betrachtung der Sedimentfolge der Cyrenen-Schichten im Querschlagsprofil zeigt es sich, daß solche Bewegungen fast ausschließlich an das Auftreten von Flözen oder dünnen Kohlenlagen geknüpft sind; diese bilden im Gesteinsverband Inhomogenitätszonen, welche Ausweichbewegungen unter der Wirkung des Faltungsdrucks am wenigsten Widerstand entgegensezten. Als Bewegungshorizont hat offenbar vor allem die Grenze zwischen Kohle und Mergel gedient, besonders häufig scheinen sich Bewegungen in den Flözen an Bergmitteln abgespielt zu haben. Untergeordnet finden sich Bewegungsspuren auf Schichtflächen innerhalb der Kohle.

Schichtparallele Gleitungen senkrecht zur Streichrichtung haben glänzende Kohlenspiegel auf Schichtflächen innerhalb der Flöze und glänzende, oft unebene Harnischflächen an der Hangend- und Liegendgrenze der Kohle hervorgerufen. Die Harnischflächen tragen eine deutliche Striemung in Richtung der Ausweichbewegung parallel zum Faltungsdruck. Daneben ist öfter eine ebenso deutliche Striemung parallel zur Streichrichtung und senkrecht zum Faltungsdruck zu beobachten, offenbar hervorgerufen durch Ausweichbewegungen in Richtung der Faltenachse. Die Harnischflächen sind in diesen Fällen mit einem feinen, rechtwinkligen Gitterwerk von Bewegungsspuren bedeckt.

Auf den Gleitflächen finden sich heute Lagen zerriebenen und mit Kohle vermengten Mergels. Gestein und Kohle sind völlig zu flachen, glänzenden Schuppen zerschert. Diese Lagen werden von den Bergleuten „Letten“ genannt und sind unter diesem Namen auch in den Schichtenprofilen verzeichnet. Die „Letten“ bildeten sich nur auf dünnen kohligen Schichten im Nebengestein und auf geringmächtigen, mergelig-tonigen Einlagerungen im Flöz. Mergelige Bergmittel von über etwa 10 cm Mächtigkeit blieben unversehrt erhalten, Gleitungen spielten sich in diesem Falle an ihren Rändern ab. Die Pechkohle, der Stinkstein und die Gesteine im Hangenden und Liegenden verhielten sich bei diesen Bewegungen offenbar starr. Darauf deutet auch die unversehrte Feinschichtung im Mergel und in der Kohle hin.

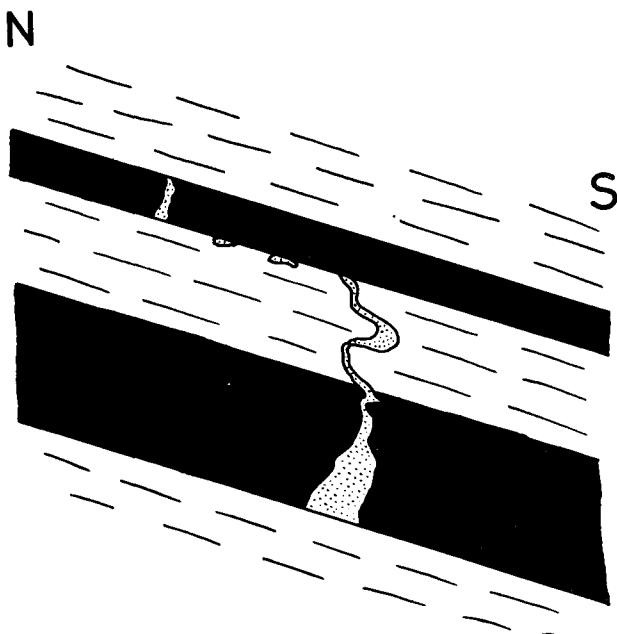


Abb. 6. Bei der Faltung zer-scherte sanderfüllte Spalte in Flöz 17 der Grube Peißenberg.

Der Betrag solcher schichtparalleler Verschiebungen war im Flöz 17 der Grube Peißenberg (Querschlag 1 Ost, 5. Sohle, Streb b°) zu erfassen. Im Flöz fanden sich sandsteinerfüllte Spalten, von den Bergleuten „Feuermuggel“ genannt. Die Spalten waren bis 15 cm breit, standen senkrecht zur Schichtfläche und ließen in nicht näher verfolgbarer Weise schräg zum Schichtstreichen. Einige hörten am Hangenden und Liegenden noch in der Kohle auf und zeichneten sich nur als Rinnen im Nebengestein ab, manche reichten aus dem Flöz ins Hangende und Liegende, wurden hier dünner und zeigten Scherfaltung mit teilweise abgewürgten Schenkeln (vgl. Abb. 6), wieder andere waren vom Hangenden und Liegenden durch die Kohle getrennt und bildeten rundliche oder langgestreckte Körper innerhalb des Flözes. Ihre Begrenzung war oft unregelmäßig; Sandstein und Kohle zeigten keine äußerlich erkennbaren Spuren ruptureller Deformation.

In dem Beispiel, welches auf Abb. 6 wiedergegeben ist, war zu beobachten, wie eine solche Spalte aus dem Flöz in das darüberliegende Bergemittel reichte und dort durch Schervorgänge gefaltet und gequetscht worden war. An der Basis der Oberbank des Flözes fanden sich über eine Strecke von 80 cm nach Norden abgequetschte Sandsteinfetzen, dann setzte sich die Spalte in die Oberbank des Flözes fort. Damit ergibt sich hier ein Verschiebungsbetrag von 80 cm zwischen Mittel- und Oberbank des Flözes.

Über die Herkunft des Sandsteins in den Spalten waren keine Beobachtungen möglich. Er gleicht einem Sandstein etwa 2 m im Liegenden des Flözes. Es wäre denkbar, daß zu einem frühen Zeitpunkt der Faltung, vor der Verfestigung des Gesteins, Spalten ins Liegende aufgerissen waren, auf denen der Sandstein in plastischem Zustand in die Spalte und die ebenfalls plastische Kohle eindrang.

Bei einem späteren Akt der Faltung wurde er zerschert, gequetscht und „schichtparallel verworfen“.

Bei diesen überall zu beobachtenden schichtparallelen Gleitungen handelt es sich um einfache Verschiebungen der einzelnen Schichtpakete gegeneinander; die verschobenen Einheiten blieben starr, innerhalb ihrer Grenzen erfolgte kein Materialtransport. Daneben stehen außergewöhnliche Massenbewegungen innerhalb der Flöze, die ebenfalls auf schichtparallele Gleitungen zurückgehen. Sie konnten in den Flözen 10/11 und 14 der Grube Peißenberg und in Flöz Großkohl der Grube Hausham beobachtet werden.

Ober- und Unterbank des Flözes 10/11 werden durch ein Bergemittel von geringer Mächtigkeit getrennt. Östlich des Querschlags m 2 handelt es sich nur um eine Lage von wenigen cm Mächtigkeit, die überall völlig verschiefert ist, also schichtparallelen Gleitungen als Bahn gedient hat. Auch die Flözteile in unmittelbarer Nachbarschaft des Bergmittels scheinen primär unreiner und damit weicher gewesen zu sein, sie sind deshalb teilweise mit verschiefert. Diese Trennschicht zwischen den beiden reinen Bänken des Flözes, der sogenannte „Schram“, ist etwa 20—30 cm mächtig und besonders leicht beim Abbau hereinzugewinnen.

Westlich des Querschlags m 2 nimmt das Bergemittel an Mächtigkeit zu, ist daher nicht mehr verschiefert und scheint äußerlich von tektonischen Einflüssen unberührt zu sein. Beim Abbau des Flözes 10/11 zwischen den Querschlägen m 2 und w 0 stieß man jedoch immer wieder auf Bereiche, in denen das Bergemittel über kurze Distanz zu außergewöhnlicher Dicke anschwoll. Stellenweise erreichte es 3 m Mächtigkeit, komplizierte den Abbau oder machte ihn teilweise unmöglich. Gelegentlich wurde die Ansicht vertreten, es handle sich hier um die Ausfüllungen von ehemaligen Flussläufen. Bei der Befahrung der Strecken und Strebe konnte ich jedoch nirgends Anzeichen von Erosion oder anderen, durch fließendes Wasser hervorgerufenen Erscheinungen beobachten. Ober- wie Unterbank des Flözes waren vielmehr unversehrt und änderten sich weder in ihrer Mächtigkeit noch in ihrer Zusammensetzung. Sie entfernten sich lediglich mehr oder weniger voneinander, um dem Bergemittel Raum zu geben. Dieses wiederum machte einen durchaus kompakten, festen Eindruck, Bewegungsspuren waren nicht zu beobachten. Das Gestein zeigte lediglich eine Klüftung an großen Flächen, die weder so häufig noch so im Raum orientiert waren, daß an ihnen ein Transport des Gesteins hätte erfolgen können.

Die Flözstrukturkarte der Markscheiderei Peißenberg, die aufgrund der inzwischen aufgenommenen ausgedehnten Aufschlüsse in Flöz 10/11 zusammengestellt worden ist, bietet die Möglichkeit, Lage und Gestalt dieser „Schieferzonen“ = Zonen ungewöhnlicher Mächtigkeit des Bergmittels näher zu untersuchen. Die Karte auf Beilage 6 stellt die Verhältnisse dar: Während die Mächtigkeit des „Schiefers“ in dem ganzen Gebiet zwischen den Querschlägen m 2 und w 0 im Allgemeinen unter 50 cm bleibt, ist der Mergel in schmalen, langgestreckten Zonen plötzlich zu sehr großer Mächtigkeit angehäuft. Diese Wülste liegen entweder parallel zum Streichen oder kreuzen es unter  $45^\circ$ . Die Art ihres Auftretens, ihre Lage zum Schichtstreichen und die übrigen Beobachtungen in diesem Gebiet lassen nur eine tektonische Deutung ihrer Entstehung zu.

Bei der Stoffbewegung, die zu diesen Gesteinsanhäufungen geführt hat, war die Diagenese offenbar noch nicht abgeschlossen, denn der Mergel in diesen

„Schieferzonen“ ist heute unversehrt. Die Bewegung ist durch gerichtete tektonische Spannungen verursacht worden, welche das Sediment mobilisierten und zum schichtparallelen Wandern veranlaßten. Da im Gestein später nochmals Klüfte entstanden und vermutlich gleichzeitig schichtparallele Bewegungen klastische Deformationen verursachten, muß die Stoffwanderung, die zur Bildung der „Schieferzonen“ führte, zu einem früheren Zeitpunkt der tektonischen Beanspruchung erfolgt sein. Die Lage dieser frätektonisch entstandenen Gebilde zeigt, daß die Richtung der tektonischen Spannungen am Beginn der Faltung die gleiche war wie an ihrem Ende.

In der Kohle sind Stoffbewegungen im plastischen Zustand in solchem Ausmaß nicht beobachtet worden. Untersuchungen von WEITHOFER (1920) in Penzberg und PETRASCHECK (1940) in Hausham und Penzberg zeigen aber, daß auch hier Bewegungen stattgefunden haben, deren Spuren äußerlich völlig verheilt und verschwunden sind. Bei einem Teil dieser Erscheinungen mag es sich um subaquatische Rutschungen handeln. PETRASCHECK (1940) beschreibt jedoch Internfalten und Mikrofältchen aus Flöz 22, Grube Penzberg, die tektonischer Entstehung sein sollen. Ich selbst konnte an dünnen Stinksteineinlagerungen in den Flözen 23 und 28, Grube Penzberg, in noch plastischem Zustand eingetretene Deformationen beobachten, die teilweise wohl auf subaquatische Rutschungen zurückgehen, in einzelnen Fällen aber offensichtlich tektonisch verursacht worden sind.

Während also Massenverlagerungen im plastischen Zustand in der Kohle nur geringes Ausmaß erreichen, kam es stellenweise zu weit bedeutenderen Deformationen, Gleitungen und Stauchungen klastischer Art. In der Grube Peissenberg entstanden so die sogenannten „Verdrückungszonen“ in Flöz 14. Es sind Zonen, in denen die Flözmächtigkeit durch tektonische Einwirkung auf weniger als 30 cm reduziert ist, ja manchmal bis auf 10 cm abnimmt. Die Kohle ist in den Verdrückungszonen verschiefert und zerquetscht, auch das Hangende und Liegende zeigt starke Wellung, Druckbeanspruchung und Harnischbildung. Daneben findet man stellenweise geringe Mächtigkeitszunahmen im Flöz durch Aufschuppung der Kohle. Sie wird besonders deutlich an den dachziegelartig übereinandergeschobenen Stinksteinbändern im Hangenden.

In extremem Ausmaße zeigen sich solche Ausquetschungen und Aufschuppungen der Kohle im Flöz Großkohl der Grube Hausham. Auch das Bergmittel war dort ähnlichen Vorgängen unterworfen. In einem Streb des Muldensüdflügels, nahe dem Muldenboden, konnte ich folgende Beobachtungen machen (Abb. 7): Das Flöz bleibt zunächst auf eine Strecke von etwa 80 m normal gelagert, die Kohle zeigt keine auffällige Schlechtenbildung, die Feinschichtung ist ungestört. Nach dieser Zone normaler Lagerungsverhältnisse nimmt die Kohle unvermittelt auf über 2 m Mächtigkeit zu. Liegendes und Hangendes scheinen sich auszubauchen, das gesamte Flöz ist an etwa  $30^{\circ}$  nach Süden fallenden Flächen übereinandergeschuppt. Die noch einigermaßen intakten Stinksteinbänder vermitteln den Eindruck, als sei das Flöz einfach zerhackt und schräg übereinandergestapelt worden.

Die Lage der Bewegungsflächen in dieser Stauchungszone konnte in einem Kluftdiagramm dargestellt werden (Diagramm 6, Abb. 13). Die Verschuppung ist demnach an zwei verschiedenen, deutlich ausgeprägten Flächensystemen erfolgt. Das Hauptsystem besteht aus einer Schar ost-west streichender, mit  $34^{\circ}$  nach Süden fallender Auf- oder Unterschiebungsfächen.

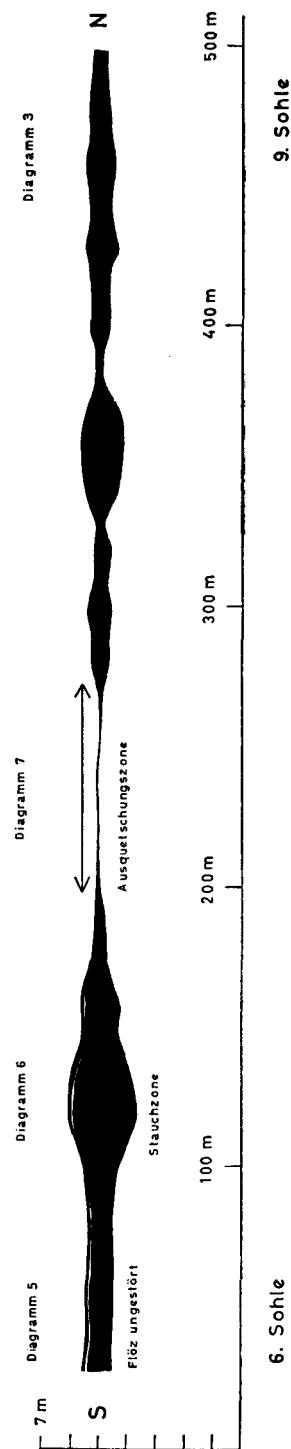


Abb. 7. Tekttonische Flözstauchungen im Flöz Großkohl Querschlag 2 West der Grube Hausham.

Zu der Flächenschar gehört in der Kohle keine Gegenschar, sie bildet hier also ein einschariges Kluftsystem. Daneben tritt ein Scherflächensystem auf mit den Flächen  $176^\circ/60^\circ$  E und  $176^\circ/50^\circ$  W. Dieses System tritt auch in der normal gelagerten Kohle auf und deutet, wie später dargelegt wird, auf eine Entstehung der Stauchung im Anfangsstadium der Faltung. Die aufgerichteten und abgerissenen Kohlenlagen zeigen Reste der Längs- und Querklüfte. Diese sind mit der Kohle verstellt worden und somit älter als die Scherklüfte. (Längs- und Querklüfte wurden bei der Aufnahme des Diagramms nicht mit aufgenommen). Die beiden Systeme von Bewegungsflächen treten nicht gleichzeitig in gleicher Bedeutung auf, es herrscht vielmehr jeweils entweder das Aufschiebung- oder das Schersystem vor. Das Verhältnis zwischen beiden wechselt mehrmals innerhalb der Stauchungszone.

Nach dieser Flözverdickung folgt eine Strecke starker Flözreduzierung. Die Kohle nimmt zunächst auf 30 cm ab, wird mehr und mehr mylonitisch und verschwindet schließlich völlig bis auf eine 5 cm mächtige Lage schiefrigen „Lettens“. Offenbar stammt aus diesem Gebiet die Kohle, die in der südlich daran anschließenden Stauchzone angehäuft ist. Die Kohle muß also von Norden nach Süden bewegt und an südfallenden Bewegungsflächen durch Unterschiebung zusammengestaucht worden sein.

Das sonst geringmächtige Bergemittel des Flözes nimmt offenbar in dieser Ausquetschungszone ebenfalls aus tektonischer Ursache große Mächtigkeit an und muß bis zu einer dünnen, hangenden Kohlenlage abgebaut werden. Das Diagramm 7, Abb. 14, zeigt die Lage der Bewegungsflächen in diesem Mergel. Die bevorzugt auftretenden Flächen  $10^\circ/60^\circ$  E und  $8^\circ/65^\circ$  W gehören zu dem Scherflächensystem, welches auch in der Kohle ausgebildet ist. Dazu tritt eine Schar von nordfallenden Auf- oder Unterschiebungsf lächen  $102^\circ/58^\circ$  N, welche man als Gegenflächen zu der Schar von Unterschiebungsf lächen in der Kohle auffassen kann. Welcher Art die Bewegungen an diesen Flächen waren, konnte nicht geklärt werden.

Ahnliche Flözverdickungen und -vertaubungen wiederholen sich in dem Streb bis zum Muldenboden mehrmals, am Muldenboden selbst herrschen wieder ungestörte Verhältnisse. Über den Verlauf der Stauchungs- und Ausquetschungszonen waren keine Beobachtungen möglich; er geht auch nicht aus den Flözgrundrissen hervor.

## 2. Kluft-(Schlechten-)Tektonik

Die Großstrukturen in der Faltenmolasse sind heute, besonders durch die Aufschluß- und Untersuchungsarbeiten des Bergbaus und der Ölindustrie, weitgehend geklärt. Neuere Darstellungen der Ergebnisse finden sich u. a. bei SCHMIDT-THOMÉ (1955), GILLITZER (1955), BREYER (1960). Über die Kleintektonik in der subalpinen Molasse liegen dagegen noch wenig Beobachtungen vor. WEITHOFER (1920) und PETRASCHECK (1940) haben erstmals Kleinfaltungen in der Pechkohle beschrieben; über die Klufttektonik im Gestein und in der Kohle ist bisher nichts bekannt geworden.

Da die Pechkohle eine ausgeprägte Schlechtenbildung zeigt, schien es lohnend, in den Flözen Kluftmessungen vorzunehmen. Wegen der Begrenztheit der zugänglichen Aufschlüsse war es jedoch nicht möglich, genügend Material aus den verschiedenen Mulden zusammenzutragen, um das kleintektonische Gefüge in der Pechkohle völlig zu erfassen und eine Analyse des Faltungsvorgangs durchzuführen. Die mitgeteilten Beobachtungen und Ergebnisse stellen so erst einen Beginn kleintektonischer Untersuchungen in der Faltenmolasse dar. Da durch den Bergbau ständig neue Aufschlüsse geschaffen werden, bleibt die Gelegenheit für weitere Untersuchungen. Manche Teile der Lagerstätten, wie z. B. die Flöze

in den steilen Muldenflügeln, sind allerdings schon völlig abgebaut und werden nicht mehr zugänglich werden. Sie wären für die weitere Klärung der Zusammenhänge zwischen Kleintektonik und Faltung wichtig gewesen.

Bei den nachfolgend beschriebenen Kluftdiagrammen aus den Flözen sind jeweils Messungen aus einem 100—200 m langen Streb in einem Diagramm vereinigt. Die meisten Diagramme stammen aus Streben mit Holzausbau, so daß Störungen der Magnetnadel ausgeschlossen sind. Eine Korrektur der Deklination ( $2^{\circ}$  W) erfolgte nicht, die Diagramme sind nach magnetisch Nord orientiert. Die Projektion erfolgte in allen Fällen in die untere Hälfte der Lagenkugel. Das Zeichen  $\oplus$  bezeichnet in den Diagrammen die Lage des Poles der Schichtflächen. Angaben von Streichen und Fallen beziehen sich auf die Schwerpunkte der Kluftmaxima. Alle Flächen, die in der gleichen Richtung streichen und fallen und gleichzeitig entstanden sind, werden als Kluftschär zusammengefaßt. Ein Kluftsystem besteht aus meist zwei, genetisch zueinandergehörigen Scharen.

In den Kohlenstreben der Gruben Peißenberg/Peiting, Penzberg und Hausham wurden insgesamt 25 Kluftdiagramme aufgenommen, von denen 12 als typische Beispiele auf den Abb. 8—19 wiedergegeben sind. In den Diagrammen lassen sich drei Systeme von Klüften unterscheiden; ein vierter Kluftsystem konnte außerdem im Flöz Großkohl der Haushamer Mulde festgestellt werden, wo es im Zusammenhang mit den bereits beschriebenen Stauchvorgängen in diesem Flöz in Erscheinung tritt. Die Kluftsysteme sind offenbar zeitlich und genetisch voneinander verschieden und gehören zu zwei Phasen der Faltung. In manchen Aufschlüssen sind nur Klüfte eines einzigen Systems zu beobachten, meist treten aber Flächen verschiedener Systeme gleichzeitig auf. In diesem Falle herrscht gewöhnlich ein Kluftsystem vor, manchmal sind jedoch alle Klüfte gleichwertig ausgebildet. Ob dabei Gesetzmäßigkeit eine Rolle spielen, konnte nicht geklärt werden.

Am weitesten verbreitet und in den meisten Fällen auch vorherrschend ist ein System von Quer- und Längsklüften (ac- und bc-Klüften). In besonders vollkommener Ausbildung war dieses System in einem Streb in Flöz 10/11 der Grube Peißenberg zu beobachten (Diagramm 1, Abb. 8):

Eine Kluftrichtung  $5^{\circ}/85^{\circ}$  W dominiert. Die Flächen streuen nur wenig um diesen Mittelwert, auf das Maximum des Diagramms entfallen über 30 % der Flächenpole. Die Klüftung ist am stärksten in der Glanzkohle ausgeprägt, sie ist auf engstem Raum von zahlreichen Klüften in oft nur Millimeter dicke Blättchen zerspalten. Gelegentlich treten auf diesen Querklüften „Augen“ auf (zu der Entstehung der Augen vgl. STACH 1926), in seltenen Fällen verdrängen die Augen der Klüftung. Das Auftreten von Augen konnte nur auf den Querklüften beobachtet werden. Die Kluftflächen sind völlig glatt, eben und ohne Bewegungsspuren. Häufig findet sich ein dünner Belag von Kalzit. In den unreinen Kohlenlagen und noch mehr im Stinkstein rücken die Klüfte weiter auseinander, reichen dafür aber über größere Entfernung. Kohle und Stinkstein lösen sich beim Abbau vor allem nach diesen Flächen aus dem Flöz und brechen in flachen, länglichen Stücken in den Streb herein. Diese Stücke werden bei der „Stinksteinkohle“ im hangenden Teil des Flözes über einen Meter lang.

Senkrecht auf dieser Hauptschar der Querklüfte (ac-Klüfte) steht eine weniger deutlich und häufig ausgebildete Gegenschar von Längsklüften (bc-Klüften) mit einem Maximum bei  $90^{\circ}/65^{\circ}$  N. Die Flächen sind unregelmäßig ausgebildet und brechen nicht so glatt, vor allem deswegen, weil sie von den sehr eng stehenden ac-Klüften zerschnitten werden.

Trotz der intensiven Klüftung ist die Kohle völlig regelmäßig gelagert. Bewegungen oder Versetzungen sind weder an den Klüften noch sonst in der Kohle zu beobachten. Lediglich an der Liegeng- und Hangengrenze des Flözes findet man Spuren schichtparalleler Gleitung.

Quer- und Längsklüfte stehen immer senkrecht zur Schichtfläche und senkrecht und parallel zum Schichtstreichen. Wie sich innerhalb der Grube Peißenberg/Peiting gut verfolgen ließ, folgen sie jeder Änderung im Streichen der

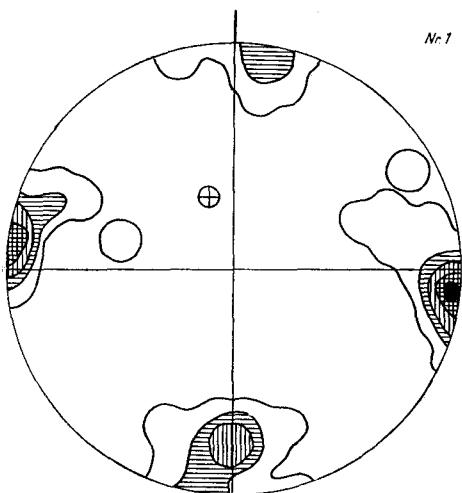


Abb. 8. Grube Peiting, Querschlag 6 m 2,  
Flöz 10/11 b<sup>4</sup>; 100 Pole, über 30 %, 20—  
30 %, 10—20 %, 5—10 %, 0—5 %.

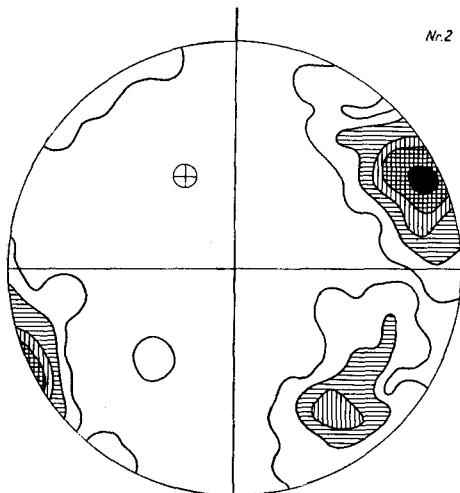


Abb. 9. Grube Peiting, Querschlag 5 w 3,  
Flöz 2 a<sup>0</sup>—a<sup>4</sup>; 113 Pole, über 20 %, 10—  
20 %, 6—10 %, 3—6 %, 0—3 %.

Schichtung. So zeigt das Diagramm 2 (Abb. 9) welches am Westende des Peitinger Grubenreviers in Flöz 2 aufgenommen wurde, die Kluftmaxima der ac- und bc-Klüfte bei  $165^{\circ}/80^{\circ}$  SW und  $55^{\circ}/65^{\circ}$  NW. Dies entspricht dem hier, auf der Westflanke des Peißenberger Überschiebungsbogens, herrschenden südwestlichen Schichtstreichen.

Die ac-Klüfte erscheinen auch in der Mehrzahl der übrigen Diagramme, in Diagramm 4 und 5 gleichwertig mit einem Scherkluftsystem (Okl-Kluftsystem), in den Diagrammen 8, 9 und 10 neben diagonalen Kluftscharen.

Genetisch sind die Quer- und Längsklüfte als Zerr- und Dehnungsklüfte anzusprechen, die am Beginn der tektonischen Beanspruchung bei söhliger Schichtlagerung entstanden sind. Bei der folgenden Faltung wurden die Flächen aus ihrer senkrechten Stellung und der nord-südlichen und ost-westlichen Streichrichtung herausrotiert. Für die frühe Entstehung spricht auch, daß die bc-Klüfte

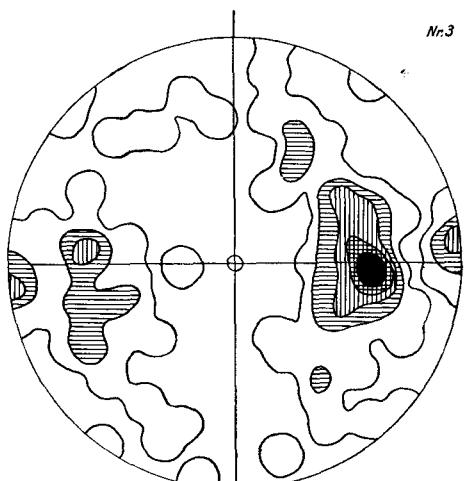


Abb. 10. Grube Hausham, Querschlag 2 West, 9. Sohle, Flöz Großkohl, Südflügel, Kohle im Strebfuß; 102 Pole, über 10 %, 8—10 %, 5—8 %, 3—5 %, 0—3 %.

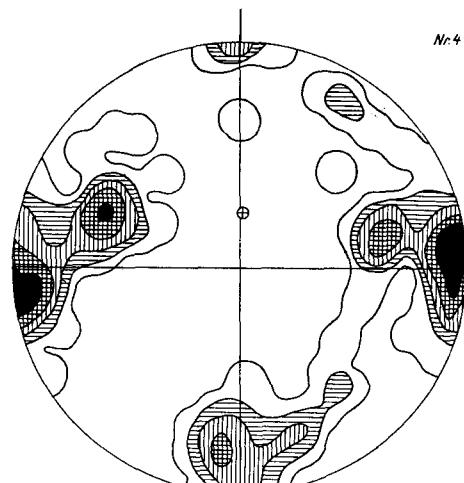


Abb. 11. Grube Penzberg, Flöz 23, Streb Nord 1; 158 Pole, über 8 %, 5—8 %, 3—5 %, 2—3 %, 0—2 %.

in der flachen Lagerung am Muldenboden besser ausgebildet sind als in höheren Teilen der Mulde. BOLSENKÖTTER (1955) machte an Flözen des Ruhrkarbons die gleiche Beobachtung und erklärt diese Erscheinung dadurch, daß diese Längsfugen bei der Faltung in der steilen Lagerung überprägt wurden und dadurch ihren primären Reißfugencharakter verloren.

Neben dem System der ac- und bc-Klüfte tritt in vielen Diagrammen ein auf die Schichtfläche bezogenes Scherflächensystem mit ursprünglich Nord-Süd streichender Scherachse auf (Okl-Klüfte). Die Klüfte sind oft ähnlich vollkommen ausgebildet wie die ac-Klüfte, zeigen jedoch immer Bewegungsspuren in bc, parallel zum ehemaligen Einfallen der Flächen.

In einem Aufschluß in Flöz Großkohl der Grube Hausham in söhlicher Schichtlagerung (Diagramm 3, Abb. 10) war dieses Okl-Klüftsystem in ursprünglicher räumlicher Lage anzutreffen. Die Kohle zeigte eine intensive Klüftung fast ausschließlich nach diesem Schersystem. Die Flächen streichen Nord-Süd und fallen mit etwa 60° nach Ost und nach West ein. Die nach Westen fallende Flächenschar kommt in dem Diagramm übermäßig stark zum Ausdruck. Dies

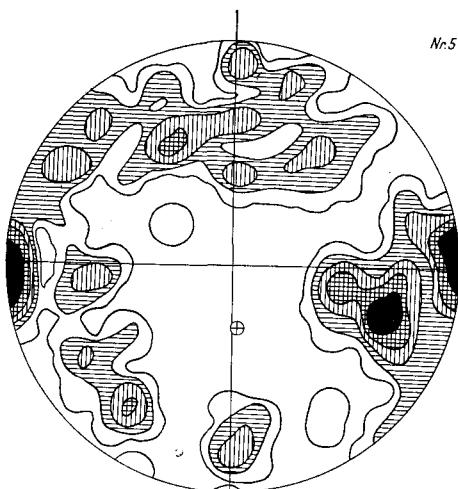


Abb. 12. Grube Hausham, Querschlag 2 West, 6. Sohle, Flöz Großkohl, Südfügel, Kohle im Strebkopf; 156 Pole, über 6 %, 4—6 %, 3—4 %, 1,5—3 %, 0—1,5 %.

entspricht nicht den tatsächlichen Verhältnissen, vielmehr tritt durch die Lage des Kohlenstoßes die nach Westen fallende Flächenschar häufiger und besser in Erscheinung, während die Gegenklüfte schwer einzumessen sind.

In Diagramm 4 (Abb. 11), das in der Grube Penzberg auf dem Muldennordflügel aufgenommen wurde, tritt das Okl-Kluftsystem neben dem System der ac- und bc-Klüfte gleichwertig in Erscheinung. Die Okl-Klüfte wie auch die bc-Klüfte sind um den Betrag der Schichtenaufrichtung bei der Faltung aus ihrer ursprünglichen Lage herausrotiert worden. Die zugehörigen Maxima liegen heute bei  $23^\circ/55^\circ$  SE und  $168^\circ/55^\circ$  NW (Okl-Klüfte), sowie bei  $95^\circ/70^\circ$  N (bc-Klüfte); die ac-Klüfte haben bei der Rotierung ihre Lage nicht verändert.

In Diagramm 5 (Abb. 12), aufgenommen auf dem Südfügel der Haushammer Mulde, zeigt sich die gleiche Erscheinung: die Okl-Klüfte sind ebenfalls um den Betrag des Schichteneinfalls aus der ursprünglichen Lage herausgedreht. Außerdem zeigt sich in dem Diagramm eine starke Häufung von ac-Klüften und, etwas verwaschen, eine Schar eines hOl-Kluftsystems.

Diese Rotierung der bc- und der Okl-Klüfte bei der Faltung ist der Beweis dafür, daß beide Flächensysteme vor Beginn der Schichtenaufrichtung angelegt worden sind und bei der Faltung ihrer ursprünglichen Lage herausgedreht wurden.

Während Okl-Klüfte überall in den untersuchten Kohlenflözen zu beobachten waren, konnte ich hOl-Klüfte, Scherklüfte mit Ost—West streichender Scherachse, nur in einem Streb in Flöz Großkohl der Grube Hausham feststellen. Sie haben dort zusammen mit den Okl-Klüften als Bahn für den Materialtransport bei den Stauchungen und Ausquetschungen in diesem Flöz gedient (vgl. Abb. 7 und S. 39). Die Diagramme 6 und 7 (Abb. 13 und 14), die in diesen Stauchzonen in der Kohle und im Mergel aufgenommen wurden, zeigen eine erstaunlich gute Flächenregelung in der äußerlich völlig wirr erscheinenden gestauchten Partie des Flözes. Diese Zone ist zugleich die einzige Stelle, an der ein bemerkenswerter Materialtransport an Scherklüften in der Kohle festgestellt werden konnte. Die aufgerichteten und überschobenen Kohlenlagen zeigen bereits die Quer- und Längsklüftung. Obwohl Quer- und Längsklüfte sowie Scherklüfte am Anfang der Faltung entstanden sind, lässt sich an dieser Stelle doch auch ein zeitlicher Unterschied zwischen beiden Kluftarten feststellen.

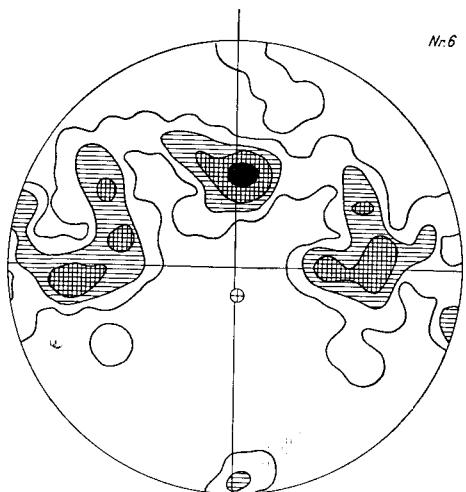


Abb. 13. Grube Hausham, Querschlag 2 West, Flöz Großkohl, Südfügel, tektonische Flözverdickung bei 120 m; 94 Pole, über 8 %, 5—8 %, 3—5 %, 0—3 %.

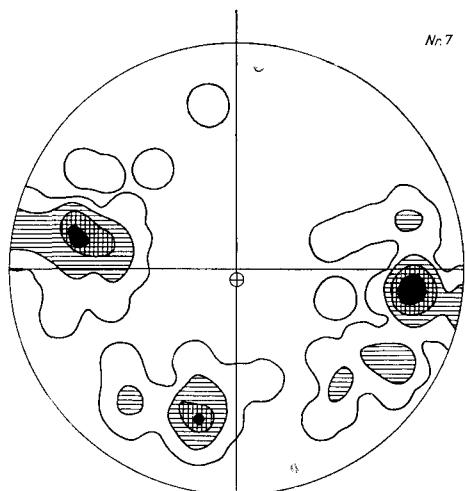


Abb. 14. Grube Hausham, Querschlag 2 West, Flöz Großkohl, Südfügel, mächtiges Bergmittel bei 250 m; 70 Pole, über 8,5 %, 7—8,5 %, 4—7 %, 0—4 %.

Genetisch sind die Okl- und hOl-Klüfte als Scherklüfte zu deuten, welche am Anfang der Faltung bei söhlicher Schichtlagerung entstanden sind und die Spannungen ausglichen, die in Richtung des Faltungldrucks und senkrecht dazu wirkten. Dabei kam es in Richtung des Faltungldrucks an hOl-Flächen zu beträchtlichen Massenverlagerungen. Die ac- und bc-Klüfte waren zu diesem Zeitpunkt schon vorhanden.

Außer den bisher beschriebenen ac-, bc-, hOl- und Okl-Klüften beobachtet man überall diagonal streichende, steile Kluftscharen. Im Gegensatz zu den übrigen Klüften zeigen sie keine Abhängigkeit von der Lage der Schichtflächen, sie sind also durch die Faltung nicht rotiert worden. Die Diagramme 8—12 bringen Beispiele für die Lage solcher Diagonalkluftscharen.

In Diagramm 8 (Abb. 15) aus Flöz 14 der Grube Peißenberg tritt eine Diagonalkluftschar  $114^\circ/74^\circ$  NE gleichwertig neben ac-Klüften auf; zwischen den Maxima der beiden Scharen liegen untergeordnet weitere Häufungen von Diagonalklüften. Die Diagonalklüfte zeigen wie die Scherklüfte meist Bewegungsspuren.

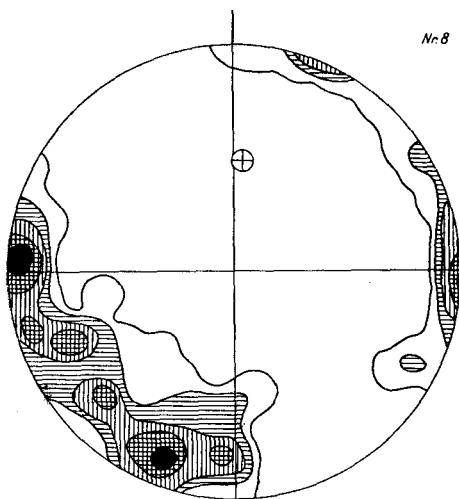


Abb. 15. Grube Peißenberg, Querschlag  
6 m 2, Flöz 14 b<sup>4</sup>; 100 Pole, über 10 %,  
7—10 %, 5—7 %, 3—5 %, 0—3 %.

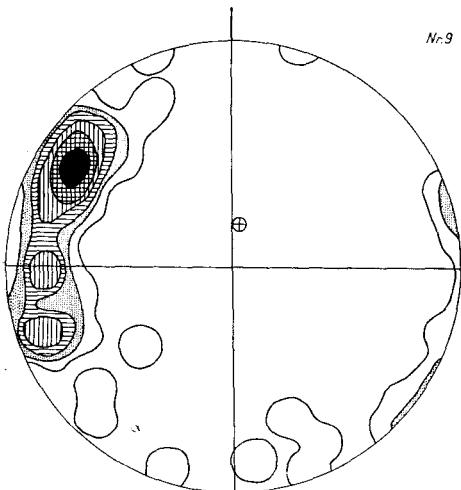


Abb. 16. Grube Penzberg, Flöz 28, Streb  
Nord; 94 Pole, über 17 %, 13—17 %, 8,5  
—13 %, 6,5—8,5 %, 3—6,5 %, 0—3 %.

In Diagramm 9 (Abb. 16) aus Flöz 28 der Grube Penzberg erscheint vorherrschend ebenfalls eine Diagonalkluft  $33^\circ/71^\circ$  E. Wie in Diagramm 8 sind die Flächen groß, etwas unregelmäßig ausgebildet und tragen Harnische. Für den Abbau des Flözes in diesem Streb ist die Diagonalkluft die wichtigste Fläche. ac-Klüfte und weitere Diagonalklüfte treten untergeordnet auf.

In Diagramm 10 (Abb. 17) aus Flöz 10/11 der Grube Peißenberg tritt als Hauptkluft eine Fläche von  $33^\circ/66^\circ$  E in ähnlicher Lage wie in Diagramm 9 in Erscheinung. Die Flächen sind in der Kohle und im Stinkstein vollkommen glatt und ohne Bewegungsspuren ausgebildet. Möglicherweise handelt es sich hier um eine Schar des Okl-Kluftsystems, die nach Abschluß der Faltung durch diagonale Spannungen nochmals „belebt“ und verstellt wurde. Im Übrigen finden sich die gleichen Nebenhäufungen von Klüften wie in Diagramm 9.

In einem Streb in Flöz Philipp II der Grube Hausham war es möglich, die Lage solcher diagonalen Kluftscharen über einen größeren Teufenbereich bei verschiedenem Einfallen des Flözes zu verfolgen. Auf Diagramm 11 und 12 (Abb. 18 und 19) ist die Lage der Kluftflächen bei steilem und bei mäßigem Einfallen des Flözes auf dem Muldensüdflügel dargestellt. Trotz sehr unter-

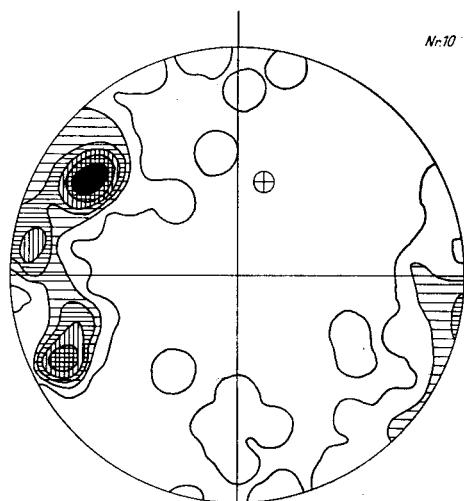


Abb. 17. Grube Peißenberg, Querschlag  
6 m 2, Flöz 10/11 a<sup>6</sup>; 148 Pole, über 12 %,  
10—12 %, 8—10 %, 6—8 %, 3—6 %, 0  
—3 %.

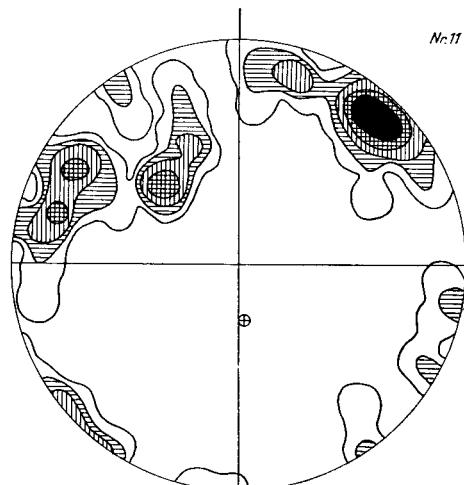


Abb. 18. Grube Hausham, Flöz Philipp II,  
Grundstrecke 11. Sohle und Aufhauen zur  
9. Sohle; 79 Pole, über 10 %, 7,5—10 %,  
5—7,5 %, 2,5—5 %, 0—2,5 %.

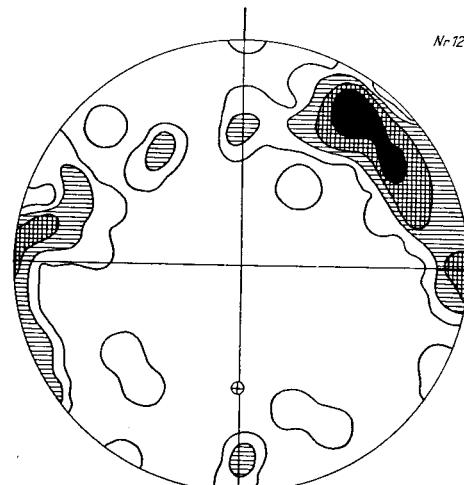


Abb. 19. Grube Hausham, Flöz Philipp II,  
Rammstreb 1 Ost; 72 Pole, über 8 %, 5—  
8 %, 3—5 %, 0—3 %.

schiedlichen Schichteneinfallens liegen die Kluftmaxima an der gleichen Stelle bei  $113^{\circ}/74^{\circ}$  SW. Bei einer Rückrotierung der Flächenpole im Diagramm auf söhligie Schichtlagerung rücken die Kluftmaxima auseinander. Daraus ist zu erkennen, daß diese Diagonalklüfte tatsächlich erst nach dem Abschluß der Faltung entstanden sind.

Genetisch und zeitlich sind die steilen Diagonalklüfte also den aus der Großtektonik der Molassemulden bekannten Diagonalsprünge zuzuordnen. Wie diese sind sie in einem letzten Akt des tektonischen Geschehens nach dem Abschluß der Faltung und Muldenbildung entstanden und stellen so gegenüber den früh angelegten Quer-, Längs- und Scherklüften eine zweite, spätere Kluft-generation dar.

### **3. Die Kleintektonik in den Flözen der Faltenmolasse und ihre Beziehung zur Großtektonik**

Brüche, Verstellungen und Überschiebungen am Ende der Faltung formten das heutige Bild des Muldenbaues in der Faltenmolasse, überprägten jedoch teilweise frühere Strukturen und ihr Abbild in der Kleintektonik. Trotzdem lassen sich folgende zeitlich verschiedene tektonische Phasen erkennen, denen bestimmte kleintektonische Erscheinungen zugeordnet sind.

1. In einem sehr frühen Stadium des tektonischen Geschehens bewirkte der erste, gerichtete Faltungsdruck eine Mobilisierung des teilweise noch unverfestigten Sediments. Bei horizontaler Lagerung der Schichten begann es an geeigneten Stellen schichtparallel zu wandern und häufte sich zu Wülsten an. Diese ordneten sich in die Richtungen ein, in welchen das Gestein auch in festem Zustand auf tektonische Beanspruchung reagiert: sie liegen in Richtung der Faltenachse und in den Richtungen der Diagonalklüfte. Gleichzeitig rissen diagonale Spalten auf, die dem Sediment auch Gelegenheit zu vertikalen Wanderungen gaben. Beispiele für diese Vorgänge sind die „Schieferzonen“ in Flöz 10/11 und die „Feuermuggel“ in Flöz 17.

2. Nach der diagenetischen Verfestigung des Sediments bildeten sich bei flacher Lagerung der Schichten bankrechte Klüfte senkrecht und parallel zum Streichen der späteren Muldenachse. Sie wurden hervorgerufen durch die Dehnung in Richtung der Muldenachse, einer Ausweichbewegung gegenüber dem Faltungsdruck. Diese Klüfte treten in fast allen Flözen auf und sind auch im Nebengestein zu beobachten. In den meisten Fällen bilden sie das Hauptkluftsystem. Die beiden Kluftscharen sind ungleichwertig. Senkrecht zum Streichen der Muldenachse und der Schichten verlaufen sehr zahlreiche, glatte und oft mit Kalzit belegte Querklüfte ohne Bewegungsspuren. Die Längsklüfte treten sowohl an Häufigkeit als auch an Vollkommenheit dagegen zurück.

Das Kluftsystem entspricht nach Ausbildung, Entstehungszeit und Entstehungsursache den aus vielen anderen Gebieten beschriebenen Quer- und Längsklüften. SCHMIDT-THOMÉ (1937) hat die gleiche strenge Beziehung zum Schichtstreichen und auch die Ungleichwertigkeit der beiden Kluftscharen an den Klüften im Buntsandstein von Helgoland beobachtet. BOLSENKÖTTER (1955) fand sie in den Flözen des Ruhrgebiets und bezeichnete sie dort als a 1- und a 2-Klüfte. Auch die Ergebnisse der genannten Autoren sprechen für eine Entstehung dieser Klüfte bei horizontaler Schichtlagerung.

3. Etwa gleichzeitig mit diesem Längs- und Querkluftsystem entstanden auf die Schichtflächen bezogene Scherkluftsysteme mit Scherachsen senkrecht und parallel zur Faltenachse (Okl- und hOl-Klüfte). Auch diese Kluftsysteme gehen auf Zerrungs- und Einengungsvorgänge parallel und senkrecht zum Faltungldruck zurück. Bei beginnender Auffaltung traten diese Scherflächen stellenweise als Gleitbahnen für rupturellen Stofftransport innerhalb der Flöze in Aktion; es bildeten sich so die Flözstauchungen in Flöz Großkohl. Etwa gleichzeitig dürfte es zu den schichtparallelen Gleitungen gekommen sein, deren Spuren weitverbreitet zu beobachten sind.

Zu Beginn der Faltung entstandene diagonale Schersysteme, wie sie z. B. M. RICHTER (1958) postuliert, konnten nicht beobachtet werden. Die Flächen der beschriebenen Schersysteme wurden vielmehr erst durch die Schichtenaufrichtung bei der Faltung in diagonale Streichrichtung rotiert und traten zum Teil am Ende der Faltung als Diagonalklüfte neu in Aktion.

4. In der Schlußphase der Molassefaltung entstanden die großen Überschiebungen, Diagonalsprünge und Querverwerfungen, denen die Faltenmolasse ihre heutige Großstruktur verdankt. Gleichzeitig mit ihnen bildeten sich diagonal streichende, steil fallende Kluftscharen, die meist ohne zugehörige Schar von Gegenflächen auftreten. Sie sind nicht überall gleichmäßig verbreitet, sondern hängen ab von Störungen in ihrer Nachbarschaft. Wegen ihrer Entstehung am Ende der Faltung haben sie auch keine Beziehung zur Schichtfläche.

Die Auffassung SCHMIDT-THOMÉS (1954), daß die Diagonalstörungen und (diagonalen) Scherklüfte im Nordteil der nördlichen Kalkalpen am Schluß der Faltung entstanden sind, gilt also auch für die Faltenmolasse. Die Erkenntnis einer zweiten, früheren Kluftgeneration ist kein Widerspruch zu seiner Darstellung. Vermutlich würde sich eine solche frühe Gruppe von Klüften bei geeigneten Beobachtungsmöglichkeiten auch in den nördlichen Kalkalpen nachweisen lassen.

## D. Ergebnis

Die Schichtglieder der gefalteten Molasse sind einem raschen Fazieswechsel unterworfen, der stratigraphische Untersuchungen erschwert. Dies gilt in besonderem Maße für die châtisch-aquitane „Untere Süßwasser-Molasse“. Die Sedimentserie zwischen der Unteren und der Oberen Meeresmolasse ist nur im Allgäu in geschlossener Folge im Bereich des Süßwassers abgelagert worden; im östlichen Oberbayern ist sie dagegen durch marine Schichten vertreten. Zwischen diesen beiden Faziesgebieten erfolgt eine intensive Verzahnung und ein dauernder Wechsel zwischen Schichten fluviatil-terrestrischer, brackischer und mariner Fazies.

In diesem Übergangsgebiet ist zwischen der festländischen Fazies im Westen und der marinen Fazies im Osten als überleitendes Glied die brackische Fazies der „Cyrenenschichten“ ausgebildet. Mit ihr stellen sich bauwürdige Pechkohlenflöze ein, welche die Grundlage des oberbayerischen Kohlenbergbaus bilden. Durch ihn sind in diesen Übergangsschichten ausgedehnte Aufschlüsse geschaffen worden, die es erlauben, die stratigraphischen, faziellen und tektonischen Verhältnisse eingehender zu untersuchen.

Die westlichsten Vorkommen brackischer Schichten sind in der Gegend des Lechs im Bergwerk Peiting aufgeschlossen. Die produktive Fazies wird hier noch durch eine schmale Einlagerung in den mächtigen Serien der festländischen „Bunten Molasse“ vertreten. Von hier an ist eine bedeutende Mächtigkeitszunahme der brackischen Fazies nach Osten und das Einsetzen mariner Schichten bis zum Peißenberger Ostfeld zu beobachten. Von da ab bis zum Penzberger Grubenrevier fehlen jegliche Aufschlüsse. Veranlaßt vor allem durch die Ergebnisse der Bohrungen im Peißenberger Ostfeld gelangte ich zu einer Deutung der Stratigraphie und Faziesentwicklung in diesem unerschlossenen Gebiet, die von der bisherigen Betrachtungsweise abweicht: Der Obere und Untere Glassand von Penzberg ist älter als faziell gleichartige Horizonte im Peißenberger Revier.

Durch den Vergleich von Schurf- und Querschlags-Profilen wurden auch die flözführenden Schichten der Hausham-Mariensteiner Mulde mit den Schichten in der Peißenberger und Nonnenwald-Mulde in stratigraphische Beziehung gesetzt. Die kohleführende Zone lagert im Osten stratigraphisch wesentlich tiefer als im Gebiet von Peißenberg und Penzberg. Das Echelsbacher Flöz der Rottenbucher Mulde entspricht dem Mariensteiner Flöz 5. Die Haushamer Philippsflöze liegen ca. 70 m weiter im Hangenden. Beide Flözhorizonte lassen sich schlecht ausgebildet auch in der Penzberger Mulde wiedererkennen. Sie liegen über 1000 m tiefer als die dort in Abbau befindliche Flözzone.

Die Flözbildung selbst ist immer mit der brackischen Fazies des Nebengesteins verknüpft. Man gelangt zu der Vorstellung eines wattenähnlichen Gebietes mit nur sporadischer, seichter Brackwasserbedeckung als Flözbildungsraum. Die Flözbildung selbst erfolgte jedoch ausnahmslos im Süßwasserbereich, wenn die Bedingungen für die Bildung ausgedehnter Moore erfüllt waren.

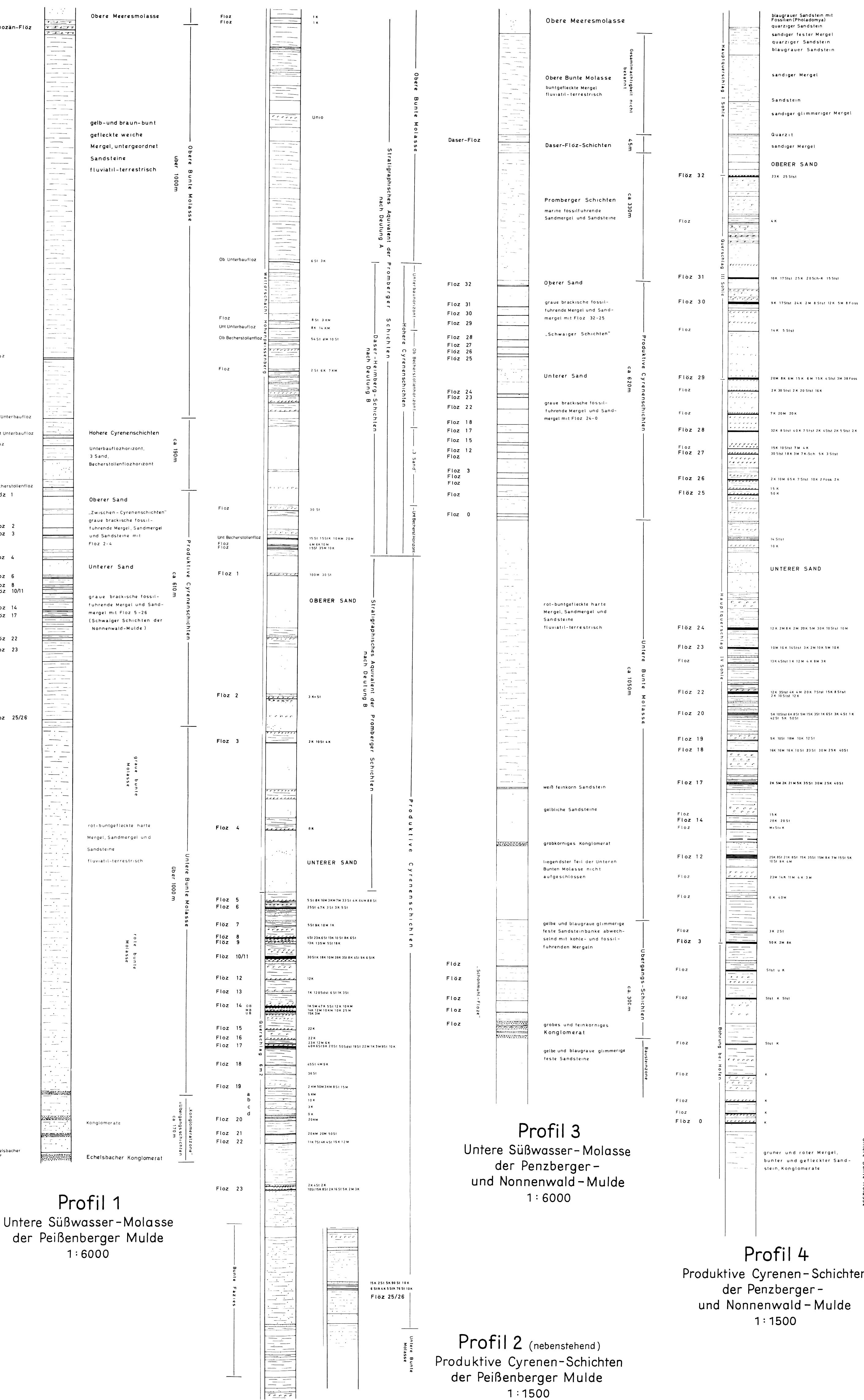
Die Fazies und Mächtigkeitsverhältnisse in der Kohlebildung lassen bereits primäre Senkungs- und Schwellenbereiche im Bildungsraum der Kohle erkennen. Sie fallen mit den bei der Gebirgsbildung herausgebildeten Faltenelementen zusammen: Die Senkungsbereiche mit am mächtigsten, aber auch am unreinsten entwickelter Kohle nehmen die Kernbereiche der bei der Gebirgsbildung entstandenen Mulden ein.

Tektonische Ereignisse deuten sich bereits in einem vor- oder frühdiagenetischen Stadium an: Vielleicht noch vor der Kluftbildung kam es zu Mobilisierungen des unverfestigten Gesteins. Die Analyse der klufttektonischen Erscheinungen zeigt die Existenz von mindestens zwei und örtlich auch drei zeitlich verschiedenen Kluftgenerationen. Vor Beginn der eigentlichen Faltung entstanden als früheste Bildungen Quer- und Längsklüfte. Immer noch bei horizontaler Schichtlagerung folgte danach die Bildung von Schersystemen mit horizontaler, senkrecht und parallel zur Faltungsachse streichender  $\beta$ -Achse (Okl- und hOl-Klüfte). Erst nach Abschluß der Schichtaufrichtung bildeten sich diagonale Scherklüfte in Zusammenhang mit diagonalen Störungen als letzte Folge der tektonischen Spannungen heraus.

## E. Schrifttum

- BÄRTLING, R.: Die Molasse und das Glacialgebiet des Hohenpeissenberges und seiner Umgebung. — *Geogr. Jh.*, **16**, 1903, S. 33—62, München 1905.
- BOLSENKÖTTER, H.: Feintecktonische Untersuchungen an Schlechten und Klüften in Steinkohlenflözen des Ruhrgebietes. — *Geol. Rdsch.*, **44**, S. 443—472, Stuttgart 1955.
- BREYER, F.: Versuche zur geologischen Deutung der reflexionsseismischen Messungen in der gefalteten Molasse Bayerns. — *Bull. Ver. Schweizer. Pretol.-Geol. u. Ing.*, **25**, Nr. 68, S. 29—35, 1958.
- BRUNNER, M. & G. LENSCHE: Kleintektonische Untersuchungen in der Faltenmolasse Südbayerns. — Vortrag bei der Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bad Tölz 1960.
- BUBNOFF, S. V.: Rhythmen, Zyklen und Zeitrechnung in der Geologie. — *Geol. Rdsch.*, **35**, Stuttgart 1947.
- ERNST, W. & H. WERNER: Die Bestimmung der Salinitätsfazies mit Hilfe der Bor-Methode. — Glückauf, **96**, H. 17, Essen 1960.
- GANSS, O. & P. SCHMIDT-THOMÉ: Die gefaltete Molasse am Alpenrand zwischen Bodensee und Salzach. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **105**, S. 402—495, Hannover 1955.
- GILLITZER, G.: Geologie des Südgebietes des Peissenberger Kohlenreviers. — *Jb. k. u. k. Geol. R.-A.*, **64**, Wien 1914.
- Geologische Neuaufnahme des Peissenberger Kohlenreviers. — *Geologica Bavaria*, Nr. 23, 64 S., München 1955.
  - Geologische Lagerung der Pechkohlenformation im Peissenberger Ost- und Penzberger Westfeld sowie mutmaßlicher Zusammenhang der Flözzüge. — *Geol. Jb.*, **72**, S. 639—650, Hannover 1957.
- HAGN, H. & O. HÖLZL: Geologisch-paläontologische Untersuchungen in der subalpinen Molasse des östlichen Oberbayerns zwischen Prien und Sur mit Berücksichtigung des im Süden anschließenden Helvetikums. — *Geologica Bavaria*, Nr. 10, 206 S., München 1952.
- Zur Grenzziehung Katt/Aquitane in der bayerischen Molasse. — *N. Jb. Geol. Paläontol., Mh.*, 1954, S. 1—40, Stuttgart 1955.
- HARTMANN, E.: Geologie der Peissenberger Pechkohlen-Mulde. — *Abh. geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt*, H. 30, S. 23—46, München 1938.
- HÖLZL, O.: Ein neues Profil durch das Unter- und Mittel-Miozän der oberbayerischen Molasse bei Peissenberg und deren Fauna. — *Geologica Bavaria*, Nr. 17, S. 181—215, München 1953.
- Die Corbiculidae der oligozänen und miozänen Molasse Oberbayerns. — *Geologica Bavaria*, Nr. 29, 84 S., 6 Abb., 7 Taf., München 1957.
- JESSEN, W.: Das Ruhrkarbon (Namur C ob. — Westfal C) als Beispiel für extratellurisch verursachte Zyklizitäts-Erscheinungen. — *Geol. Jb.*, **71**, S. 1—20, Hannover 1956.
- KOEHNE, W.: Über die neueren Aufschlüsse im Peissenberger Kohlenrevier. — *Geogr. Jh.*, **22**, 1909, S. 303—312, München 1910.
- Zur Stratigraphie und Tektonik des oberbayerischen Oligozän. — *Geol. Rdsch.*, 3, S. 407—413, Leipzig 1912.
- KORSCHELT, F.: Die Haushamer Mulde östlich der Leitzach bei Miesbach. — *Geogr. Jh.*, **3**, 1890, S. 44—64, Cassel 1890.
- LANDERGREN, S.: Contribution to the geochemistry of Boron. — *Arkiv Kemi*, 19 A, 1945.
- LENSCHE, G.: Die geologischen Verhältnisse über Tage sowie Faziesentwicklung, Flözausbildung und Kleintektonik unter Tage im Peissenberg-Peitinger Kohlenrevier. — *Ungedr. Dipl.-Arb. Techn. Hochschule München*, 1956.
- Flözausbildung und Nebengesteinsfazies im oberbayerischen Pechkohlenrevier. — Glückauf, Essen 1958.
- PETRASCHECK, W. E.: Das tektonische Gefüge alpiner Glanzbraunkohlen. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **92**, S. 441—449, Berlin 1940.

- QUITZOW, H. W.: Die Sedimentationsrhythmen der jüngeren Braunkohlenformation. — N. Jb. Geol. Paläontol., Mh., 1955.
- RICHTER, M.: Die Gliederung der subalpinen Molasse. — N. Jb. Mineral. usw., **83**, Beil.-Bd., Abt. B, S. 1—45, Stuttgart 1940.
- Über Dehnung und Längung der Gebirge während der Faltung. — Geologie, **7**, 1958.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Der tektonische Bau und die morphologische Gestaltung von Helgoland. — Abh. u. Verh. Naturwiss. Ver. Hamburg, N. F. I, Hamburg 1937.
- Klufttektonik und Großstrukturen in den nördlichen Kalkalpen. — Geol. Rdsch., **42**, S. 172—187, Stuttgart 1954. — [1954 a].
- Der alpine Raum. — In: Erläuterungen zur Geol. Karte von Bayern 1 : 500 000. München 1954. — [1954 b].
- Die subalpine Molasse zwischen Bodensee und Salzach. — In: Erläuterungen zur Geol. Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse 1 : 300 000. München 1955.
- STACH, E.: Zur Petrographie und Entstehung der Peißenberger Pechkohle. — Z. deutsch. geol. Ges., **77**, 1925, S. 260—299, Berlin 1926.
- STEPHAN, W.: Zur zyklischen Gliederung der flözführenden Molasse in Oberbayern. — Vortrag bei der Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bad Tölz 1960.
- STUCHLIK, H.: Die Faziesentwicklung der südbayerischen Oligozänmolasse. — Jb. k. u. k. Geol. R.-A., **56**, Wien 1906.
- WEITHOFER, K. A.: Zur Kenntnis der oberen Horizonte der oligozänen Brackwassermolasse Oberbayerns und deren Beziehungen zur miozänen (oberen) Meeresmolasse im Gebiete zwischen Inn und Lech. — Verh. k. u. k. Geol. R.-A., **10**, Wien 1899.
- Über neuere Abschlüsse in den jüngeren Molasseschichten Oberbayerns. — Verh. k. u. k. Geol. R.-A., **15**, Wien 1912.
- Die Entwicklung der Anschauungen über Stratigraphie u. Tektonik im oberbayer. Molassegebiet. — Geol. Rdsch., **5**, S. 65—77, Leipzig 1915.
- Die Oligozänablagerungen Oberbayerns. — Mitt. Geol. Ges. Wien, **10**, Wien 1917.
- Das Pechkohlengebiet des bayerischen Voralpenlandes und die Oberbayerische AG für Kohlenbergbau. Denkschrift München 1920.
- Die Promberger Schichten der oberbayerischen Molasse. — Zbl. Mineral. usw., Abt. B, S. 3—21, Stuttgart 1935.
- WERNER, H.: Serienbestimmung von Bor in Sedimentgesteinen. — Z. analyt. Chemie, **168**, H. 4, 1959.
- ZÖBELEIN, H. K.: Die Bunte Molasse bei Rottenbuch (Obb.) und ihre Stellung in der Subalpinen Molasse. — Geologica Bavaria, Nr. 12, 86 S., München 1952.
- Zur Altersdeutung der Cyrenenschichten in der Subalpinen Molasse Oberbayerns. — Geologica Bavaria, Nr. 17, S. 113—134, München 1953.
- Kritische Bemerkungen zur Stratigraphie der Subalpinen Molasse Oberbayerns. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **23**, 91 S., 2 Abb., Wiesbaden 1957.



# Profil 1

## Süßwasser-Molasse eißenberger Mulde

der Peißenberger  
und Nonnenwald - Mulde  
1 : 6000

# Profil 4

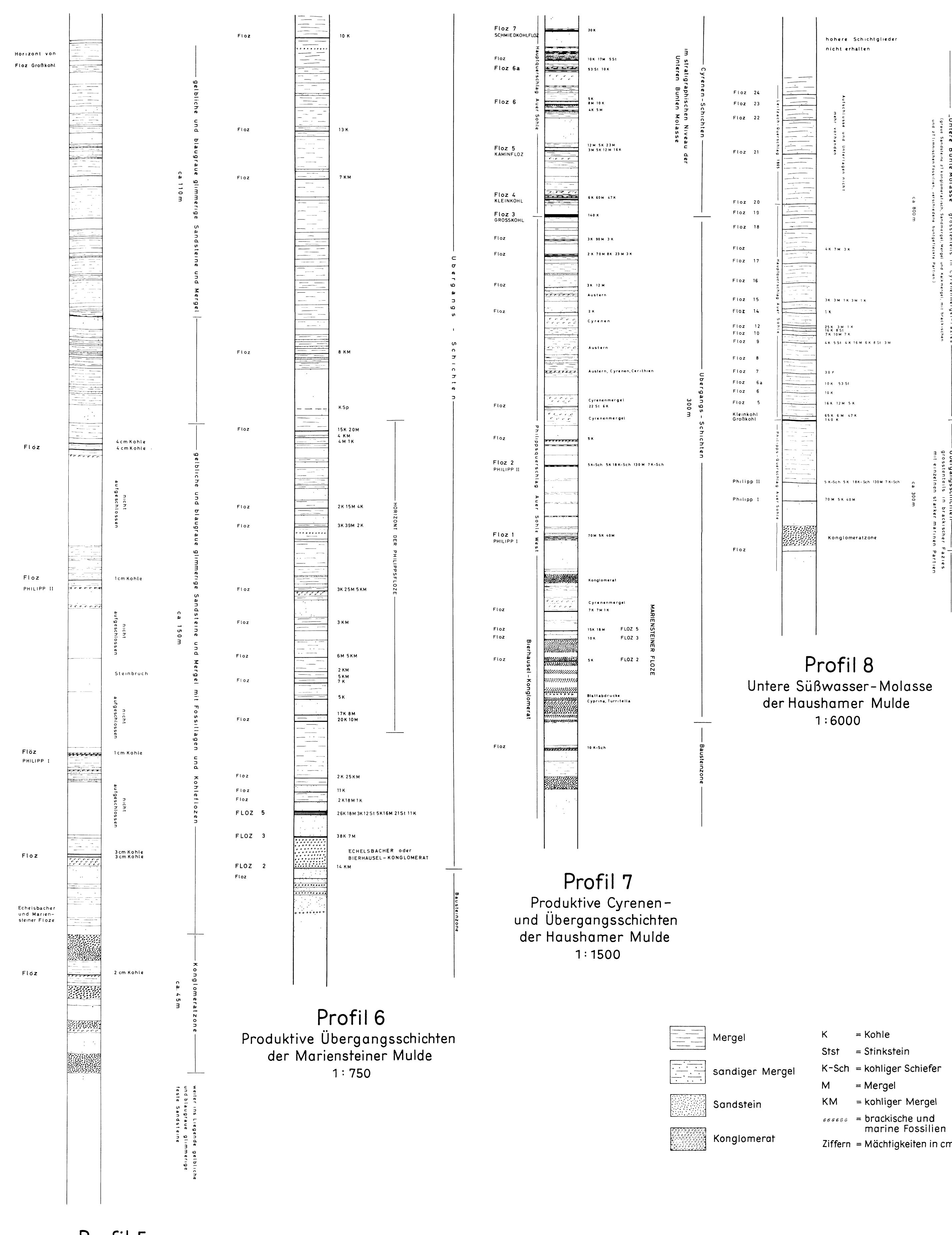
## duktive Cyrenen-Schichten der Penzberger- und Nonnenwald-Mulde

# Profil 5

## Flözführende Übergangsschichten bei St. Johannisrain südl. Penzberg

# Kombinierte Querschlagsprofile durch die hrende Molasse (Chatt-Aqu erbayrischen Pechkohlenre

(nach Unterlagen der Markscheidereien in Peißenberg, Penzberg, Hausham und Marienstein)

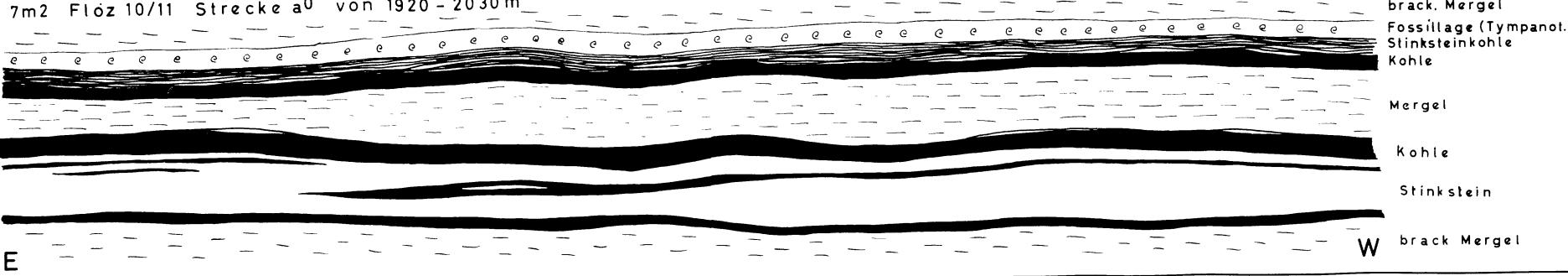


# Profil 6

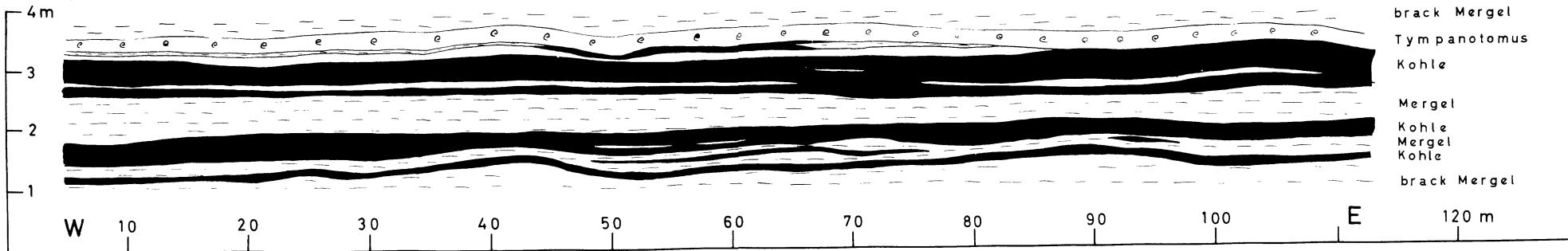
## Produktive Übergangsschichten der Mariensteiner Mulde

|   |                 |  |
|---|-----------------|--|
|  | Mergel          | K = Kohle                                |
|  | sandiger Mergel | Stst = Stinkstein                        |
|  | Sandstein       | K-Sch = kohliger Schiefer                |
|  | Konglomerat     | M = Mergel                               |
|   |                 | KM = kohliger Mergel                     |
|   |                 | 666666 = brackische und marine Fossilien |

7m2 Flöz 10/11 Strecke a<sup>0</sup> von 1920 - 2030 m

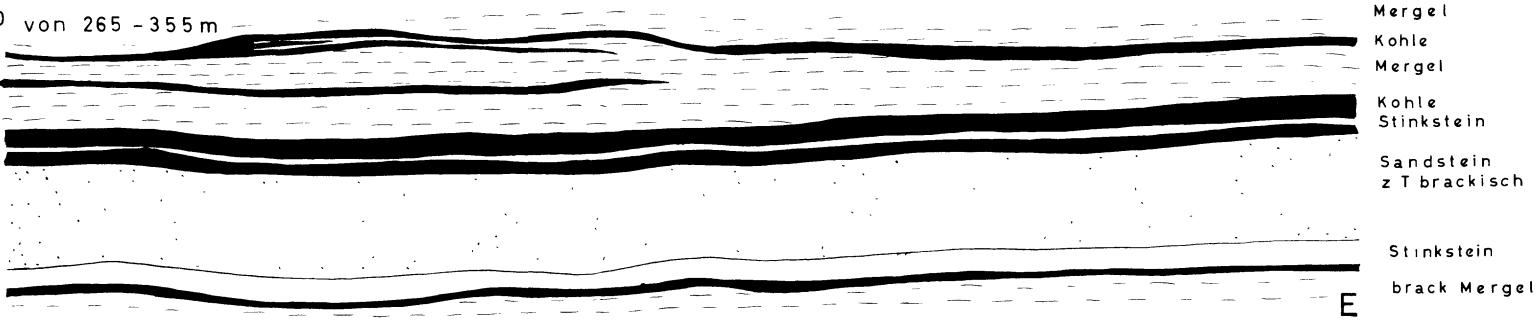


7m2 Flöz 14 Strecke b<sup>0</sup> von 485-600 m



7m2 Flöz 17 Strecke b<sup>0</sup> von 265 - 355 m

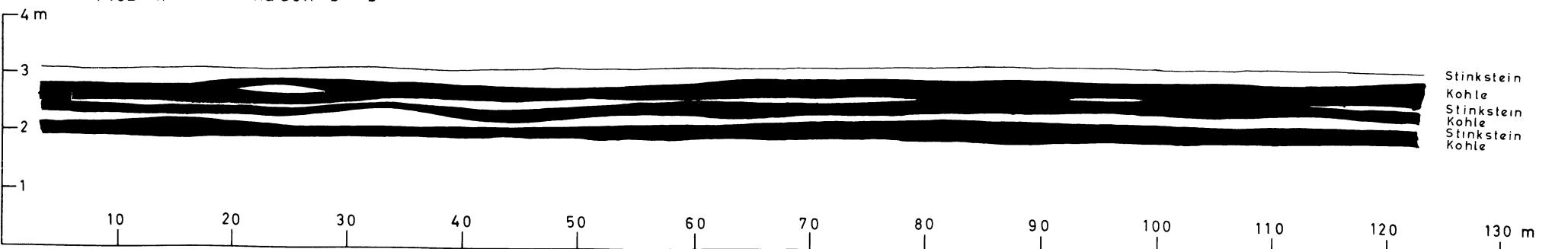
Charakteristische  
Ausbildungen  
von Pechkohlenflözen  
der Peißenberger Mulde



6m1 Flöz 10/11 Überhauen a<sup>2</sup> - 5. Sohle



7m1 Flöz 10/11 Überhauen b<sup>0</sup>- b<sup>2</sup>



8m1 Flöz 10/11 Abbau a<sup>0</sup> bei 455m ab Abh. 8. Sohle



Fazielle Veränderung des Flözes 10/11 der Peißenberger Mulde:  
Flözverschlechterung von Nord nach Süd durch zunehmend nassere Bildungsbedingungen.

## Schematisches Faziesprofil

### Peissenberger Mulde - Nonnenwald-Mulde

im Bereich der flözführenden  
Molasseschichten

Deutung A



Obere Bunte Molasse



Promberger Schichten



sterile Sandfazies in den  
Cyrenenschichten



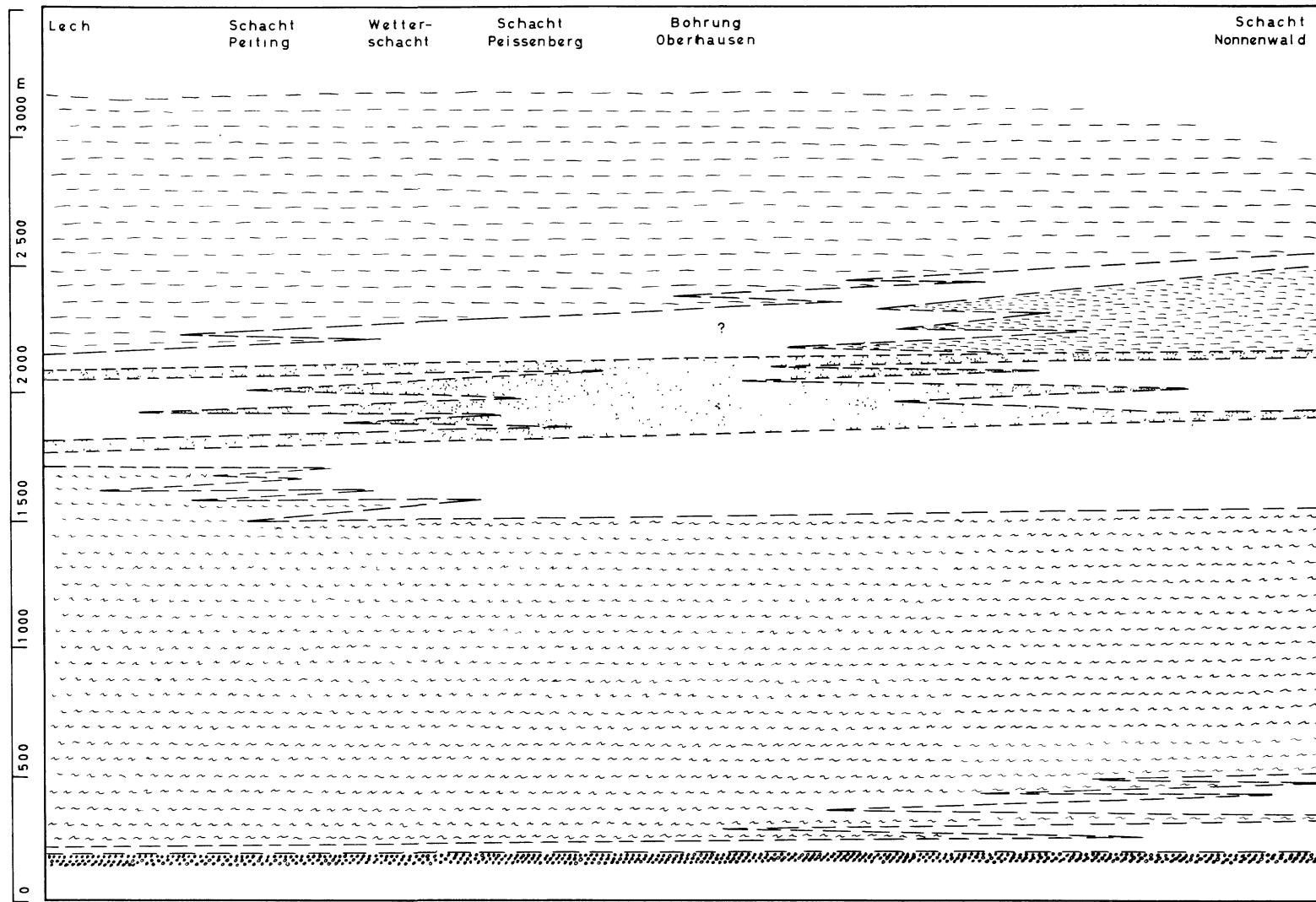
produktive Cyrenenschichten



Untere Bunte Molasse



Konglomeratzone der  
Bausteinschichten



## Schematisches Faziesprofil

### Peissenberger Mulde - Nonnenwald-Mulde

im Bereich der flözführenden Molasse-  
schichten

### Deutung B



Obere Bunte Molasse



Promberger Schichten



sterile Sandfazies in den  
Cyrenenschichten



produktive Cyrenenschichten



Untere Bunte Molasse



Konglomeratzone der  
Bausteinschichten

