Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 82 (1989)

Heft: 2

Artikel: Faciesanalyse im Rotdliegenden des Nordschweizer Permokarbon-Trogs (Hochrhein-Region zwischen Basel und Laufenburg

Autor: Blüm, Werner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-166385

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Eclogae geol. Helv. 82/2: 455–489 (1989)

0012-9402/89/020455-36 $ 1.50 + 0.20/0
© 1989 Birkhäuser Verlag, Basel

Faciesanalyse im Rotliegenden des Nordschweizer Permokarbon-Trogs (Hochrhein-Region zwischen Basel und Laufenburg)

Von Werner Blüm[1])

ZUSAMMENFASSUNG

Detaillierte sedimentologische Faciesanalysen an Bohrkernen der Bohrungen Weiherfeld, Wintersingen und anderer Rotliegend-Profile im deutsch-schweizerischen Grenzgebiet zwischen Basel und Laufenburg gestatten eine Rekonstruktion der Ablagerungsmilieus im westlich an das Nagra-Untersuchungsgebiet anschliessenden Teil des Nordschweizer Permokarbon-Trogs.

In Analogie zu den Nagra-Bohrungen Weiach, Riniken und Kaisten werden die Rotliegend-Profile lithologisch in Lakustrische Serie, Unterer Schuttfächer, Playa-Serie und Oberer Schuttfächer gegliedert.

Die bei der Korrelation der Rotliegend-Profile nachgewiesenen erheblichen Mächtigkeitsunterschiede auf geringe Entfernung wurden durch synsedimentär aktive NW-SE und WSW-ENE verlaufende Brüche verursacht.

Die Sedimente wurden in diesem Teil des Trogs überwiegend aus westlichen bis nördlichen Richtungen beckenparallel transportiert. Der Ort der grössten Sedimentmächtigkeit liegt während der Ablagerung des Unteren Schuttfächers in der Region von Riniken, wandert dann aber während der Ablagerung der Playa-Serie und des Oberen Schuttfächers entgegengesetzt zur Transport-Richtung nach W in den Raum Basel.

Diese Beobachtungen unterstützen die Hypothese, dass der Nordschweizer Permokarbon-Trog durch transpressive Tektonik, in der rechtssinnige Blattverschiebungen und synthetische Riedel-Brüche die Grabenstruktur bestimmten, geprägt wurde.

ABSTRACT

Detailed sedimentological studies of coal and groundwater wells and outcrops in the Swiss-West-German borderland between Basle and Laufenburg permit reconstruction of the paleoenvironments in the North Swiss Permo-Carboniferous trough adjoining the Nagra research area.

The Rotliegend can be subdivided into the same litho-facial units as in the Nagra wells: Lacustrine Series, Lower Alluvial Fan Series, Playa Series und Upper Alluvial Fan Series.

Correlation of litho-facial units between well and outcrop sections demonstrates rapid lateral thickness changes, which reflect synsedimentary movement on NW-SE and WSW-ENE striking basin-compartmental faults.

Sediment supply was chiefly from the west and the north. The depocentre migrated with time towards the source area. During deposition of the Lower Alluvial Fan Series, the depocentre was located in the trough-centre around Riniken; during deposition of the Playa Series and the Upper Alluvial Fan Series, the depocentre had migrated westward to the Basle area.

These observations are consistent with the hypothesis that the North Swiss Permo-Carboniferous trough is a pull-apart basin whose evolution and geometry were characterised by transpressive tectonic movements controlling dextral wrench and Riedel-type faulting.

[1]) Dr. Werner Blüm c/o Büro für Technische Geologie, Dr. Max Kobel, Breitenstrasse 50, 8832 Wilen-Wollerau.

1. Einleitung

Bei der Suche nach abbauwürdigen Steinkohle-Vorkommen wurden von 1869–1940 mehrere Bohrungen auf Schweizer Gebiet zwischen Basel und Laufenburg durchgeführt (SCHMASSMANN & BAYRAMGIL 1946). Diese Bohrungen brachten jedoch kein kohleführendes Unterrotliegendes oder Oberkarbon zu Tage. Durch die Kohle-Prospektion war aber ein mehrere 100 m mächtiger Trog mit kontinentalen Rotliegend-Ablagerungen im Liegenden des Buntsandsteins entdeckt worden.

Die Gliederung dieser fossilfreien Sedimente wurde lithofaciell durch den Vergleich mit Ablagerungen anderer Rotliegend-Tröge Süddeutschlands durchgeführt (MÜLLER 1876; DISLER 1914; SCHMASSMANN & BAYRAMGIL 1946). Einzig die *Bohrung Wintersingen* (Fig. 1) durchfuhr vor Erreichen des kristallinen Grundgebirges eine >100 m mächtige Abfolge, die u.a. schwarze, bituminöse, fossilführende Tone enthielt. ERNI (1940) ordnete diese Fischreste enthaltenden Schichten dem Unterrotliegenden zu. Palynomorphen-Untersuchungen führten 45 Jahre später zur biostratigraphischen Einstufung dieser Schichten ins Autunien (HOCHULI 1985).

Völlig neue Aspekte zur Geologie des mittlerweile *Nordschweizer Permokarbon-Trog (*abgekürzt *«NPT»;* MÜLLER et al. 1984) getauften Grossgrabens lieferten die Resultate der *Bohrung Weiach* (MATTER 1987; MATTER et al. 1988a). Mit Hilfe dieser vollständig als Kernbohrung durchgeführten Bohrung der *Nagra* (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) konnte sowohl eine litho- als auch biostratigraphische Gliederung fast des gesamten, hier über 1000 m mächtigen Permokarbons durchgeführt werden (HOCHULI 1985; MATTER 1987). Durch die Bearbeitung der Bohrung Weiach war schliesslich ein Standard-Profil für den NPT geschaffen worden, mit dessen Hilfe auch zwei weitere Nagra-Bohrungen, die das Permokarbon erreichten, gegliedert wurden *(Bohrung Kaisten,* in: PETERS et al. 1987a; *Bohrung Riniken,* in: MATTER et al. 1988b).

Da von den alten Steinkohle-Bohrungen *Weiherfeld, Wintersingen* und *Zuzgen I* (Fig. 1) noch zahlreiche Bohrkerne vorhanden waren, bestand an einer lithofaciellen und petrographischen Neubearbeitung dieser Bohrungen grosses Interesse. Schliesslich wurden, um eine möglichst vollständige lithofacielle Gliederung des NPT durchführen zu können, alle Bohrungen in der Nordschweizer Region, die Rotliegend-Sedimente durchfahren hatten, sowie Rotliegend-Aufschlüsse am Rhein und im Dinkelberggebiet in die Untersuchungen miteinbezogen.

Neben den oben erwähnten Bohrungen konnten noch Proben der *Grundwasser-Bohrungen Grenzach* (SCHMASSMANN 1968) und *Kaiseraugst* (SCHMASSMANN 1974) untersucht werden. Weiter wurden Übertage-Aufschlüsse bei Mumpf, Degerfelden und Schopfheim (Fig. 1) bearbeitet.

Zusätzlich wurden die Profile der *Steinkohle-Bohrung Mumpf* (DISLER 1914), der *Thermalwasser-Bohrung Engerfeld* (RYF 1984) und Beschreibungen von Rotliegend-Aufschlüssen am Rhein zwischen Laufenburg und Wallbach (HEUSSER 1926) sowie des Duttenbergs (DISLER 1914) berücksichtigt (Lokalitäten siehe Fig. 1).

Aus dieser erstmalig durchgeführten lithologischen Bearbeitung des gesamten, westlich an das Nagra-Untersuchungsgebiet (Fig. 1) anschliessenden Teils des NPT ergaben sich nicht nur Hinweise über vertikale und laterale Facies-Entwicklungen und Sediment-Transport-Richtungen; die vorliegende Studie liefert ausserdem einen Bei-

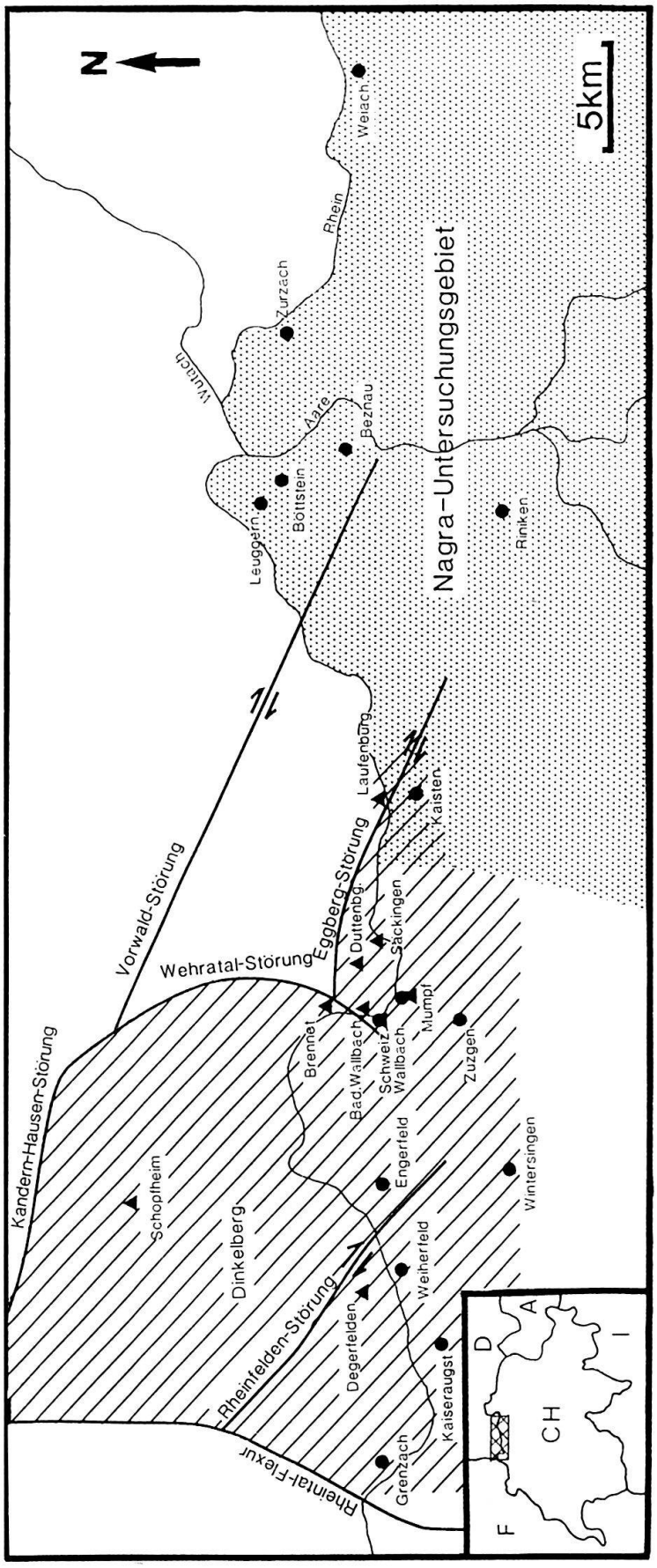


Fig. 1. Geographische Übersicht über das Untersuchungsgebiet (schraffiert) mit den Namen der im Text vorkommenden Lokalitäten und wichtigsten tektonischen Elemente. Dreiecke: Übertage-Aufschlüsse; fette Punkte: Bohrungen. Weiach, Böttstein, Leuggern, Riniken und Kaisten sind Nagra-Bohrungen (Nagra = Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle). Tektonische Elemente und Begrenzungen des Nagra-Untersuchungsgebietes nach Müller et al. (1984).

trag zum Verständnis der grosstektonischen Entwicklung des als *pull-apart-Becken* interpretierten Nordschweizer Permokarbon-Trogs (Laubscher 1987).

2. Sedimentologie der untersuchten Bohrungen und Aufschlüsse

2.1 Bohrung Wintersingen

Die Bohrung Wintersingen wurde 1939 als Kohle-Explorationsbohrung durchgeführt, ohne jedoch kohleführende Schichten zu durchfahren. Bis in 201,60 m Tiefe wurde überwiegend mit dem Rollenmeissel gebohrt, über die restliche Strecke wurden bis ins kristalline Grundgebirge, das bei 421,00 m beginnt, fast ausschliesslich Bohrkerne gezogen (Schmassmann & Bayramgil 1946). Von den insgesamt 222 m Bohrkernen sind heute noch 70% vorhanden.

1940 wurden von Erni Fischreste aus bituminösen Tonen an der Basis der Wintersinger Sediment-Abfolge bestimmt. Erni fand zwei Arten des Genus «Amblypterus» und ordnete diese Schichten dem Unterrotliegenden zu. Schmassmann & Bayramgil (1946) führten mit Hilfe der Lithologie und Vergleichen mit anderen Rotliegend-Trögen Süddeutschlands eine chronostratigraphische Gliederung der Wintersinger Bohrung durch.

In Anlehnung an die facielle Gliederung der Nagra-Bohrungen Weiach, Riniken und Kaisten (Matter 1987) wurde die Bohrung Wintersingen von mir in folgende vier Facieseinheiten gegliedert: Lakustrische Serie, Unterer Schuttfächer, Playa-Serie und Oberer Schuttfächer (Blüm 1988).

Durch die Bearbeitung der Palynomorphen wurde eine biostratigraphische Einstufung der Lakustrischen Serie ins Autunien möglich (Hochuli 1985). Hochuli fand an der Basis der Wintersinger Sediment-Abfolge die Palynomorphen-Vergesellschaftung VCI («Vittatina costabilis-Zone»), die bereits in Weiach ein *Autunien-Alter* der Lakustrischen Serie angezeigt hatte. Die Pollenzone VCII im jüngeren Teil der Lakustrischen Serie von Weiach fehlt in Wintersingen, dagegen wurde hier im älteren Abschnitt des Unteren Schuttfächers die Pollenzone ?VCII gefunden, die nach Hochuli bereits dem *Saxonien* zugeordnet werden könnte (Fig. 2). Möglicherweise wird hier die Bearbeitung der Ostrakoden und Conchostraken eine weitere Klärung der Biostratigraphie des NPT bringen. Bis auf weiteres wird jedoch die Grenze Autunien/Saxonien in Weiach wie auch in Wintersingen beim Farbwechsel von grauen zu roten Sedimenten gezogen. Diese chronostratigraphisch definierte Grenze wäre demzufolge im NPT momentan mit der lithologischen Grenze Unter-/Oberrotliegendes identisch. Nach Boy & Fichter (1988) umfasst das Rotliegende den Zeitraum «oberstes Oberkarbon bis mittleres Perm». Die Unter-/Oberrotliegend-Grenze, die nach Falke (1974) stets durch einen Sedimentationswechsel markiert ist, wurde in einigen Permokarbon-Trögen Mitteleuropas innerhalb des Autunien, in anderen wiederum innerhalb des Saxonien definiert (mündl. Mitt. Chr. Hartkopf, Geol. Landesamt Krefeld). Aus diesem Grund darf der Terminus «Rotliegendes» nur noch als Faciesbegriff Verwendung finden.

Ob die jüngsten, fossilfreien Sedimente der Wintersinger Abfolge bereits dem Thuringien zugeordnet werden können (Schmassmann & Bayramgil 1946), kann heute nicht mit Sicherheit gesagt werden. Wegen der Menge an Dolomit, Gips und unterge-

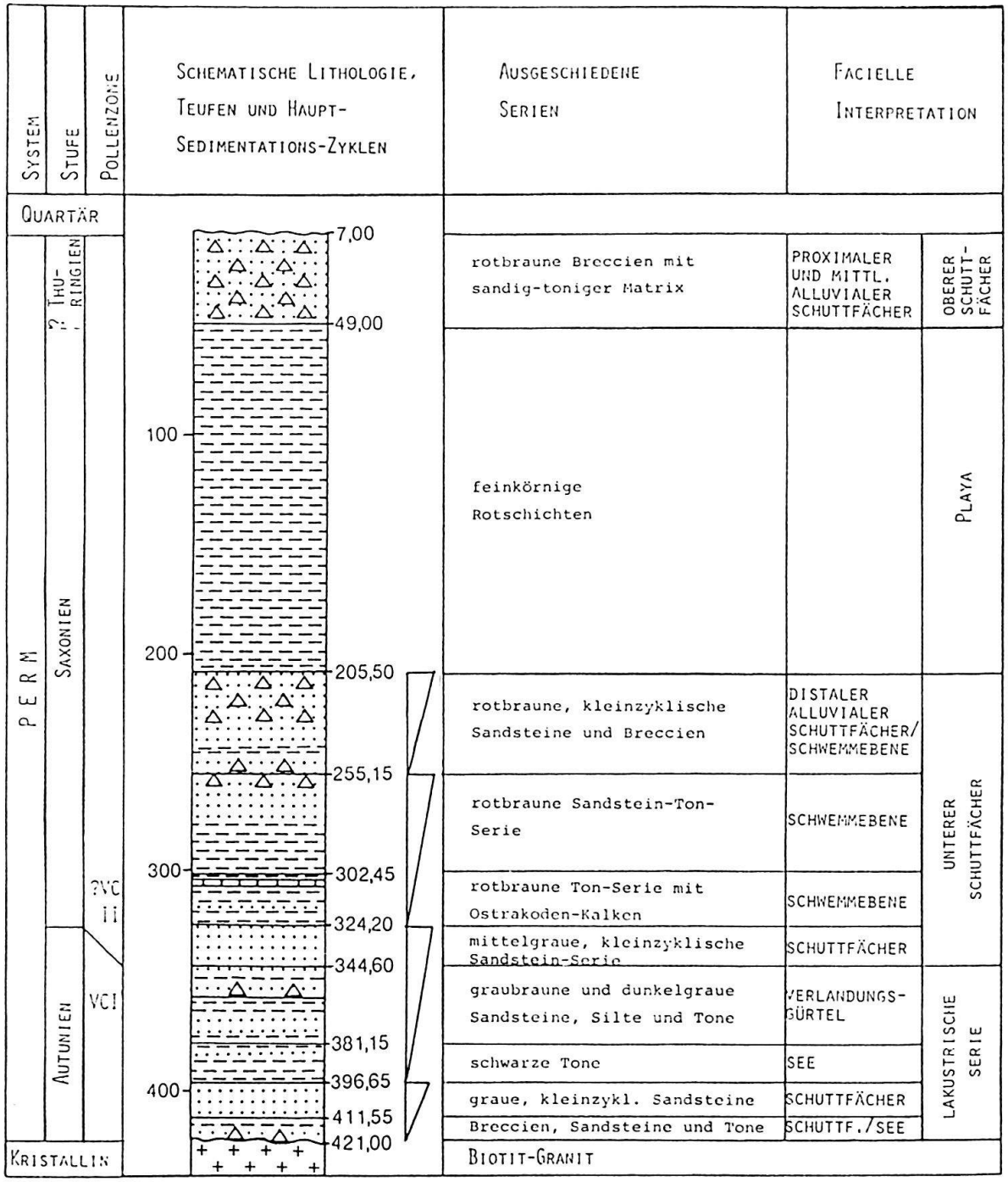
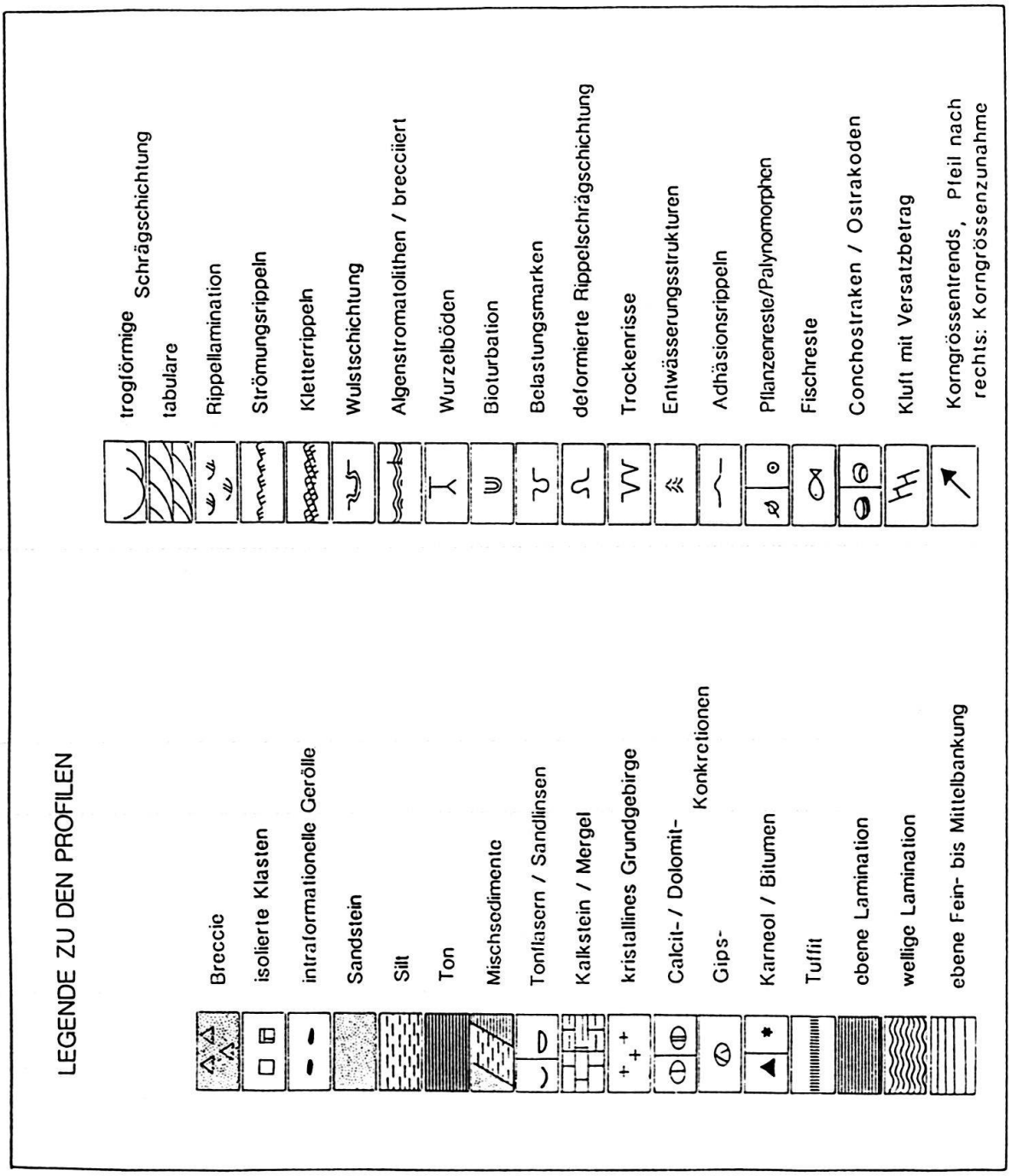


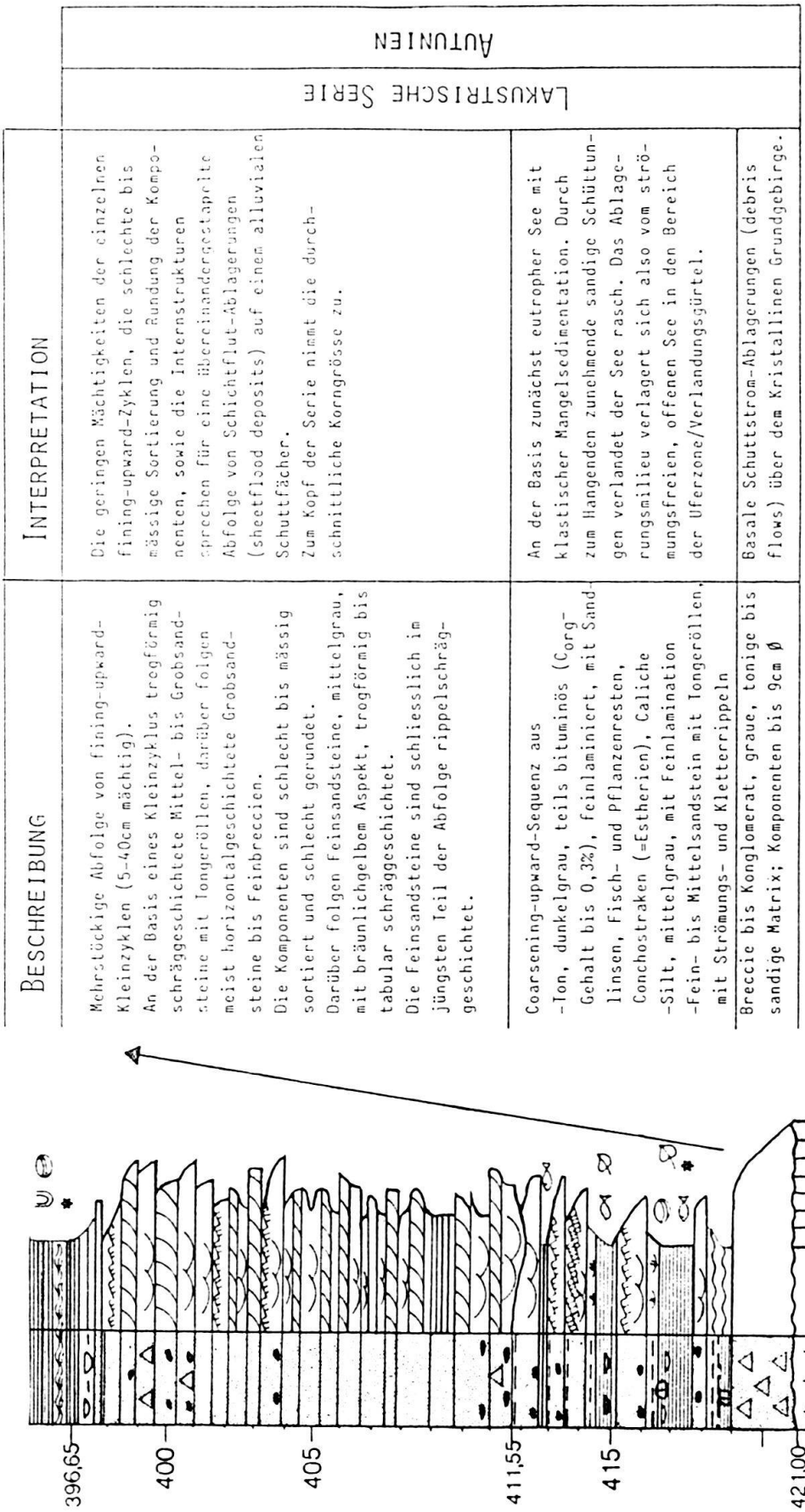
Fig. 2. Lithologisches Übersichtsprofil der Bohrung Wintersingen. Die Keile rechts neben dem Profil bezeichnen Megazyklen mit zum Hangenden generell zunehmender Korngrösse. Pollenzonen nach Hochuli (1985). Aus: Blüm (1988).

ordnet auch Chalcedon in den Sedimenten des Oberen Schuttfächers sämtlicher Bohrungen und Aufschlüsse (Blüm 1988) wird jedoch ein Thuringien-Alter («Zechstein-Äquivalent»; Schmassmann & Bayramgil 1946) dieser Schichten nicht ganz ausgeschlossen.

2.1a Lakustrische Serie (421,00–344,60 m)

Die Lakustrische Serie von Wintersingen beginnt über dem kristallinen Grundgebirge zunächst mit 2,15 m mächtigen, schlecht sortierten Breccien und Konglomeraten mit toniger bis sandiger Matrix (Fig. 3). Die darüber folgenden dunkelgrauen bis schwarzen, teils bituminösen Tone sind feinlaminiert und können als Rhythmite ausgebildet sein. Dunkle Lagen, die aus organischem Detritus und Tonpartikeln bestehen, alternieren dann mit hellen Calcit-Lagen. Neben dem Calcit kommt auch häufig Siderit vor (Blüm 1988), der den pelitischen Gesteinen eine bräunliche Färbung verleiht. Die Tone enthalten Fischwirbel und Koprolithen (Erni 1940), Conchostraken (bei Erni: Estherien) und Pflanzenreste. Calcit-Konkretionen und Gips sind ebenfalls in dieser Abfolge häufig.





BESCHREIBUNG	INTERPRETATION
Mehrstöckige Abfolge von fining-upward-Kleinzyklen (5-40cm mächtig). An der Basis eines Kleinzyklus trogförmig schräggeschichtete Mittel- bis Grobsandsteine mit Longeröllen, darüber folgen meist horizontalgeschichtete Grobsandsteine bis Feinbreccien. Die Komponenten sind schlecht bis mässig sortiert und schlecht gerundet. Darüber folgen Feinsandsteine, mittelgrau, mit bräunlichgelbem Aspekt, trogförmig bis tabular schräggeschichtet. Die Feinsandsteine sind schliesslich im jüngsten Teil der Abfolge rippelschräggeschichtet.	Die geringen Mächtigkeiten der einzelnen fining-upward-Zyklen, die schlechte bis mässige Sortierung und Rundung der Komponenten, sowie die Internstrukturen sprechen für eine übereinandergestapelte Abfolge von Schichtflut-Ablagerungen (sheetflood deposits) auf einem alluvialen Schuttfächer. Zum Kopf der Serie nimmt die durchschnittliche Korngrösse zu.
Coarsening-upward-Sequenz aus -Ton, dunkelgrau, teils bituminös (C_{org}-Gehalt bis 0,3%), feinlaminiert, mit Sandlinsen, Fisch- und Pflanzenresten, Conchostraken (=Estherien), Caliche -Silt, mittelgrau, mit Feinlamination -Fein- bis Mittelsandstein mit Longeröllen, mit Strömungs- und Kletterrippeln	An der Basis zunächst eutropher See mit klastischer Mangelsedimentation. Durch zum Hangenden zunehmende sandige Schüttungen verlandet der See rasch. Das Ablagerungsmilieu verlagert sich also vom strömungsfreien, offenen See in den Bereich der Uferzone/Verlandungsgürtel.
Breccie bis Konglomerat, graue, tonige bis sandige Matrix; Komponenten bis 9cm Ø	Basale Schuttstrom-Ablagerungen (debris flows) über dem Kristallinen Grundgebirge.

LAKUSTRISCHE SERIE

AUTUNIEN

Fig. 3. Sedimentologisches Profil des basalen Teils der Wintersinger Sedimentabfolge, 1:200.

Über der schwarzen Ton-Serie ist eine Ton-Silt-Feinsandstein-Wechselfolge mit sich vertikal rasch ablösender Facies ausgebildet. Die schwarzen Tone sind häufig aufgearbeitet und kommen als Klasten (rip-up clasts) an der Basis der hangenden Silte und Sandsteine vor. In der Ton-Serie zwischen 396,65 m und 381,15 m treten durch Algen initiierte Laminite auf, sowie Lagen von brecciierten Algenmatten. Die Laminite enthalten Schrumpfungsrisse.

Die dunkelgrauen Silte und Fein- bis Mittelsandsteine zeigen zwischen 418,85 m und 411,55 m sowie 381,15 m und 344,60 m folgende Sedimentstrukturen: Strömungs- und Kletterrippeln, flachwinklige Schrägschichtung, Feinlamination, Wulst- und Linsenschichtung.

Von 411,55–396,65 m (Fig. 3) ist über der tonig-siltigen eine psammitische Serie von vielen, übereinandergestapelten fining-upward-Kleinzyklen ausgebildet. Ein solcher 20–60 cm mächtiger Kleinzyklus besteht an der Basis aus trogförmig schräg- und horizontalgeschichteten, mässig sortierten Grob- bis Mittelsandsteinen mit Brecciellagen und gradiert schliesslich zu tabular schräggeschichteten und Rippellamination zeigenden Feinsandsteinen (Fig. 3).

Die gesamte Sandstein-Serie (411,55–396,65 m) zeigt zum Hangenden eine Korngrössenzunahme. Von der Basis der dunkelgrauen Tone bei 418,85 m bis in Teufe 396,65 m ist demzufolge ein Megazyklus mit zum Hangenden zunehmender Korngrösse ausgebildet (Fig. 2).

Von 396,65 m – 324,20 m wiederholt sich ein solcher coarsening-upward-Megazyklus. Über einer basalen Ton-Serie (396,65–381,15 m) und einer Wechselfolge von Tonen, Silten und Sandsteinen (381,15–344,60 m) ist wiederum eine psammitische Serie ausgebildet (344,60–324,20 m).

Die Lakustrische Serie endet an der Basis der psammitischen Abfolge, da die eigentlichen Seeablagerungen mit der Ton-Silt-Sandstein-Wechselfolge aufhören. Der Untere Schuttfächer beginnt also mit einer 20,40 m mächtigen Psammit-Sequenz (Fig. 2), die im Gegensatz zur psammitischen Serie von 411,55–396,65 m keine Klasten schwarzen Tons mehr enthält. Die Ton-Serie des jüngeren Megazyklus der Autunien-Abfolge besitzt mit 10,7% (bei 392 m) die höchsten Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) des gesamten Wintersinger Profils. Von 381,15–344,60 m beträgt die Menge an organischem Kohlenstoff in den Tonen nur noch max. 0,5% (Blüm 1988).

Die matrixreichen Breccien und Konglomerate an der Basis der Sediment-Abfolge werden als Schuttstrom-Ablagerungen (debris flows), die auf dem proximalen Bereich eines alluvialen Schuttfächers entstanden, interpretiert.

Bereits Schmassmann & Bayramgil (1946) sahen in den bituminösen Tonen See-Ablagerungen und versuchten, die Wintersinger Schichten mit ähnlich ausgebildeten Ablagerungen des Saar-Nahe-Trogs in SW-Deutschland zu korrelieren.

Die Faciesanalyse zeigt, dass es sich bei dem Wintersinger See um eine Folge sich ablösender, geologisch relativ kurzlebiger, flacher Gewässer von wenigen Kilometern Durchmesser mit raschen, lateralen Facieswechseln handelt.

Hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff und das weitgehende Fehlen von Bioturbation in den Ablagerungen machen es wahrscheinlich, dass die schwarzen, bituminösen Tone sapropelartige Bildungen eines offenen, strömungsfreien Sees sind (Eugster & Hardie 1975). Während die Fische in besser durchlüfteten Wasserschichten nahe der Seeoberfläche lebten, konnten die zum Nektobenthos zu zählenden Conchostraken auch in den sauerstoffärmeren Bereichen am Seeboden leben (Boy & Hartkopf 1983).

Die Bildung der Rhythmite mit hellen Calcit- und dunklen Tonlagen mit organischem Detritus wurde durch planktonische Algen verursacht. Während Zeiten der Algenblüte wurde im Seewasser gelöstes CO_2 bei der Photosynthese verbraucht. Dadurch nahm der pH-Wert im Seewasser zu und begünstigte die Ausfällung von Calcit. Dagegen setzten sich in Zeiten mit geringer pflanzlicher Produktivität hauptsächlich Ton und abgestorbene Pflanzen am Seeboden ab (vgl. Schäfer & Sneh 1983).

Die Ton-Silt-Sandstein-Wechselfolge entstand im Strandbereich des Sees. Die hier angetroffenen Algenlaminite belegen eine geringe Wassertiefe (max. 10 m, nach Scholle & Spearing 1982) und gute Durchlichtung des Seewassers. Schrumpfungsrisse und brecciierte Algenmatten deuten auf ein gelegentliches Trockenfallen des Ablagerungsmilieus, während laminierte und gerippelte Silte und Sandsteine Indizien für im Uferbereich zunehmende Strömungen sind. Offensichtlich führte ein vermehrter klastischer Eintrag zur Verlandung des Sees.

Über diese Strandablagerungen stiess schliesslich ein alluvialer Schuttfächer vor und beendete vorübergehend die Zeit eigentlicher Seeablagerungen (Fig. 3; 411,55–396,65 m). Die schlechte Sortierung, die Sedimentstrukturen und geringen Mächtigkeiten der fining-upward-Kleinzyklen sprechen für rasche Ablagerung und kurzen Transportweg der Sedimentfracht. Ähnlich ausgebildete Sandstein-Kleinzyklen werden vom «Markanda terminal fan» beschrieben und dort als Schichtflut-Ablagerungen (sheetflood deposits) interpretiert (Parkash et al. 1983). Auf dem relativ kleinen Schuttfächer ergoss sich die Sedimentfracht aus dem Liefergebiet bei starken Regenfällen flächig über einen wenig geneigten Hang (0,2% Neigung im Falle des «terminal fan» von Parkash et al. 1983). Solche periodisch starken Regenfälle wiederholten sich, und es kam zur Ausbildung vieler, übereinandergestapelter fining-upward-Kleinzyklen.

Die hauptsächlichen Kontrollmechanismen während der Ablagerung der Lakustrischen Serie scheinen Klima-Schwankungen gewesen zu sein. Während für den Bestand des Sees ein eher humides Klima zu fordern ist, deuten das Verlandungsstadium und der alluviale Schuttfächer auf eine lange Phase mit geringen Niederschlägen hin. Die Absenkungsrate des Grabens war während der Ablagerung der Lakustrischen Serie in der Wintersinger Region unbedeutender, als in der Weiacher Region, da in letzterer bedeutend mehr Konglomerate und Breccien zur Ablagerung kamen.

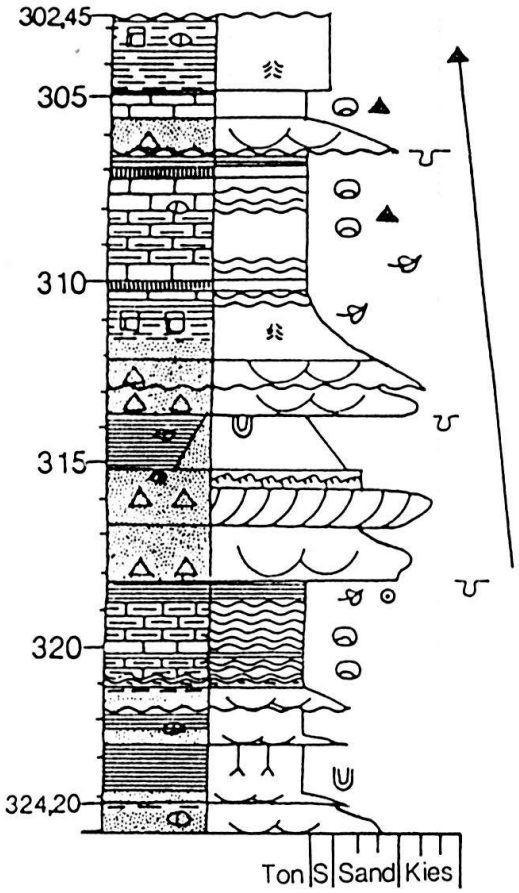
Im Autunien von Wintersingen zeigt sich also zweimal ein Sedimentations-Zyklus von Ablagerungen des offenen Sees, des Verlandungsstadiums und schliesslich Ablagerungen auf einem alluvialen Schuttfächer. Eine ähnlich ausgebildete limnische Serie mit raschen Facieswechseln vom uferfernen Bereich, dem strömungsbeeinflussten Ufer und dem subaerischen Schuttfächer – allerdings mit bedeutend grösseren Mächtigkeiten – wird auch vom pliozänen Ridge-Becken Kaliforniens beschrieben (Link & Osborne 1978).

2.1b Unterer Schuttfächer (344,60–205,50 m)

Der Untere Schuttfächer beginnt in Wintersingen bei 344,60 m an der Basis einer 20,40 m mächtigen psammitischen Serie (Fig. 2). Es handelt sich dabei um eine mehrstöckige Abfolge von fining-upward-Kleinzyklen (max. 100 cm mächtig) mit meist erosiver Basis. Über trogförmig schräggeschichteten Breccien und Grobsandsteinen folgen horizontal- bis tabular schräggeschichtete, mittelgraue Grobsandsteine, die schliesslich in rippelschräggeschichtete, grüngraue, tonige Feinsandsteine übergehen. Am Top eines solchen Kleinzyklus ist häufig eine Silt- bis Tonlage ausgebildet.

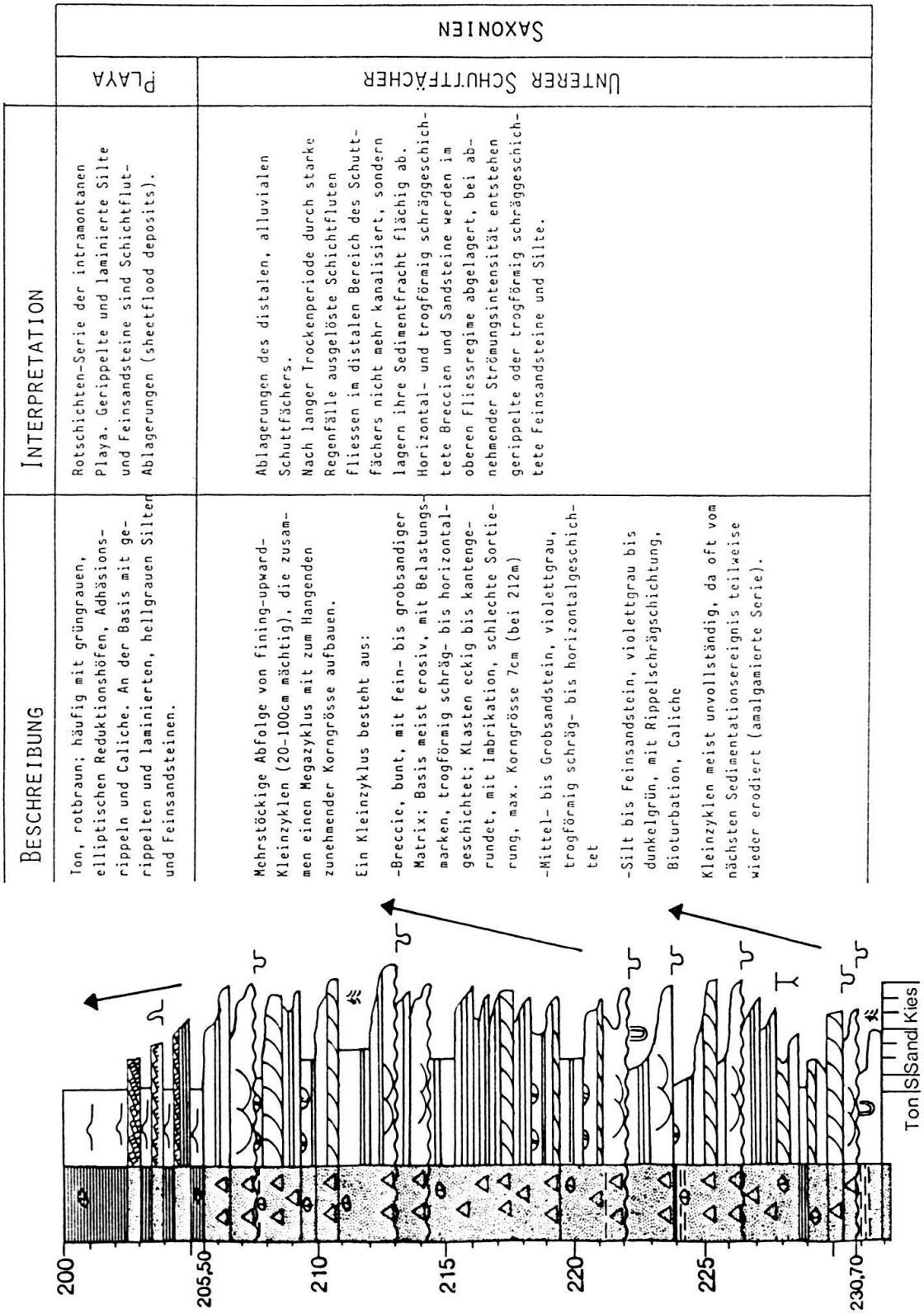
Wie in Weiach beginnt auch in Wintersingen der Untere Schuttfächer noch unterhalb des Wechsels von grauer zu roter Sedimentfarbe (Matter 1987); in Wintersingen vollzieht sich dieser Farbwechsel, an dem auch die Grenze Autunien/Saxonien gezogen wurde, am Kopf der psammitischen Serie bei 324,20 m.

Über dieser psammitischen Serie ist zwischen 324,20–302,45 m eine Wechselfolge von grob- bis feinsandigen fining-upward-Kleinzyklen, rotbraunem, Caliche führendem Ton, dunkelgrauen bis violetten, fossilführenden Mergeln, hellgrauen, ostrakodenreichen und z.T. verkieselten Kalken, Stromatolithen, sowie dünnen Lagen von grünem, mixed-layer-reichem Ton ausgebildet (Fig. 4).



Beschreibung	Interpretation		
Wechselfolge von -Fein- bis Grobsandstein, bräunlichgrau bis rotbraun, tonig, normalgradiert, trogförmig schräg- und horizontalgeschichtet; mit Breccienlagen -Ton, rotbraun, mit diffus verteilten polymikten und karbonatischen Klasten; Caliche -Mergel, dunkelgrau bis violett; knollig oder feinlaminiert, mit Ostrakoden, ?Fisch- und Pflanzenresten, Caliche -Kalkstein, hellgrau; knolliger, fossilarmer Intramikrit, feinlaminierter Stromatolith oder Ostrakoden-Biomikrit zusammen mit schwarzem, feinlaminiertem Ton mit Palynomorphen -Ton, grüngrau, mürbe; hoher Gehalt an mixed-layer-Tonmineralien Kalke und Mergel enthalten Karneol. Von 318m bis zum Kopf der Abfolge fining-upward-Trend.	Der Ablagerungsbereich ist die Schwemmlandebene (flood plain). Die sandigen bis brecciösen Sedimente werden durch Schichtfluten auf einem alluvialen Schuttfächer abgelagert (sheetflood deposits). In Depressionen bestanden vermutlich aufgrund eines hohen Grundwasserspiegels für längere Zeit Seen, sodass sich dort Fische, Ostrakoden und Algen ansiedeln konnten. Die Photosynthese der Algen begünstigte die Karbonat-Bildung in diesen Seen. Diese subaquatischen Kalke wurden schliesslich auch noch durch pedogene Karbonat-Bildung überprägt (Caliche!). Grüngraue Tone, die reich an mixed-layer-Tonmineralien sind, werden als in den See eingewehte Tuffe interpretiert.	Unterer Schuttfächer	Saxonien

Fig. 4. Sedimentologisches Profil der rotbraunen Ton-Serie mit Ostrakoden-Kalken. Bohrung Wintersingen, 1:200.



	BESCHREIBUNG	INTERPRETATION
PLAYA	Ton, rotbraun; häufig mit grüngrauen, elliptischen Reduktionshöfen, Adhäsionsrippeln und Caliche. An der Basis mit gerippelten und laminierten, hellgrauen Silten und Feinsandsteinen.	Rotschichten-Serie der intramontanen Playa. Gerippelte und laminierte Silte und Feinsandsteine sind Schichtflut-Ablagerungen (sheetflood deposits).
UNTERER SCHUTTFÄCHER	Mehrstöckige Abfolge von fining-upward-Kleinzyklen (20-100cm mächtig), die zusammen einen Megazyklus mit zum Hangenden zunehmender Korngrösse aufbauen. Ein Kleinzyklus besteht aus: -Breccie, bunt, mit fein- bis grobsandiger Matrix; Basis meist erosiv, mit Belastungsmarken, trogförmig schräg- bis horizontalgeschichtet; Klasten eckig bis kantengerundet, mit Imbrikation, schlechte Sortierung, max. Korngrösse 7cm (bei 212m) -Mittel- bis Grobsandstein, violettgrau, trogförmig schräg- bis horizontalgeschichtet -Silt bis Feinsandstein, violettgrau bis dunkelgrün, mit Rippelschrägschichtung, Bioturbation, Caliche Kleinzyklen meist unvollständig, da oft vom nächsten Sedimentationsereignis teilweise wieder erodiert (amalgamierte Serie).	Ablagerungen des distalen, alluvialen Schuttfächers. Nach langer Trockenperiode durch starke Regenfälle ausgelöste Schichtfluten fliessen im distalen Bereich des Schuttfächers nicht mehr kanalisiert, sondern lagern ihre Sedimentfracht flächig ab. Horizontal- und trogförmig schräggeschichtete Breccien und Sandsteine werden im oberen Fliessregime abgelagert, bei abnehmender Strömungsintensität entstehen gerippelte oder trogförmig schräggeschichtete Feinsandsteine und Silte.
SAXONIEN		

Fig. 5. Sedimentologisches Profil des jüngeren Teils des Unteren Schuttfächers und des basalen Teils der Playa-Serie. Bohrung Wintersingen, 1:200.

Die darüber folgende Serie (302,45–255,15 m) ist eine recht monotone Abfolge von rotbraunen Tonen, Silten und Sandsteinen mit zahlreichen Caliche-Konkretionen. Zwischen 285,35 m und 282,75 m sind hellgraue, pflanzenführende Mergel erhalten (Blüm 1988). Gegen das Hangende schalten sich einzelne Klasten kristalliner Gesteine bis 6 cm Grösse ein, die diffus verteilt in der tonig-sandigen Matrix auftreten.

Von 255,15–205,50 m verstärkt sich der Einfluss grobklastischer Schüttungen (Fig. 2). Die gesamte Abfolge besteht aus normalgradierten Kleinzyklen, die im Mittel 40 cm, aber nie mächtiger als 100 cm werden. Mit 7 cm wird bei 212 m Teufe die maximale Klastengrösse der gesamten Abfolge angetroffen (Fig. 5).

Ein Kleinzyklus beginnt mit trogförmig schräg- bis horizontalgeschichteten Breccien mit erosiver Basis, die rasch in grün- bis violettgraue Grob- bis Mittelsandsteine übergehen. Den Abschluss bilden grüngraue, tonige, gerippelte oder feinlaminierte Feinsandsteine und Silte (Tf. Ia in: Blüm 1988). Im unteren Teil dieser Abfolge (255,15–230,70 m) sind grüngraue Tone mit Bioturbation, Wurzelböden und Caliche-Konkretionen häufig; bei 237 m treten ferner ein hellgrauer, laminierter Kalk, dunkelgraue Tone und ein wenige Zentimeter dünner Montmorillonit-Ton auf. Im oberen Teil (230,70–205,50 m) fehlen dagegen solche pelitische Lagen fast völlig (Fig. 5).

Über den gesamten 139,10 m mächtigen Unteren Schuttfächer von Wintersingen lässt sich ein Trend in der sedimentären Entwicklung erkennen. Pelitische Ablagerungen werden immer seltener und geringmächtiger, während der Einfluss grobklastischer Schüttungen zunimmt (Fig. 2). Die gesamte Abfolge (von 324,20–205,50 m) kann mit Hilfe der Korngrösse in zwei coarsening-upward-Megazyklen gegliedert werden. Wegen dieser, in Intervallen zunehmenden Korngrössen wird von einem progradierenden Schuttfächer gesprochen (vgl. Steel 1976).

Der Wechsel von grauer zu roter Sedimentfarbe bei 324,20 m markiert eine Veränderung des Porenwasser-Chemismus zur Zeit der Ablagerung der Sedimente. Der im Grundwasser gelöste Sauerstoff wurde nun im vegetationsärmeren Oberrotliegenden kaum noch bei der Verwesung organischen Materials verbraucht. Folglich waren die Porenlösungen sauerstoffreicher. Gelöstes Eisen-II wurde in diesem leicht alkalischen Milieu zu Eisen-III aufoxidiert und als Hämatit ausgeschieden (Schmidt & McDonald 1979a). Im reduzierenden, sauren Milieu des Unterrotliegenden war das aus Eisen-Silikat-Mineralen gelöste Eisen-II zur Siderit- und Pyrit-Bildung verbraucht worden (Blüm 1988). Wie auch die Sedimentstrukturen und Lithologie der Ablagerungen zeigten, fand an der Wende Unter-/Oberrotliegendes ein Wechsel zu einem mehr trokkenen Klima statt.

In die überwiegend sandigen Ablagerungen des Unteren Schuttfächers sind weiterhin See-Sedimente eingeschaltet, die jedoch zum Hangenden immer mehr an Bedeutung verlieren. In auffälligem Gegensatz zu den See-Sedimenten der Lakustrischen Serie wurden hier mehrere Dezimeter mächtige, subaquatische Kalke angetroffen (324,20–302,45 m; Fig. 4). Ihr Spektrum reicht von fast fossilfreien Intramikriten über ostrakodenreiche Biomikrite zu Stromatolithen. Einige dieser Karbonate zeigen ausserdem noch Überprägung durch pedogene Karbonat-Konkretionen (Caliche).

Ähnlich ausgebildete, jedoch bloss wenige Zentimeter mächtige Süsswasserkalke kommen noch bei 285 m und bei 237 m vor.

Die Süsswasserkalke lassen darauf schliessen, dass über längere Zeiten in Depressionen auf der Schwemmebene stehende Gewässer existierten, in denen sich ?Fische, Ostrakoden und Algen ansiedeln konnten, wobei auch hier die Photosynthese der Algen die Ausscheidung von Calcit begünstigte (vgl. Kap. 2.1a).

Die grünen, mixed-layer-führenden Tone werden als in diese Seen eingelagerte Tuffe, die von vulkanischer Tätigkeit in benachbarten Regionen zeugen, interpretiert (Blüm 1988). Offensichtlich waren diese Aschen geologisch nur erhaltbar, wenn sie in

stehende Gewässer eingeweht wurden. Eine Tuffit-Korrelation mit der Bohrung Weiach war deshalb nicht möglich, weil im Unteren Schuttfächer von Weiach im Gegensatz zu Wintersingen See-Ablagerungen, die eine Erhaltung der Tuffe ermöglicht hätten, fehlen (MATTER et al. 1988a).

Die Sedimente des Wintersinger Unteren Schuttfächers entstanden im Grenzbereich der Schwemmlandebene und des distalen, alluvialen Schuttfächers (Fig. 6). Eigentliche für einen Schuttfächer typische Schuttstrom-Ablagerungen (debris flows) fehlen allerdings, auch eine kanalisierte Facies (stream channel deposits) ist nicht deutlich ausgebildet. Dafür sind Schichtflut-Ablagerungen (sheet-flood deposits) recht häufig.

Die Sedimente des Wintersinger Unteren Schuttfächers haben eine grosse Ähnlichkeit mit den Sedimenten rezenter, alluvialer Schuttfächer der Baja California (SCHOLLE & SPEARING 1982). Wichtig erscheint mir hier die Feststellung, dass die Ablagerungsmechanismen in der Lakustrischen Serie und im Unteren Schuttfächer trotz klimatischer Veränderungen sehr ähnlich geblieben sind.

2.1c Playa-Serie (205,50–49,00 m)

Diese Serie beginnt zunächst mit einer Wechselfolge von normalgradierten, glimmerreichen, hellgrauen, gerippelten Sandsteinen und Silten sowie rotbraunem Ton (Fig. 5). Zum Hangenden nehmen diese sandigen Einschaltungen jedoch rasch ab. Die Tone enthalten Calcit- und Gips-Konkretionen, in deren unmittelbaren Umgebung das Gestein eine grüngraue Farbe aufweist. Da aber in der gesamten Playa-Serie nur wenige Meter Bohrkerne gezogen wurden, lässt sich über Häufigkeiten von sandigen Einschaltungen, Caliche und Reduktionshöfen, wie sie in der Playa-Serie z.B. der Bohrung Weiherfeld (vgl. Kap. 2.2b) oder in Kaisten häufig angetroffen wurden (PETERS et al. 1987a), keine Aussage machen.

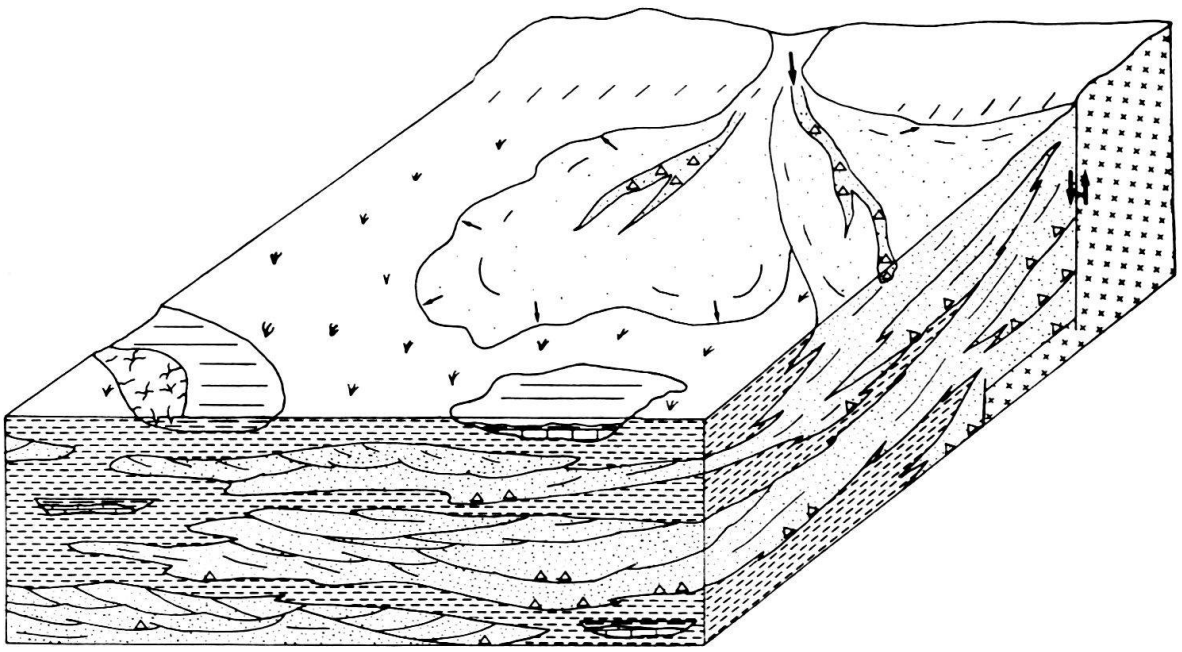


Fig. 6. Schematisches Blockdiagramm der Ablagerungsmilieus im Unteren Schuttfächer der Bohrung Wintersingen.

Dass diese Ablagerungen nicht nur fluviatilen, sondern auch äolischen Ursprungs sind, zeigen die häufigen Adhäsionsrippeln (vgl. GLENNIE 1970).

Die gesamte Rotschichten-Serie wird als Ablagerung einer intramontanen Playa interpretiert (MATTER 1987). Rippelschräggeschichtete Sandsteine entstanden bei sich über die Playa-Ebene ergiessenden Schichtfluten (sheetflood deposits).

2.1d Oberer Schuttfächer (49,00–7,00 m)

Es handelt sich bei den Gesteinen dieser Abfolge um strukturlose, matrixgestützte, rotbraune und hellgraue, feldspathaltige Breccien (Fig. 2). Die fast ausschliesslich eckigen Komponenten sind nicht grösser als 1,6 cm. Hellrötliche Dolomit-Konkretionen und weisse Gips-Ausscheidungen geben dem Gestein eine charakteristische Fleckung. Häufig sind in dieser Abfolge im senkrechten Anschnitt flachelliptisch erscheinende, grüngraue Reduktionshöfe.

Matrixreiche Breccien und Sandsteine ohne erkennbare Schichtung und Sortierung sind typisch für hochviskose Schuttströme (debris flows) auf alluvialen Schuttfächern (READING 1986). Voraussetzung zur Entstehung solcher Schuttströme sind lange Trokkenperioden, grosse Mengen von Verwitterungsschutt an den Talflanken, eine gewisse Hangneigung und geringe Vegetationsdichte. Bei plötzlichen starken Regenfällen wird der Verwitterungsschutt im proximalen Bereich des Schuttfächers rasch durchfeuchtet. Sobald das Gewicht des durchfeuchteten Schutts grösser ist, als der Reibungswiderstand, beginnt dieser als Schuttstrom den Hang hinabzufliessen.

Die zahlreichen Dolomit- und Gips-Konkretionen entstanden in Zeiten langer Sedimentationsunterbrüche und sprechen für einen langsamen Aufbau des Oberen Schuttfächers.

2.2 Bohrung Weiherfeld

Von der 1875 abgeteuften Bohrung Weiherfeld bei Rheinfelden befinden sich heute noch 25% der Bohrkerne im Basler Naturhistorischen Museum. Die ausführlichste Profilbeschreibung findet sich bei MÜLLER (1876).

Die Frage der Alterstellung der fossilfreien Weiherfelder Abfolge konnte zunächst nur durch den Vergleich mit Abfolgen in Rotliegend-Trögen Süddeutschlands beantwortet werden. DISLER (1914) schlug eine Dreiteilung des in Weiherfeld erbohrten Rotliegenden, wie sie bereits im Südschwarzwald durchgeführt worden war, vor (Fig. 7). Während WILSER (1913) von «untere Arkosen, Tone, Karneol-Dolomit-Horizont und obere Arkosen» sprach, gliederte DISLER (1914) das Weiherfelder Rotliegende in «untere, mittlere und obere Abteilung» (Fig. 7).

SCHMASSMANN & BAYRAMGIL (1946) verwendeten ein nur 30 cm dünnes Bänkchen «bräunlichen, dichten Kalksteins» in 363 m Teufe als Unter-/Oberrotliegend-Grenze. Die 3,65 m mächtigen, unter dem Kalkbänkchen befindlichen breccienartigen Sandsteine ordneten sie dem Unterrotliegenden zu (Fig. 8 und 9). Das Kalkbänkchen betrachteten sie als Äquivalent der Süsswasserkalke der Winnweiler Schichten, mit denen nach damaliger Auffassung im 300 km entfernten Saar-Nahe-Trog das Oberrotliegende begann (SCHMASSMANN & BAYRAMGIL 1946). Da Kalke verschiedener Genese jedoch sowohl in der Lakustrischen Serie, als auch im Unteren Schuttfächer der Bohrung Wintersingen vorkommen und Korrelationen von einem einzigen Kalkbänkchen

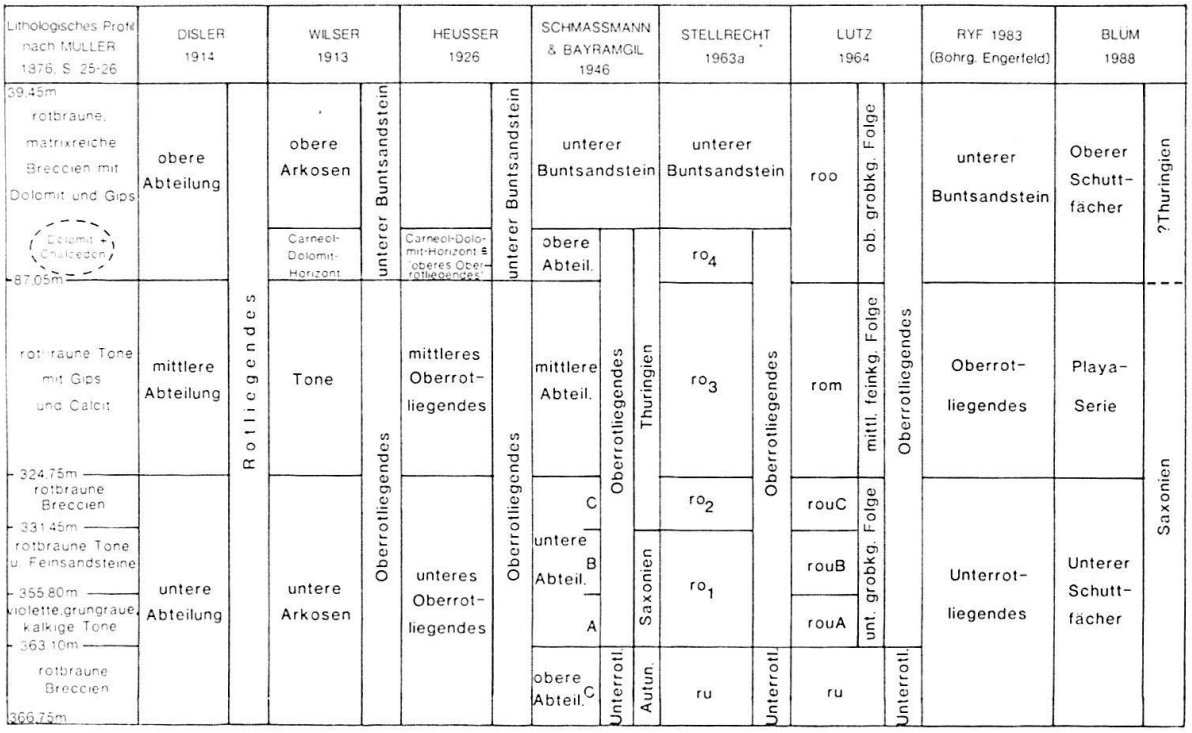


Fig. 7. Die Gliederung der Bohrung Weiherfeld bei verschiedenen Autoren. Das Profil links ist nicht massstäblich. Seitenangaben bei MÜLLER (1876) deswegen, weil das von einem Graphik-Büro gezeichnete Profil der Bohrung Weiherfeld im Anhang des Buches (MÜLLER 1876) nicht genau mit der Beschreibung MÜLLERS übereinstimmt. Von späteren Autoren wurde jedoch das gezeichnete Profil der Bohrung benutzt. Bei der Gliederung der etwa 4 km entfernt gelegenen Bohrung Engerfeld wurde die von SCHMASSMANN & BAYRAMGIL (1946) erdachte Gliederung der Bohrung Weiherfeld und nicht diejenige von DISLER (1914) zum Vorbild genommen.

über 300 km Entfernung äusserst fragwürdig sind, dürfte diesem bräunlichen Kalkbänkchen wohl kaum eine chronostratigraphische Bedeutung zukommen. Seit der Publikation von SCHMASSMANN & BAYRAMGIL (1946) besteht jedoch die Annahme, dass die untersten 3,65 m der Weiherfelder Sedimentabfolge im Unterrotliegenden abgelagert worden seien (Fig. 7). In diesem Zusammenhang wichtiger ist die Tatsache, dass die rote bis violettgraue, für das Oberrotliegende typische Sedimentfarbe bis zur Basis der Sedimentabfolge in Weiherfeld beobachtet werden kann. Violett- bis dunkelgraue Tone über dem zitierten Kalkbänkchen (362,80–355,80 m) erwiesen sich als fossilleer (Fig. 8).

Die Abfolge in Weiherfeld wird analog zu derjenigen in Wintersingen lithostratigraphisch von unten nach oben in die Formationen Unterer Schuttfächer, Playa-Serie und Oberer Schuttfächer gegliedert (Fig. 8).

2.2a Unterer Schuttfächer (366,75–324,75 m)

Über dem kristallinen Grundgebirge sind zunächst 3,45 m «breccienartige Sandsteine mit grünlichen, sandigen Lagen» (MÜLLER 1876) erbohrt worden; über 30 cm «bräunlich, dichtem Kalkstein» folgen von 362,80–355,80 m (= 7,00 m) «chocolatfarbene, schwärzliche, rote feine Thone» (MÜLLER 1876). Von dieser 10,85 m mächtigen Schicht

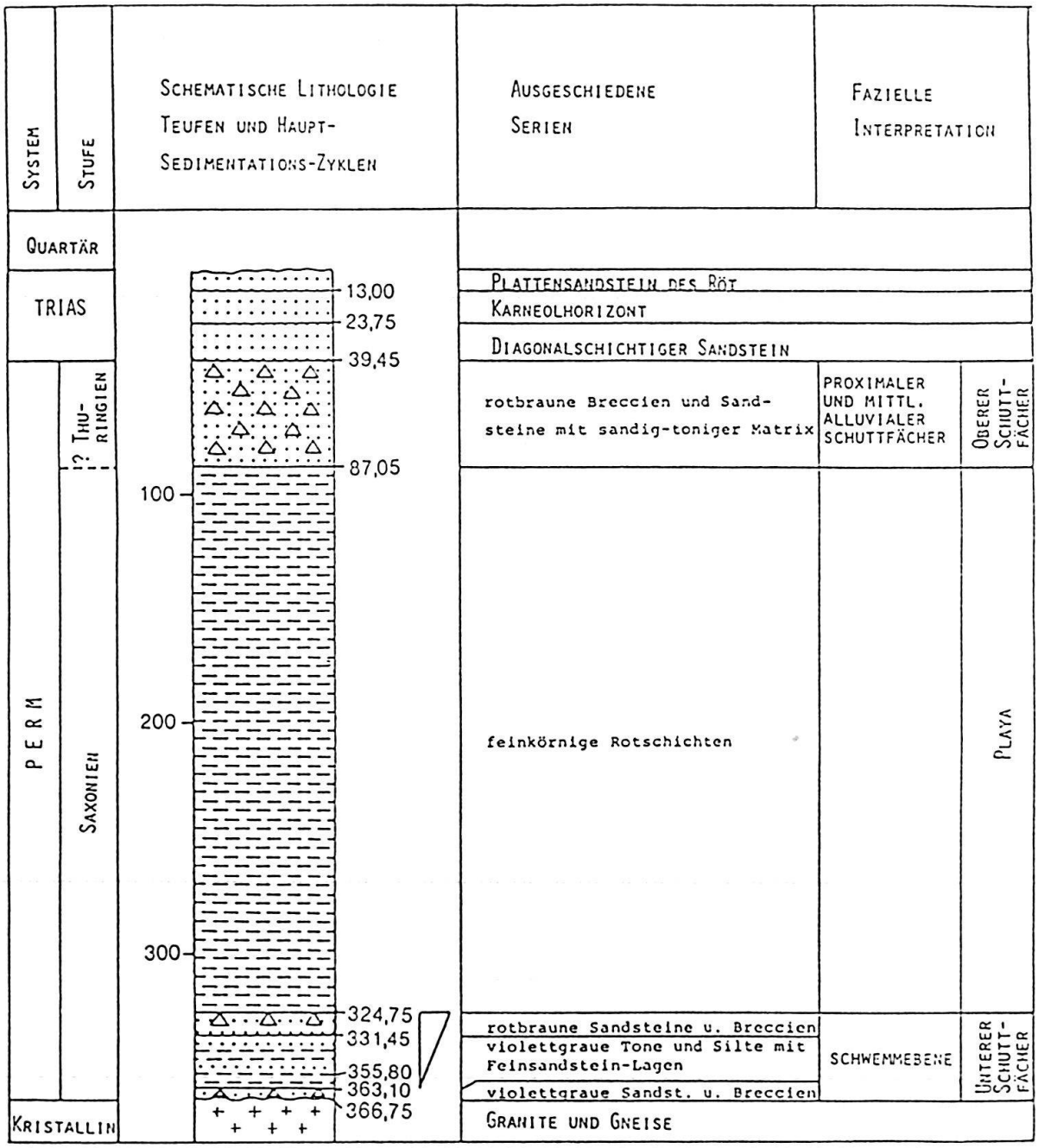
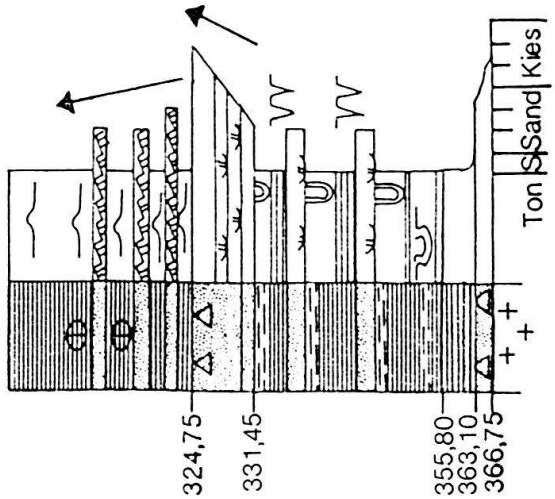


Fig. 8. Lithostratigraphisches Übersichtsprofil der Bohrung Weiherfeld. Nach Müller (1876, S. 25–26). Aus: Blüm (1988).

(Schichtnummer 66 in: Müller 1876) liegen jedoch nur noch wenige Bohrkerne vor. Es handelt sich dabei um hellgrüne bis dunkelviolette Tone mit diffus verteilter, feinsandiger Komponente und grüngrauen, porösen Feinbreccien. Ein Bohrkern aus dunkelgrauem, feinlaminiertem Ton liess Bioturbation und Trockenrisse erkennen. Der C_{org}-Gehalt dieses Tons betrug 0,3%.

Von 355,80–331,45 m folgen «rote, weisse, grüne, buntstreifige Thone» (Müller 1876), die von 343,90–335,20 m als «kalkreich» beschrieben sind (Fig. 9).

Das Bohrkernmaterial dieser Sequenz (Schicht-Nr. 65–62) besteht überwiegend aus feinlaminierten, hell- bis dunkelvioletten Tonen bis Silten; zwischengeschaltete Feinsandlagen sind meist rippelschräggeschichtet oder können auch mit den Tonen zusammen Wickelstrukturen bilden. Die Tone und Silte zeigen häufig Bioturbation und



	Beschreibung	Interpretation
Saxonien		
Playa	Ton, rotbraun, mit grüngrauen, elliptischen Reduktionshöfen, Calcit- und Gips-Konkretionen, Adhäsionsrippeln. An der Basis mit gerippelten Silten u. Feinsandsteine.	Rotschichten-Serie der intramontanen Playa. Wechsel von äolischen (Adhäsionsrippeln), fluviatilen (Silte und Feinsandsteine) und subaquatischen Ablagerungen (Tone).
Unterer Schuttfächer	Breccie mit rotbrauner, tonig-sandiger Matrix; schräggeschichtete Sandsteine	Der Ablagerungsbereich ist die Schwemmlandebene. Sandsteine und Breccien sind Schichtflut-Ablagerungen. Infolge hohen Grundwasserspiegels konnten in Depressionen für längere Zeit Seen bestehen, sodass sich Algen und bodenverwühlende Tiere ansiedeln konnten. Die Photosynthese der Algen begünstigte die Karbonat-Bildung
	Ton bis Silt, violettgrau, ab 355,80m 'chocolatfarben'; teils mergelig, mit Feinlamination, Wulstschichtung, Bioturbation, Trockenrissen. C_{org}-Gehalt=0,3%. Mit wenigen rippelschräggeschichteten Feinsandsteinlagen.	
	Breccie, grüngr. Sandstein, violetter Ton	

Fig. 9. Sedimentologisches Profil der basalen Sedimente der Bohrung Weiherfeld. Teufenangaben nach Müller (1876, S. 25–26).

Trockenrisse. Calcit tritt sowohl in feinen Lagen auf und alterniert dann mit Tonlagen, kann aber auch in linsenförmigen Konkretionen angesammelt sein.

Der Untere Schuttfächer endet schliesslich bei 324,75 m mit 8,55 m «bunte, grobe Breccien mit rotem, thonigem Bindemittel» (MÜLLER 1876). Die überwiegend rotbraunen Sandsteine und Breccien der Schicht-Nr. 62 (331,45–324,75 m; MÜLLER 1876) lassen eine Korngrössenzunahme zum Hangenden hin erkennen (Fig. 9); eine 5 cm mächtige Breccienlage, die als Bohrkern vorliegt, enthält schliesslich eckige Klasten bis 2,5 cm Grösse; die hellrötlichen Feinsandsteine dieser Serie sind überwiegend tabular schräggeschichtet, gut sortiert, arm an Tonmatrix und glimmerhaltig, während die rotbraunen Tone und Silte im älteren Abschnitt der Schicht Nr. 62 bioturbate Gefüge, im jüngeren Abschnitt dagegen Adhäsionsrippeln enthalten.

Aufgrund der beschriebenen Lithofacies werden die Sedimente des Unteren Schuttfächers von Weiherfeld (366,75–324,75 m) im Vergleich mit anderen Rotliegend-Bohrungen (Weiach, Wintersingen) als Ablagerungen der Schwemmlandebene interpretiert (Fig. 8).

Geringmächtige Ablagerungen von brecciösen Sandsteinen an der Basis der Sedimentabfolge werden als Schichtflut-Ablagerungen (sheetflood deposits) gedeutet. In Depressionen auf der überspülten Ebene konnten für längere Zeit von Wasser bedeckte Schlammflächen bestehen, in denen sich Silt und Ton absetzten und schliesslich gar die Ansiedlung von bodendurchwühlenden Organismen möglich war. Die Lamination in den Tonen entstand teilweise durch sedimentbindende Algen. Bei dem oben erwähnten Kalkbänkchen bei 363 m kann es sich sowohl um einen Stromatolith, aber auch um eine pedogene Karbonatbildung handeln; Bohrkerne waren in Basel hiervon nicht mehr für eine Begutachtung vorhanden.

Ähnlich wie in Wintersingen (vgl. Kap. 2.1b) verstärkte sich gegen Ende des Unteren Schuttfächers die grobklastische Sedimentation. Einzelne Schichtfluten von wenigen km entfernten Berghängen erreichten den Weiherfelder Ablagerungsraum und lagerten Breccien und gerippelte Sandsteine ab, ehe die monotone Rotschichten-Serie der Playa diese Zeit verstärkter grobklastischer Schüttungen beendete.

Beim sedimentologischen Vergleich der Weiherfelder Abfolge von 366,75–324,75 m mit der Wintersinger Abfolge von 255,15–205,50 m fällt in beiden Bohrungen zunächst eine generelle Korngrössenabnahme zum Hangenden hin, ab etwa Mitte der Serie eine Korngrössenzunahme auf (Fig. 2 und 8). Die maximale Korngrösse ist in Wintersingen mit 7 cm gegenüber 2,5 cm in Weiherfeld allerdings deutlich grösser. Weiherfeld lag offensichtlich mehr distal zu einem Liefergebiet als Wintersingen.

Die rotbraunen Breccien und Sandsteine, laminierten Tone und Silte des Unteren Schuttfächers von Weiherfeld lassen sich also mit dem jüngsten Abschnitt des Wintersinger Unteren Schuttfächers korrelieren (Fig. 10).

2.2b Playa-Serie (324,75–87,05 m)

Die Abfolge besteht zu etwa 95% aus rotbraunen, schichtungslosen, siltigen Tonen (Fig. 8); von 324,74–229,30 m (MÜLLER 1876) führen diese Tone hellgraue Calcit-Konkretionen, in deren unmittelbarer Umgebung das Gestein meist eine grüngraue Farbe aufweist. Von 229,30–87,05 m sind dagegen eher Gips-Konkretionen ausgebildet.

An der Basis dieser Rotschichten-Serie sind cm-dünne, grüngraue bis rotbraune, glimmerreiche Feinsandstein-Lagen erbohrt worden (Fig. 9). Die Feinsandsteine haben meist eine planare Basis und zeigen als Internstrukturen Feinlamination, Strömungs- und Kletterrippeln. Diese Lagen nehmen innerhalb der untersten Meter zum

Hangenden bald an Zahl und Mächtigkeit ab. Gegen Ende der 238 m mächtigen Serie nehmen Feinsandstein-Lagen wieder vermehrt zu.

Ein auffallendes Merkmal dieser Rotschichten sind die im Anschnitt flach elliptischen Reduktionshöfe, die in ihrem Zentrum eine wenige Millimeter kleine, schwarze Erzansammlung enthalten können (Hofmann et al. 1987).

Der Übergang von den grobklastischen Sedimenten des Unteren Schuttfächers in die Rotschichten der Playa-Serie, sowie deren Übergang in die grobklastischen Sedimente des Oberen Schuttfächers vollzieht sich auch hier in Weiherfeld allmählich und nicht abrupt.

2.2c Oberer Schuttfächer (87,05–39,45 m)

Die lithofacielle Ausbildung dieser Schichten ähnelt sehr denen des Oberen Schuttfächers von Wintersingen (49,00–7,00 m). Auch die Korngrösse der Klasten ist mit maximal 1,5 cm der von Wintersingen vergleichbar.

Die rotbraunen, tonigen, feldspathaltigen Breccien und Grobsandsteine enthalten wie auch in Wintersingen zahlreiche Dolomit- und Gips-Konkretionen, zusätzlich wurden hier an der Basis des Oberen Schuttfächers auch Chalcedon-Bildungen (Chalcedon i.e.S.; Blüm 1988) beobachtet («Karneol-Dolomit-Horizont» von Wilser 1913 und Heusser 1926; siehe Fig. 7).

Im Schramberger Trog des Südschwarzwaldes bildet Chalcedon in Schuttfächer-Ablagerungen, wie Untersuchungen von Röper (1980) zeigten, tatsächlich einen durchgehenden Verkieselungs-Horizont. Der «Karneol-Dolomit-Horizont» wurde dort zur Perm-Trias-Grenzziehung verwendet. Im NPT fehlt dieser Chalcedon jedoch im Oberen Schuttfächer einiger Rotliegend-Profile (Kaisten, Duttenberg, meinen Untersuchungen zufolge auch in Wintersingen), so dass eine chronostratigraphische Grenzziehung mit Hilfe dieser lokalen Verkieselungen für den NPT abzulehnen ist.

Die Grenze zum hangenden Buntsandstein liegt innerhalb der Schicht Nr. 19 (44,80–35,40 m; Disler 1914).

Die Ablagerungen werden wie die lithologisch ähnlich ausgebildete Sequenz in Wintersingen als hochviskose Schuttströme (debris flows) interpretiert. Die grosse Häufigkeit von Dolomit- und Gips-Konkretionen in diesen Ablagerungen spricht auch hier für einen sehr langsamen, diskontinuierlichen Aufbau des Schuttfächers.

2.3 Bohrung Schweizer Wallbach

Eine erste Bohrung auf kohleführendes Oberkarbon war bereits 1869 bei Schweizer Wallbach (Fig. 1) begonnen worden; diese musste aber nach einer Tiefe von über 150 m in einem Gestein «reich an grobkörnigem Quarz, ... begleitet von rotgefärbtem Sand und Ton» (Schmassmann & Bayramgil 1946) aufgegeben werden. Offensichtlich waren hier die Playa-Tone durchteuft und der Untere Schuttfächer erbohrt worden.

2.4 Bohrung Mumpf

Die 1898 durchgeführte Bohrung begann nach Disler (1914) 60 m unterhalb der «Grenze von Buntsandstein gegen Rotliegendes» innerhalb der roten Tone. Laut dem bei Disler (1914) wiedergegebenen Profil wurden unter 150 m mächtigen Rotschichten der Playa-Serie 57 m «harte Sandsteine und Breccien» erbohrt, die offensichtlich

dem Unteren Schuttfächer zugeordnet werden können (Tab. 1); das kristalline Grundgebirge wurde nach 207 m Bohrtiefe nicht erreicht.

Aufschlüsse im Fischingerbach-Tälchen bei Mumpf (S des Bahnviadukts) zeigen, dass hier über den nicht aufgeschlossenen Rotschichten der Playa-Serie etwa 20–40 m dolomitzementierte, rotbraune, feldspathaltige, tonige Sandsteine und Breccien («unterer Buntsandstein» bei WILSER 1913) anstehen, ehe der mittlere Buntsandstein (DISLER 1914) mit fast tonfreien Quarzsandsteinen die tonige Sandstein/Breccien-Serie überlagert. Diese dolomitzementierten, tonigen Sandsteine und Breccien werden in Analogie zu den oben beschriebenen Bohrungen dem Oberen Schuttfächer zugeordnet.

	Oberer Schuttfächer	Playa	Unterer Schuttfächer	Lakustrische Serie	Literaturnachweis
Schopfheim	<70	100	40	-	WILSER, 1913
Degerfelden	>60	?	?	-	DISLER, 1914
Duttenberg	10-20	100	20	-	DISLER, 1914
Mumpf (+ Bohrung)	20-40	>150	<60	-	DISLER, 1914
Laufenburg	-	-	<25	-	HEUSSER, 1926
Grenzach*	>58.1 (141.9-200.0)	?	?	?	SCHMASSMANN, 1968
Kaiseraugst*	25.2 (261.0-286.2)	>7.3 (286.2-293.5)	?	?	SCHMASSMANN, 1974
Weiherfeld*	47.4 (39.4-87.0)	237.7 (87.0-324.7)	42.0 (324.7-366.7)	-	MÜLLER, 1876
Engerfeld*	20.0 (229.0-249.0)	111.5 (249.0-360.5)	11.0 (360.5-371.5)	-	RYF, 1984
Wintersingen*	42.0 (7.0-49.0)	156.5 (49.0-205.5)	139.1 (205.5-344.6)	76.4 (344.6-421.0)	SCHMASSMANN & BAYRAMGIL, 1946
Zuzgen I*	47.0 (35.0-82.0)	171.7 (82.0-253.7)	2.6 (253.7-256.3)	-	SCHMASSMANN & BAYRAMGIL, 1946
Kaisten*	63.4	80.8	27.4	-	PETERS et al. 1987a
Riniken*	-	35.9	201.3	?	MATTER et al. 1988b
Weiach*	-	66.5	194.0	135.9	MATTER et al. 1988a

Tab. 1. Mächtigkeiten (in Metern) der einzelnen Facieseinheiten der Rotliegend-Abfolgen im NPT. Bohrungen mit * versehen. Teufenangaben (in Klammern) beziehen sich auf die für die vorliegende Studie neu gegliederten Bohrungen. ? = Facieseinheit nicht aufgeschlossen, Vorkommen möglich. Striche = Facieseinheit wurde in diesem Aufschluss nicht angetroffen. Der Literaturnachweis bezieht sich auf die erstmalige Publikation des jeweiligen Rotliegend-Profils.

2.5 Bohrungen Zuzgen I und II

Die Bohrungen Zuzgen I und II wurden in den Jahren 1939/1940 durchgeführt. Bei der Bohrung Zuzgen I wurden bis in 254 m Tiefe nur alle 40 m Bohrkerne gezogen; ab 254 m wurde dann die Bohrung als Kernbohrung fortgeführt. Es wurde jedoch schon bei 256,35 m das kristalline Grundgebirge erreicht (SCHMASSMANN & BAYRAMGIL 1946). Die Bohrung Zuzgen II, 350 m ENE von Zuzgen I abgeteuft, wies sehr ähnliche Mächtigkeiten wie Zuzgen I auf; das Grundgebirge wurde hier in 243 m Bohrloch-Tiefe erreicht. Es liegen jedoch von dieser Bohrung keine Kerne vor.

Die Rotliegend-Abfolge beginnt über dem granitischen Grundgebirge mit 2,60 m schlecht sortierten Fein- bis Mittelbreccien mit dunkelvioletter, tonig-sandiger Matrix. Darüber folgen 171,75 m Rotschichten, die den Playa-Ablagerungen der bereits beschriebenen Bohrungen Wintersingen und Weiherfeld entsprechen.

Die zwischen 82,00 m und 35,00 m Teufe erbohrte Abfolge besteht aus tonmatrixreichen, rotbraunen, feldspathaltigen, meist schichtungslosen Grobsandsteinen und Breccien. Die maximale Korngrösse von 1,2 cm, die Geröllzusammensetzung (80% granitisch, 20% vulkanisch; Fig. 11), das Vorhandensein von Dolomit-Konkretionen sowie die ähnliche Mächtigkeit lassen einen Vergleich mit dem Oberen Schuttfächer der Bohrungen Wintersingen und Weiherfeld zu (Tab. 1).

2.6 Bohrung Grenzach

Die 1966 zur Abklärung der geologischen Verhältnisse und Grundwassererschliessung durchgeführte Sondierbohrung Grenzach wurde nach 200 m Teufe eingestellt.

Von mir begutachtete Proben dieser Bohrung ergaben, dass es sich bei der von 141,90–200,00 m (58,10 m) erbohrten Abfolge um Ablagerungen des Oberen Schuttfächers handelt (Tab. 1). SCHMASSMANN (1968) beschrieb diese Abfolge als «oberes Rotliegendes; roo».

Es handelt sich um tonige, feldspathaltige Sandsteine und Feinbreccien mit Ansammlungen von Dolomit. Die Gesteinsbruchstücke sind zu 90% granitischen und 10% vulkanischen Ursprungs.

2.7 Bohrung Kaiseraugst

Die 1974 abgeteufte Grundwasserbohrung Kaiseraugst erreichte nach 261 Bohrmetern das Rotliegende (SCHMASSMANN 1974). Aus der Strecke von 261,00–286,20 m wurden drei Kernstücke à 20 cm Länge begutachtet. Es handelt sich dabei um rotbraune, tonige, feldspathaltige, meist schichtungslose Sandsteine bis Breccien, in denen Dolomit-Konkretionen häufig auftreten. Gips kommt in bis zu 2 cm breiten Klüften senkrecht oder parallel zur Schichtung sowie in nadeliger Form feinverteilt in der Matrix vor. Häufig sind auch grüngraue, im Anschnitt elliptische Reduktionshöfe in diesen Gesteinen. Nach SCHMASSMANN (1974) führt diese Abfolge auch «Karneol» (Chalcedon). Im Vergleich mit den bereits beschriebenen Bohrungen muss es sich also hierbei um Ablagerungen des Oberen Schuttfächers handeln, der in Kaiseraugst 25,20 m Mächtigkeit besitzt (Tab. 1).

Bohrkerne der Strecke von 286,20 m bis zur Endteufe bei 293,50 m entsprechen wiederum den Rotschichten der Playa-Serie (Tab. 1).

2.8 Bohrung Engerfeld

Das Bohrprofil der Thermalwasser-Bohrung Engerfeld ist bei RYF (1984) wiedergegeben. Das kristalline Grundgebirge wurde hier in 371,50 m Teufe erreicht.

Die von 371,50–360,50 m beschriebenen «dunkelgrauen, z.T. auch grünlich- und rötlichgrauen, feinsandigen, tonarmen Arkosen» (RYF 1984) werden im Vergleich mit den übrigen Rotliegend-Bohrungen als Ablagerungen des Unteren Schuttfächers betrachtet. Die Playa-Serie beginnt an der Basis (360,50–346,50 m) zunächst mit dunkelroten Sandsteinen und Silten, die als Schichtflut-Ablagerungen gedeutet werden. Die gesamte Playa-Serie hat in Engerfeld 111,50 m Mächtigkeit (360,50–249,00 m).

Von 249,00–229,00 m werden im Bohrprofil «tonreiche, gipsführende Sand- und Siltsteine, die an der Basis auch Grobsand und Feinkonglomerat» führen, beschrieben (RYF 1984). Im Vergleich mit den oben beschriebenen Bohrungen muss es sich hierbei um Ablagerungen des Oberen Schuttfächers handeln, der in Engerfeld 20 m Mächtigkeit besitzt (Tab. 1).

2.9 Rotliegend-Aufschlüsse am Rhein zwischen Laufenburg und Brennet

Heusser (1926) konnte in den Jahren 1920/21, begünstigt durch einen ungewöhnlich niedrigen Wasserstand, eine geologische Aufnahme des Rheinbetts von Basel bis Waldshut durchführen.

Am Rheinufer unterhalb Laufenburg (Fig. 1) stehen «taschenartig im Gneis liegende, grobe, rote Arkosen an, die durch ein sandigtoniges Bindemittel zusammengehalten werden» (Heusser 1926). Vermutlich handelt es sich dabei um Ablagerungen des Unteren Schuttfächers, da der Obere Schuttfächer nie direkt auf dem Kristallin auflagernd gefunden wurde. Heusser nahm eine maximale Mächtigkeit des Rotliegenden von 25 m in der Gegend von Laufenburg an; in der nur 3 km südlich von Laufenburg gelegenen Bohrung Kaisten erreicht das Rotliegende bereits 171 m Mächtigkeit (Peters et al. 1987a).

Weiter rheinabwärts gibt es zwischen Säckingen und Brennet verhältnismässig viele Rotliegend-Aufschlüsse (Fig. 1). Ablagerungen des Unteren Schuttfächers («unteres Oberrotliegendes» von Heusser, 1926) stehen bei der Säckinger Säge an. Ein «harter, blutroter Sandstein mit tonigem Bindemittel» (Heusser 1926) erreicht hier max. 25 m Mächtigkeit und lagert dem Albtal-Granit auf.

Zwischen Säckingen und Mumpf stehen hauptsächlich die roten Playa-Tone am Rheinufer an. Ihre Mächtigkeit beträgt in der Bohrung Mumpf 150 m (Disler 1914), in der Gegend von Badisch Wallbach, Brennet und am Duttenberg (Fig. 1) dagegen nur etwa 100 m (Tab. 1). Der manchmal an der Basis des Oberen Schuttfächers ausgebildete «Karneol-Dolomit-Horizont» bildet infolge seiner Härte einige Flusschwellen im Rhein (Heusser 1926).

Der Obere Schuttfächer ist am Duttenberg östlich Brennet gut aufgeschlossen (Fig. 1). Über ca. 100 m Playa-Ablagerungen folgen ca. 20 m «rote, arkoseartige Sandsteine mit zwischengelagerten Tonen» (Disler 1914); ein «Karneol-Dolomit-Horizont» ist in den basalen Schichten des Oberen Schuttfächers laut Disler am Duttenberg nicht ausgebildet.

Das Rotliegende bei Brennet befindet sich im Bereich der Wehratal-Bruchzone. Durch mehrere N–S verlaufende Störungen wurde hier das Gebirge in nach W abtauchende Blöcke zerlegt. So kommt es auch, dass man bei einer Profilaufnahme vom Rheinufer bei Brennet bis hinauf zum Eggberg im Osten in immer ältere Schichten gelangt (siehe Taf. 2 in: Heusser 1926).

2.10 Rotliegend-Aufschlüsse im Dinkelberg-Gebiet

Schliesslich seien noch die Rotliegend-Aufschlüsse im Dinkelberg-Gebiet erwähnt. Die zwei Rotliegend-Profile bei Schopfheim und Degerfelden (beide BRD) erwiesen sich als die z.Z. am besten aufgeschlossenen und zugänglichen Aufschlüsse. Das Profil am Eichberg bei Degerfelden ist schon 1903 von Brombach (in: Disler 1914) aufgenommen worden. Die Mächtigkeit der «oberen Abteilung» des Rotliegenden (Disler 1914) ist mit 60 m angegeben. In den Aufschlüssen anstehende rote, mürbe, teils dolomitzementierte, feldspathaltige, tonige Sandsteine und Breccien ähneln den im Steinbruch bei Mumpf angetroffenen Gesteinen sehr stark. Es handelt sich hierbei, unterhalb der Basis des mittleren Buntsandsteins, um Ablagerungen des Oberen Schuttfächers. Der «Karneol-Dolomit-Horizont» ist hier an der Basis ebenfalls wie in Kaisten und am Duttenberg bei Brennet nicht ausgebildet (Disler 1914).

Die Ablagerungen des Oberen Schuttfächers bei Schopfheim sind ebenfalls schlecht sortierte rote, tonige, dolomitzementierte, feldspathaltige Sandsteine. Die Mächtigkeit des Unteren Schuttfächers («untere Arkosen») der Region von Schopfheim wird mit ca. 40 m, die der Playa-Serie («Tone») mit ca. 100 m und die des Oberen Schuttfächers («Karneol-Dolomit-Horizont und obere Arkosen») mit ca. 70 m angegeben (Wilser 1913; siehe auch Fig. 7).

3. Faciesentwicklung und Ablagerungsmilieus im Nordschweizer Permokarbon-Trog

Vergleicht man die Faciesentwicklungen in den Rotliegend-Profilen des NPT, so zeichnet sich deutlich ein Wechsel vom semi-humidem Klima im Autunien zu einem ariden bis semi-ariden Klima im Saxonien und ?Thuringien ab. Wie auch aus anderen Permokarbon-Trögen Mitteleuropas berichtet wird (Falke 1976), erfolgte dieser Klimawechsel nicht kontinuierlich, sondern vollzog sich in mehreren Schüben.

So stellt sich auch im Autunien von Weiach noch einmal eine Palynomorphen-Gesellschaft ein, die charakteristisch für das Stephanien wäre (VCII-Zone von Hochuli 1985). Hochuli spricht in diesem Zusammenhang von «Klima-Rekurrenz».

Dieser Klimawechsel war durch das Driften der Pangäa nach Norden bedingt, wodurch West- und Mitteleuropa aus der Äquatorzone in den Gürtel der Passatwinde gerieten (Glennie 1972).

Während im Autunien nur in Wintersingen Sedimente der Lakustrischen Serie abgelagert werden, wurde im Saxonien nach und nach der Westteil des NPT in die sedimentäre Entwicklung miteinbezogen. Besonders im Unteren Schuttfächer variieren Sedimentmächtigkeiten auf kurze Distanz sehr stark (Fig. 10). Der Trog war zu dieser Zeit in Horste und Gräben segmentiert gewesen (Kap. 4.3), und die Schuttfächer besassen nur eine geringe Ausdehnung. Dagegen stellt die Phase der intramontanen

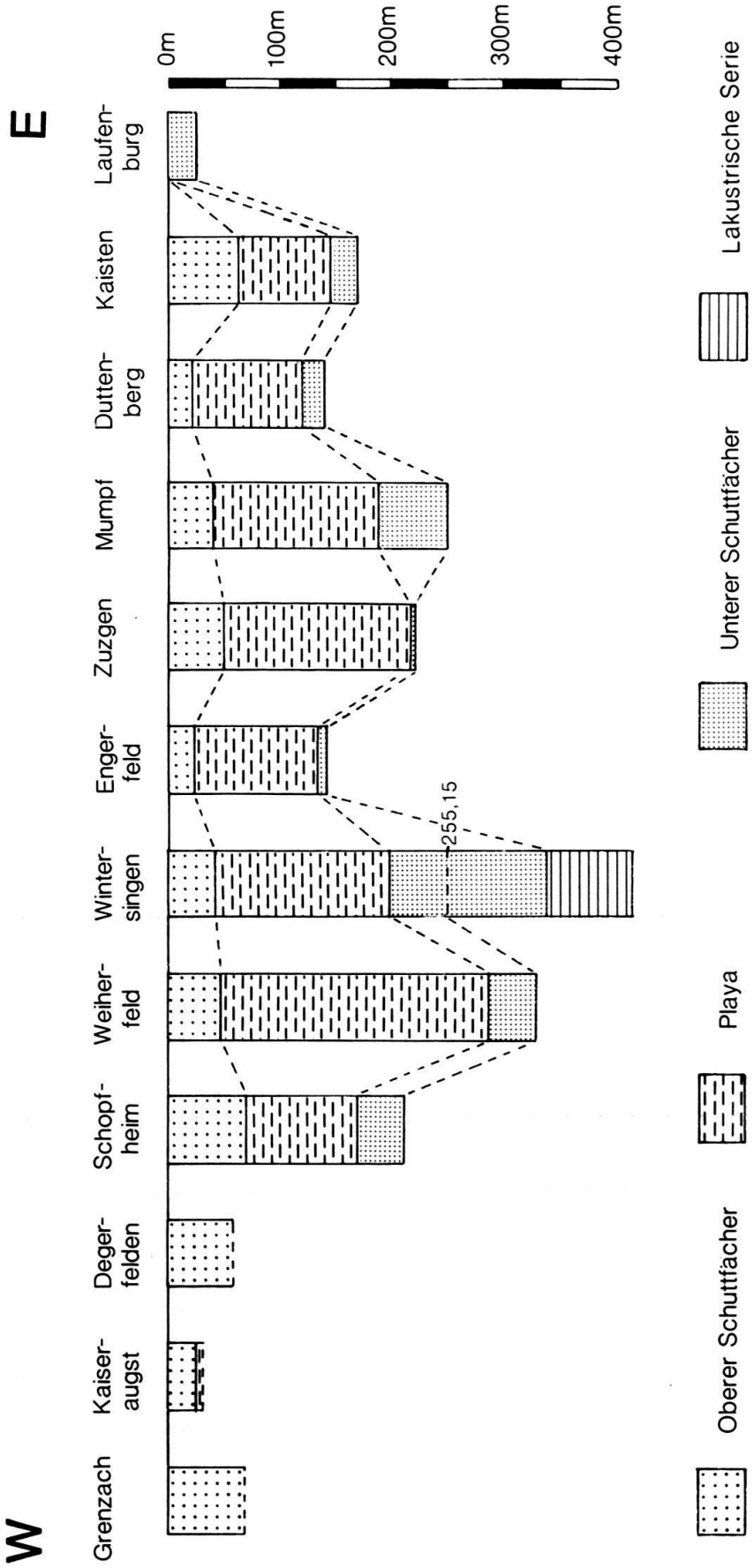


Fig. 10. Lithofacielle Korrelation im Rotliegenden des westlichen Teils des NPT. Literaturangaben siehe Tabelle 1.

Playa eine Zeit mit Reliefausgleich und nur geringer morphologischer Unterschiede dar, aktive Schuttfächer befanden sich nur an den randlichen Grabenbrüchen.

Erst mit Beginn des Oberen Schuttfächers wurden im Zusammenhang mit der Reaktivierung von Brüchen auch wieder grobklastische Sedimente abgelagert. Der Obere Schuttfächer baute sich jedoch ungleich langsamer als der Untere Schuttfächer auf. Für diese Annahme sprechen die sehr häufigen Dolomit- und Gips-Ausscheidungen, die im Unteren Schuttfächer fast völlig fehlen. Die Absenz von Bioturbation und Wurzelböden im Oberen Schuttfächer deutet darauf hin, dass das Ablagerungsmilieu auch viel lebensfeindlicher geworden war.

In Figur 11 ist zu erkennen, dass die Schuttfächer-Ablagerungen mindestens drei sedimentpetrographischen Provinzen zugeordnet werden können. Einer östlichen Provinz, in der fast ausschliesslich granitische Gesteinsbruchstücke abgelagert wurden, einer mittleren, granitischen Provinz mit einer bedeutenden Gneis-Komponente, sowie einer westlichen Provinz, in der neben einer granitischen noch eine vulkanische Komponente im Geröllspektrum vertreten ist.

Diese Gesteinsbruchstück-Spektren in den Schuttfächer-Sandsteinen (Unterer und Oberer Schuttfächer) stimmen, nimmt man die Vulkanite davon aus, erstaunlich gut mit den heute im Südschwarzwald anstehenden Kristallin-Gesteinen überein (Geol. Karte 1:100 000 in: Müller et al. 1984). Nur Kaisten und Laufenburg (Fig. 11) enthalten eine Gneis-Komponente in ihrem Geröllspektrum, lagern ihrerseits aber auch Biotit-Gneisen auf und man erkennt im nördlich davon befindlichen Kristallin (Müller et al. 1984) Biotit-Cordierit-Gneise im Anstehenden. Westlich von Kaisten fehlen in den Bohrungen Gneis-Bruchstücke völlig. Somit scheint ein Sedimenttransport für die Sandsteine von Kaisten und Laufenburg aus nördlichen bis nordwestlichen Richtungen angezeigt.

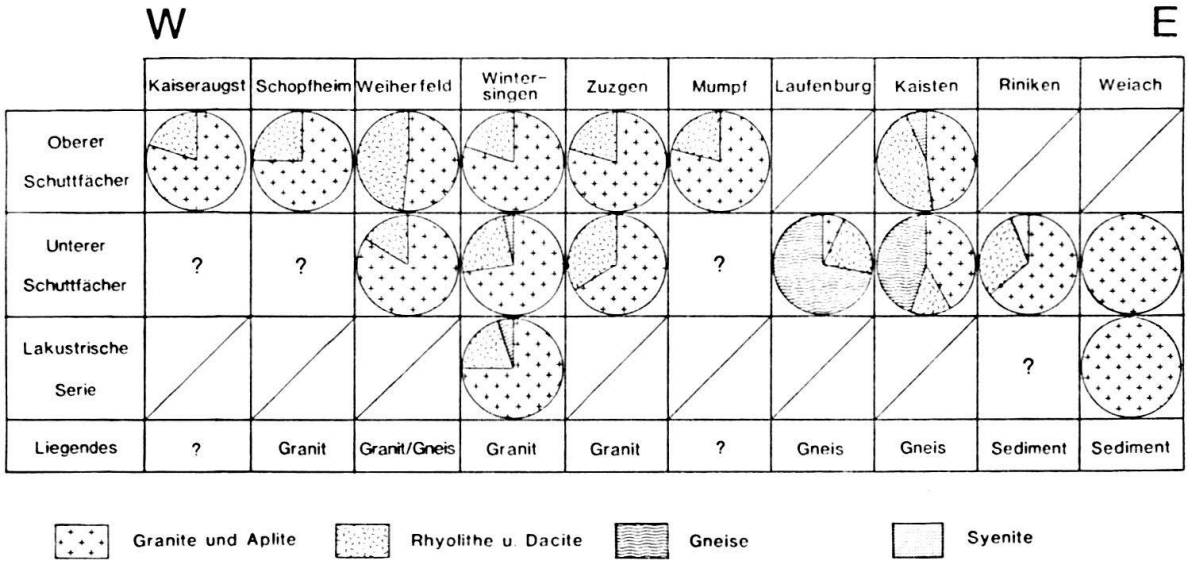


Fig. 11. Gesteinsbruchstück-Spektren (Fraktion <2 mm) im NPT. Lokalitäten siehe Figur 1. ? = Gesteinsbruchstück-Zusammensetzung bzw. Liegendes nicht bekannt. / = Facieseinheit nicht vorhanden. Aus: Blüm (1988).

Eine Ausnahme bildet hier Riniken, dessen Geröllspektrum nicht zu den nördlich davon befindlichen Kristallin-Provinzen passt (Fig. 11). Schrägschichtungs-Messungen mit dem Dip-Meter-Log an Sandsteinen des Unteren Schuttfächers von Riniken ergaben eine Transport-Richtung der Sandkörner aus nördlichen bis nordöstlichen Richtungen (MATTER et al. 1988b). Die Abweichung in der Gesteinsbruchstück-Zusammensetzung könnte jedoch daher kommen, dass Riniken nahe dem Beckenzentrum lag; sicher ist für Riniken auch Sedimenttransport aus südlichen Richtungen nicht auszuschliessen. Für diese Annahme sprechen auch syenitische Gesteinsbruchstücke im Unteren Schuttfächer von Riniken (z.B. in Teufe 961,31 m), die den im südlich gelegenen Schafisheim erbohrten Syeniten (PETERS 1987) entsprechen könnten.

Die Herkunft der rhyolithischen und dacitischen Gerölle ist dagegen schwieriger zu erklären; die nächsten jungpaläozoischen Porphyre befinden sich heute 25 km nördlich Rheinfelden in der Badenweiler-Lenzkirch-Zone (MÜLLER et al. 1984). Das weitgehende Fehlen oberflächlich aufgeschlossener porphyrischer Gesteine im Schwarzwald lässt vermuten, dass die ihrer Genese nach deckenartig erstarrten Vulkanite heute überwiegend erodiert und nur in Gräben vor der Erosion bewahrt worden sind.

4. Paläogeographische Situation im Westteil des Nordschweizer Permokarbon-Trogs

Erste Hinweise auf komplizierte Strukturverhältnisse im NPT waren aus früheren, allerdings anders interpretierten Schweremessungen herauslesbar (MÜLLER et al. 1984). Das intensive geophysikalische Untersuchungsprogramm der Nagra (SPRECHER & MÜLLER 1986) liess in diesem Jahrzehnt den sehr komplexen Bau dieser Grossstruktur erkennen. Im Nagra-Untersuchungsgebiet (Fig. 1) ist der NPT ausser durch die Seismik durch Bohrungen recht gut bekannt geworden.

Bei der Faciesanalyse der im zentralen Teil des Troges gelegenen Bohrungen (MATTER 1987) erstaunten die doch recht unterschiedlichen Mächtigkeiten von gleichaltrigen Abfolgen. So fällt das «Loch von Effingen» bei Riniken auf (LAUBSCHER 1987), das mehr als 3000 m Sedimente permischen Alters enthalten soll, während nur wenige km NNE davon in den Bohrungen Beznau und Böttstein (Fig. 1) Rotliegendes gänzlich fehlt (PETERS et al. 1985). Diese unterschiedlichen Mächtigkeiten liessen sich schliesslich nicht mehr allein durch ein stark ausgeprägtes Paläorelief und rasche laterale Facieswechsel erklären.

Die hauptsächlichen Mechanismen, die zu den grossen Mächtigkeits-Unterschieden führten, müssen bedeutende tektonische Bewegungen gewesen sein (LAUBSCHER 1987). Neben der enormen vertikalen Komponente lässt die spätvariszische Zerscherung und Versetzung des Südsporns des Albtal-Granits um ca. 4,5 km in WNW-ESE Richtung entlang der Vorwald-Störung (MÜLLER et al. 1984), die auf der geologischen Karte 1:100 000 deutlich sichtbar ist, ebenfalls eine bedeutende horizontale Komponente erkennen. Da diese Bewegungen im Perm stattfanden (MÜLLER et al. 1984), wurden die Rotliegend-Ablagerungen von der Zerscherung des Plutons mitbetroffen.

Die Hypothese einer bedeutenden rechtssinnigen (dextralen) Blattverschiebung (wrench fault), die von SITTIG (1981) für die Badenweiler-Lenzkirch-Zone im Südschwarzwald angenommen wird, vertritt nun LAUBSCHER (1987) auch für den NPT. Andere Autoren vermuten dagegen, dass diese intramontanen Becken durch Abschie-

bungen entstanden sind (z.B. Hossack, 1984, für das norwegische Hornelen-Becken), statt durch horizontale Blattverschiebungen.

Wie Arbeiten von Steel & Gloppen (1980) im devonischen Hornelen-Becken von Westnorwegen oder Crowell (1975, in: Reading 1980) im pliozänen Ridge-Becken Kaliforniens gezeigt haben, verursachen bestimmte grosstektonische Entwicklungen stets charakteristische Faciesabfolgen. Umgekehrt heisst das also, dass durch das Studium von Faciesabfolgen und deren lateraler Verbreitung auf die Tektogenese eines Trogs geschlossen werden kann.

Die Ursache von verschiedenen Mächtigkeiten gleicher lithologischer Einheiten werden im folgenden Abschnitt im Zusammenhang mit tektonischen Bewegungen diskutiert. Dadurch ergibt sich ein Bild der paläogeographischen Situation im NPT vom Autunien bis zum Beginn des Buntsandsteins.

4.1 Sedimente im Liegenden der Lakustrischen Serie

Westlich des Nagra-Untersuchungsgebietes (Fig. 1) wurden keine Sedimente, die älter sind als die Lakustrische Serie von Wintersingen, angetroffen. Wie die Isohypsen-Karte der Kristallin-Oberfläche im Basler Tafeljura zeigt (Fig. 4 in: Gürler et al. 1987), ist es möglich, dass ältere Sedimente von Autunien- oder Stephanien-Alter in der südlichen Fortsetzung des Trogs unter dem Jura mit einer Tiefbohrung erreicht werden könnten. Ältere Ablagerungen wurden bisher nur östlich der Linie Kaisten-Schafisheim in den Bohrungen Weiach und Dingelsdorf 1 angetroffen (Matter 1987). In Riniken werden sie unter den hier über 1000 m mächtigen, erbohrten permischen Ablagerungen ebenfalls vermutet (Matter et al. 1988b).

Der Teil des NPT, der sich von Laufenburg im E bis zur Rheintal-Flexur im W (Fig. 1) erstreckt, war also höchstwahrscheinlich im Karbon und zu Beginn des Perms noch Abtragungsgebiet.

4.2 Lakustrische Serie

Die Sedimentabfolge beginnt im Untersuchungsgebiet mit zyklisch aufgebauten Sedimenten der Lakustrischen Serie des Autunien. Die ältesten Sedimente der Bohrungen Weiherfeld und Engerfeld werden dem Saxonien zugeordnet (s. Kap. 2.2 und 2.8). Es erscheint also offensichtlich, dass zuerst der südöstlichste Teil des Untersuchungsgebietes (Fig. 1) in die tektonische Entwicklung des NPT miteinbezogen wurde (Fig. 12).

Die unterschiedlichen Mächtigkeiten der beiden Lakustrischen Serien von Weiach (136 m; Matter et al. 1988a) und Wintersingen (76 m) sind ein weiterer Hinweis, dass im Autunien nicht ein grosser, von Wintersingen bis ins 45 km entfernte Weiach sich erstreckender See, sondern ein ausgedehntes Seen-System (Matter 1987) vorlag. So wird auch die Pollenzone VCII aus dem jüngeren Teil der Lakustrischen Serie von Weiach nicht in der Lakustrischen Serie von Wintersingen angetroffen (Hochuli 1985), sondern eine davon etwas abweichende Pollenzone ?VCII, die nach Hochuli (1985) dem basalen Saxonien zugerechnet werden könnte. Da Pollen über weite Entfernungen transportiert werden können, wird davon ausgegangen, dass zur Zeit der Pollenzone VCII in Wintersingen kein See bestand. Eine andere Erklärungsmöglich-

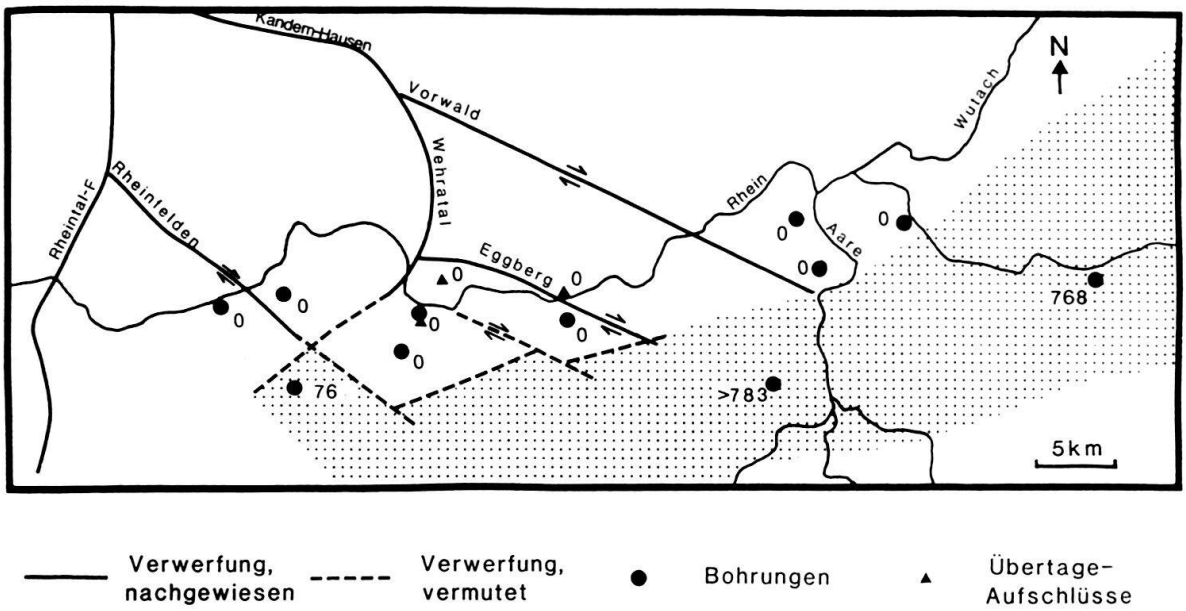


Fig. 12. Verteilung der Mächtigkeiten im Liegenden des Unteren Schuttfächers.

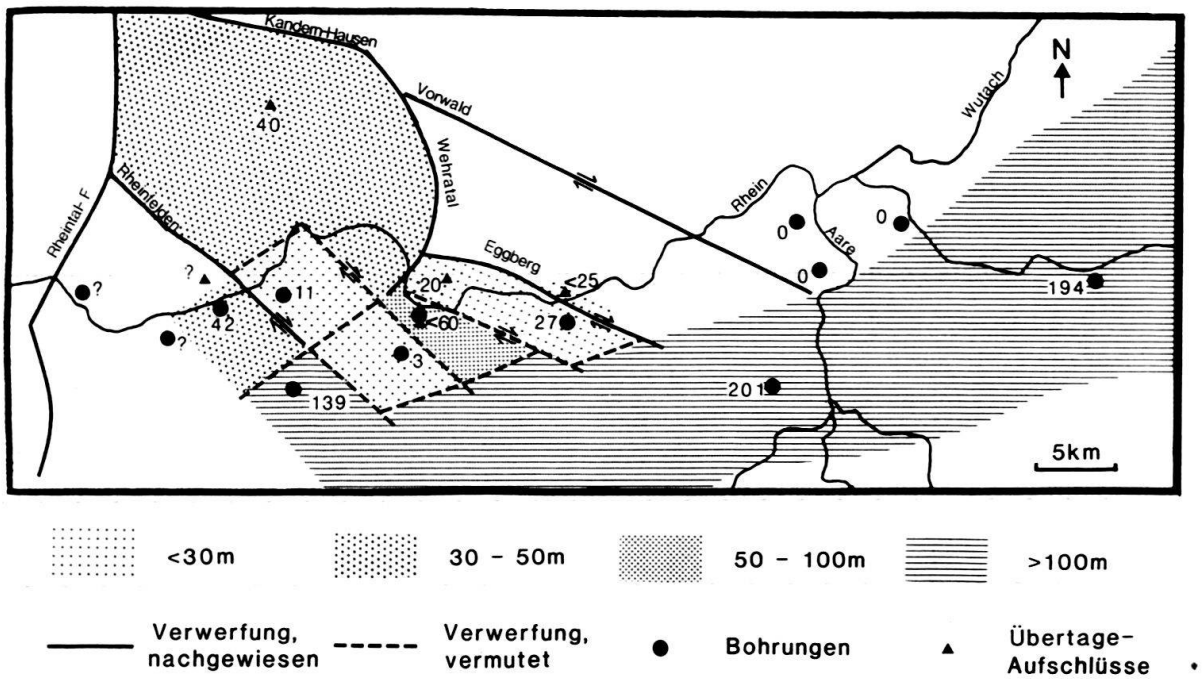


Fig. 13. Verteilung der Mächtigkeiten im Unteren Schuttfächer.

keit wäre, dass Seeablagerungen mit dieser Pollenvergesellschaftung in Wintersingen erodiert worden sind oder dass die VCII-Pollen dort in einem oxidierenden Bodenmilieu zerstört wurden. Ausserdem verweisen die unterschiedliche detritische Zusammensetzung in der Lakustrischen Serie beider Bohrungen auf voneinander verschiedene Liefergebiete (Fig. 11).

4.3 Unterer Schuttfächer

Gegen Ende des Autunien lösen zyklisch aufgebaute, auf alluvialen Schwemmlandebenen und Schuttfächern entstandene, klastische Serien die lakustrische Facies im NPT ab.

Wie Fig. 13 zeigt, wurden nun auch Kaisten, Mumpf, Weiherfeld, das Rheintal zwischen Laufenburg und Brennet und der Dinkelberg Ablagerungsgebiet, während das Segment, auf dem Engerfeld und Zuzgen liegen (Fig. 13), die meiste Zeit als Horst bestand und Erosionsgebiet war.

Da in der Bohrung Zuzgen I der Kristallinsockel aus granitischen Gesteinen besteht (Fig. 11), im Unteren Schuttfächer von Kaisten und Laufenburg dagegen nur sehr wenig Granit-Gerölle gefunden wurden, wird angenommen, dass der Verwitterungsschutt vom Engerfeld-Zuzgen-Segment überwiegend in südliche Richtungen transportiert worden ist. Ebenfalls dürfte der Verwitterungsschutt von Kaisten und Laufenburg aus nördlichen Liefergebieten stammen.

Vertikalbewegungen an den Grabenbrüchen reaktivierten immer wieder das Relief und bewahrten das Gebiet vor seiner Einebnung.

Die sehr unterschiedlichen Mächtigkeiten des Unteren Schuttfächers zwischen den nahe beieinander gelegenen Bohrungen Zuzgen I (3 m mächtig) und Mumpf (3 km nördlich davon; 60 m mächtig), lassen zu den bereits bekannten NW-SE streichenden Störungen Vorwald, Eggberg und Rheinfelden (Laubscher 1987) parallel verlaufende, synsedimentäre Brüche vermuten (Fig. 13).

Der NPT war also offensichtlich schon zur Zeit des Unteren Schuttfächers in zahlreiche NW-SE streichende Segmente zerlegt und Vertikalbewegungen zu verschiedenen Zeiten an den, die Segmente begrenzenden, Brüchen bewirkten die unterschiedlichen Mächtigkeiten des Unteren Schuttfächers (Fig. 13).

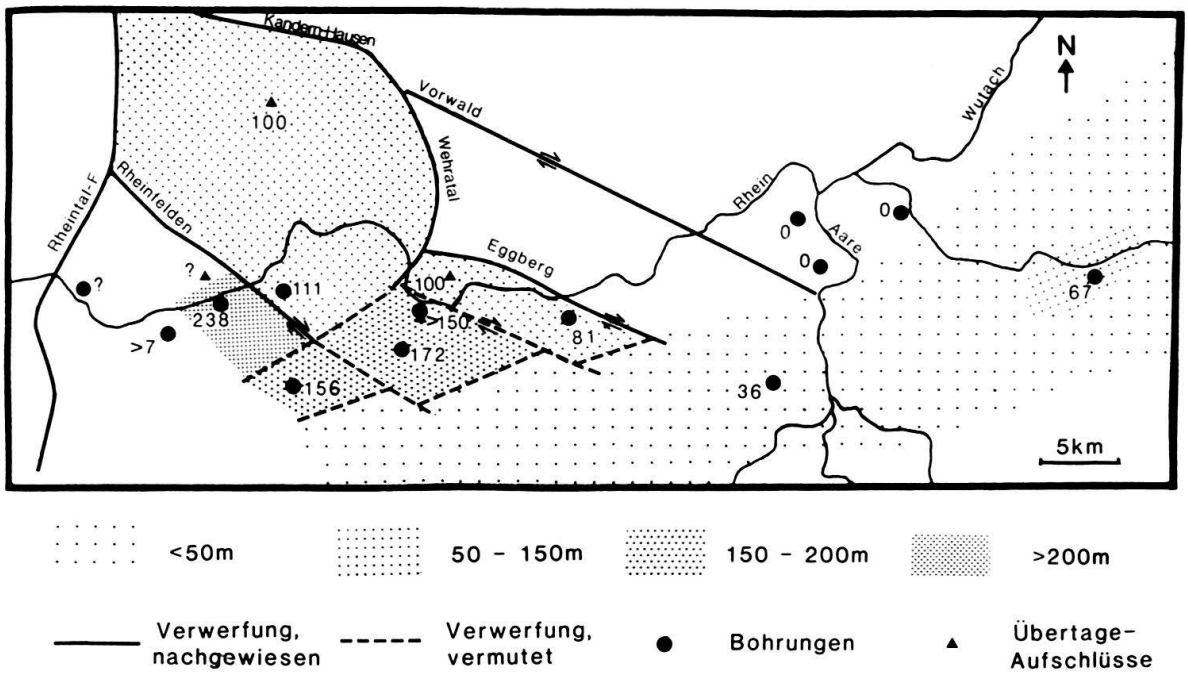


Fig. 14. Verteilung der Mächtigkeiten in der Playa-Serie.

4.4 Playa-Serie

Die tonigen Rotschichten der Playa haben im NPT die weiteste Verbreitung; mit 238 m werden in der Bohrung Weiherfeld erstaunliche Mächtigkeiten angetroffen (Fig. 14), während im nur 4 km östlich davon gelegenen Engerfeld die Playa-Serie nur 111,50 m Mächtigkeit erreicht. Für diese Mächtigkeitsunterschiede kann hier die synsedimentär aktive, NW-SE streichende Rheinfelden-Störung verantwortlich gemacht werden (siehe auch: RYF 1984). Daneben waren sicher auch noch andere, ähnlich streichende Störungen sowie die im Winkel von etwa 60° (WSW-ENE) dazu verlaufende Wehratal-Störung zur Zeit der Ablagerung der Playa-Serie aktiv.

Bemerkenswert ist die auf den Fig. 13 und 14 erkennbare Wanderung des Ortes der grössten Sediment-Mächtigkeit vom Bereich um Riniken (grösste Mächtigkeit des Unteren Schuttfächers) nach Weiherfeld (grösste Mächtigkeit der Playa-Serie).

Vertikalbewegungen an den Grabenrand-Brüchen spielten während dieser Phase sicher nur eine untergeordnete Rolle, das Relief des Trogs wurde weitgehend ausgeglichen und nur an den nördlichen und südlichen Grabenrändern existierten zu dieser Zeit alluviale Schuttfächer.

4.5 Oberer Schuttfächer

Die Mächtigkeiten der Ablagerungen des Oberen Schuttfächers variieren nicht mehr so stark wie im Unteren Schuttfächer oder in der Playa-Serie (Fig. 13 und 14). Bemerkenswert ist, dass der Ort mit der grössten Sedimentmächtigkeit (ca. 70 m im Dinkelberg-Gebiet und mehr als 58 m in der Bohrung Grenzach) im Vergleich zur Playa-Serie wiederum weiter nach NW bzw. W gewandert ist (Fig. 15).

Die in allen Bohrungen angetroffenen Dolomit- und Gips-Konkretionen sowie die Chalcedon-Bildungen deuten darauf hin, dass die Ablagerungen des Oberen Schuttfächers unter ähnlichen klimatischen Bedingungen entstanden sind. Die grosse Häufigkeit der pedogenen Konkretionen spricht jedenfalls für einen äusserst langsamen Aufbau des Oberen Schuttfächers.

Mit den Sedimenten des Oberen Schuttfächers endet die sedimentäre Entwicklung des NPT. Die im Hangenden folgenden Ablagerungen des mittleren Buntsandsteins zeigen im Vergleich zu den permokarbonischen Sedimenten einen gänzlich verschiedenen Trend in der sedimentären und paläogeographischen Entwicklung (Ramseyer 1987).

4.6 Tektonische Entwicklung im Westteil des Permokarbon-Trogs zur Zeit des Perm

Der NPT lässt beim Vergleich der Sedimentmächtigkeiten einen deutlichen Trend in seiner Entwicklung erkennen. Der Ort mit der höchsten Sedimentationsrate (das bedeutet auch der Ort mit der höchsten Subsidenzrate) befand sich im Stephanien und Autunien in der Region von Riniken (Laubscher 1987; Matter 1987), verlagerte sich jedoch im Saxonien und ?Thuringien zusehends in den Raum Hochrhein und Dinkelberg.

Der Trog war im Rotliegenden durch NW-SE sowie etwa 60° dazu verlaufende, synsedimentäre Brüche in Horste und Gräben segmentiert, Faciestypen wechseln demzufolge rasch in ihrer lateralen Ausdehnung.

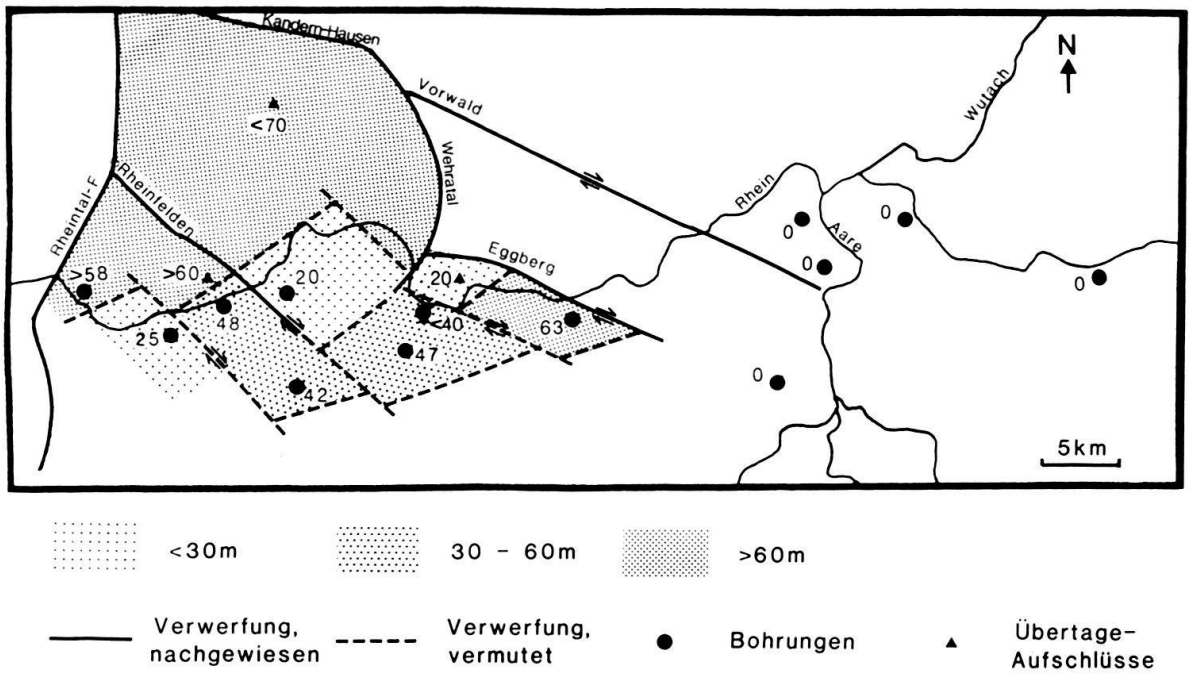


Fig. 15. Verteilung der Mächtigkeiten im Oberen Schuttfächer.

Die sehr ähnlichen Gesteinsbruchstück-Spektren im Oberen Schuttfächer sämtlicher Bohrungen und Aufschlüsse des Untersuchungsgebietes (Fig. 11) weisen auf ein zu dieser Zeit dominantes Liefergebiet hin.

Der N-Rand des Trogs ist heute zwar scharf durch die Störungen von Kandern-Hausen, Wehratal und Eggberg begrenzt (Fig. 1), eine Erosion von Rotliegendem auf dem nördlich von Säckingen und Laufenburg befindlichen Kristallinsockel kann jedoch als sehr wahrscheinlich gelten. Wenige Sedimentreste in Rotliegend-Facies sind nördlich der Eggberg-Störung bei Laufenburg erhalten geblieben (Disler 1914).

Vergleicht man die Struktur und den sedimentären Aufbau des NPT mit anderen, intramontanen Grosströgen, so fällt die ausserordentliche Ähnlichkeit mit dem devonischen Hornelen-Becken Norwegens (Steel & Gloppen 1980) und dem pliozänen Ridge-Becken Kaliforniens (Crowell 1975, in: Reading 1980) auf. Beide Tröge werden als pull-apart-Becken interpretiert. Das Hornelen-Becken zeigt im Schnitt senkrecht zur Längsachse einen asymmetrischen Aufbau und eine sehr steile Störung an der Blattverschiebungszone, während der gegenüberliegende Trograng aus einer Kombination von Diskordanzen, Horsten und Gräbern besteht (Steel & Gloppen 1980). Besonders erstaunlich ist, dass sich der Ort der grössten Sediment-Mächtigkeit genau wie im NPT entgegengesetzt zur Haupt-Sedimenttransportrichtung bewegt.

Interessant ist auch die Faciesverteilung in den beiden gut untersuchten Grosströgen von Norwegen und Kalifornien. Relativ schmalen, hauptsächlich aus debris-flow-artigen Ablagerungen aufgebauten Schuttfächern an der Blattverschiebungszone schliesst sich ein «lakustrischer Gürtel» an, während im Zentrum des Beckens fluviatile Sedimente zur Ablagerung kamen, die beckenparallel immer feinkörniger werden, je

weiter sie vom Liefergebiet entfernt sind (LINK & OSBORNE 1978; STEEL & GLOPPEN 1980).

Derart gute Aufschlussverhältnisse sind allerdings im NPT nicht anzutreffen. Ob es sich auch in der Nordschweiz um einen ähnlich aufgebauten Grosstrog handelt, muss vorerst Hypothese bleiben. Die in einem Winkel von 60° zu den NW-SE streichenden Störungen vermuteten Brüche könnten den bei dextralen Blattverschiebungen beobachteten Scherflächen vom Typ «Riedel» entsprechen (READING 1980).

Die Faciesentwicklung und Ablagerungsmilieus, die Gesteinsbruchstück-Spektren und Transportrichtungen, das Vorhandensein steiler Störungen mit Horizontalbewegungen sowie die tektonische Entwicklung lassen es sehr wahrscheinlich erscheinen, dass es sich bei dem NPT um ein pull-apart-Becken mit rechtssinnigen Blattverschiebungen handelt, wie es LAUBSCHER (1987) formulierte.

5. Schlussfolgerungen

Für den westlich an das Nagra-Untersuchungsgebiet anschliessenden Teil des Nordschweizer Permokarbon-Trogs (NPT) liefern Faciesanalysen und Interpretationen von Bohrprofilen und Übertage-Aufschlüsse Hinweise zur sedimentären und tektonischen Entwicklung des Trogs.

Das Rotliegende wird lithologisch in die Facieseinheiten Lakustrische Serie, Unterer Schuttfächer, Playa-Serie und Oberer Schuttfächer gegliedert.

Die Grenze Autunien/Saxonien wird mangels Fossilien mit dem Farbwechsel von grauer zu roter Sedimentfarbe festgelegt.

Die Lakustrische Serie wird nur in der Bohrung Wintersingen angetroffen. Palynomorphen belegen hier ein Autunien-Alter.

Alle übrigen Rotliegend-Profile (auch die Bohrungen Weiherfeld und Engerfeld) beginnen mit roten bis grüngrauen terrestrischen Ablagerungen im Saxonien.

Die Ablagerungen des Unteren Schuttfächers von Wintersingen entstanden im distalen Bereich eines progradierenden Schuttfächers, diejenigen von Weiherfeld und Engerfeld mehr beckenwärts im Bereich der Schwemmlandebene.

Die monotonen Rotschichten der Playa-Serie werden in allen Rotliegend-Profilen des Untersuchungsgebietes angetroffen. Charakteristisch für diese rotbraunen Tone sind zahlreiche Caliche-Konkretionen und flachelliptische, grüngraue Reduktionshöfe.

Der Obere Schuttfächer wird in allen Profilen aus Schuttstrom-Ablagerungen aufgebaut. Er zeichnet sich stets durch das Auftreten von Dolomit- und Gips-Konkretionen aus. In einigen Profilen werden in dieser Facieseinheit auch Chalcedon-Bildungen angetroffen. Diese Dolomit-, Gips- und Chalcedon-Bildungen deuten auf ein arides Klima und lassen es möglich erscheinen, dass der Obere Schuttfächer im Thuringien entstanden ist.

Mit den Ablagerungen des Oberen Schuttfächers endet die sedimentäre Entwicklung des Permokarbon-Trogs. Der darüber ausgebildete mittlere Buntsandstein zeigt gegenüber den permokarbonischen Ablagerungen eine deutlich unterschiedliche, detritische Zusammensetzung.

Die Gesteinsbruchstück-Spektren in den Schuttfächer-Sandsteinen (Unterer und Oberer Schuttfächer) lassen mindestens drei verschiedene Provinzen erkennen, eine

granitische Provinz im Osten, eine granitisch-metamorphe Provinz im zentralen Teil des Trogs um Kaisten und eine granitisch-vulkanische Provinz im Westen.

Die sedimentäre Entwicklung des Trogs ist eng verbunden mit tektonischen Bewegungen an den, den Grabenrand begrenzenden Brüchen. Ausser den steilen, randlichen Brüchen war der Trog schon zur Zeit der Bildung des Unteren Schuttfächers durch NW-SE sowie WSW-ENE verlaufende Brüche in Horste und Gräben segmentiert. Neben den bekannten Störungen Vorwald, Eggberg und Rheinfelden werden weitere parallel dazu verlaufende Brüche vermutet.

Der NPT lässt in seiner tektonischen Entwicklung einen generellen Trend erkennen. Der Ort mit der grössten Sedimentmächtigkeit liegt im Stephanien und Autunien im Gebiet von Riniken und wandert gegen Ende des Unteren Schuttfächers und zur Zeit der Bildung der Playa nach Westen zum Gebiet um Weiherfeld. Die grössten Sedimentmächtigkeiten werden im Oberen Schuttfächer im NW gelegenen Dinkelberg-Gebiet und im W in der Region Basel angetroffen. Der Sedimenttransport verlief entgegengesetzt dazu aus N bis W Richtungen.

Dieser Trend in der sedimentären und tektonischen Entwicklung mit wanderndem Ort der grössten Sedimentmächtigkeit entgegengesetzt zur Hauptsedimentations-Richtung wird auch von als «pull-apart-Becken» bezeichneten Trögen von Norwegen (Hornelen-Becken) und Kalifornien (pliozänes Ridge-Becken) beschrieben (Steel & Gloppen 1980; Crowell 1975, in: Reading 1980).

Die vorliegende Untersuchung unterstützt die Hypothese Laubschers (1987), dass es sich bei dem NPT um ein durch transpressive Tektonik geprägtes pull-apart-Becken mit rechtssinnigen Blattverschiebungen und steilen, synthetischen Riedel-Brüchen handelt.

6. Verdankungen

Die vorliegende Arbeit ist ein Teil meiner Dissertation bei Prof. Dr. A. Matter in Bern. Die Dissertation hat die Diagenese des Permokarbons der Nordschweiz zum Thema.

Mein Dank gilt besonders der Nagra, dem Amt für Museen und Archäologie des Kantons Baselland, dem Naturhistorischen Museum Basel-Stadt, sowie Herrn Dr. H. Schmassmann für die Überlassung des Bohrkern-Materials.

Ganz besonders danken möchte ich den Herren Prof. A. Matter, Dr. K. Ramseyer, Dr. N. Platt und Beat Keller für die vielen wertvollen Diskussionen, von welchen die vorliegende Arbeit wesentlich profitierte.

Ferner möchte ich gerne Frau H. Haas für die Hilfe bei der Textverarbeitung am Computer danken.

LITERATURVERZEICHNIS

Blüm, W. 1988: Diagenese des Permokarbons der Nordschweiz. Diss. Univ. Bern.

Boy, J. & Fichter, J. 1988: Zur Stratigraphie des höheren Rotliegenden im Saar-Nahe-Becken (Unter-Perm; SW-Deutschland) und seiner Korrelation mit anderen Gebieten. N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 176, 331–389.

Boy, J. & Hartkopf, Chr. 1983: Paläontologie des saarpfälzischen Rotliegenden. Skript zur Exkursion C, 53. Jahresversammlung d. Paläont. Gesellschaft, Mainz.

DISLER, C. 1914: Stratigraphie und Tektonik des Rotliegenden und der Trias beiderseits des Rheines zwischen Rheinfelden und Augst. Verh. Natf. Ges. Basel, XXV.

ERNI, A. 1940: Unterpermische Ganoidfische aus der Bohrung Wintersingen (Kt. Baselland). Eclogae geol. Helv. 33, 230–252.

EUGSTER, H.P. & HARDIE, L.A. 1975: Sedimentation in an ancient playa-lake complex: The Wilkins Peak Member of the Green River Formation of Wyoming. Bull. geol. Soc. Amer. 86, 319–334.

FALKE, H. 1974: Das Rotliegende des Saar-Nahe-Gebietes. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 56, 1–14.

— 1976: Problems of the continental Permian in the Federal Republic of Germany. In: FALKE, H. (Ed.): The continental Permian in Central, West and South Europe. NATO ASI Series C.: Mathematical and Physical Sci. 22, 38–52. D. Reidel publ. Comp.

GLENNIE, K.W. 1970: Desert sedimentary environment. Developments in Sedimentology, 14. Elsevier, Amsterdam.

— 1972: Permian Rotliegendes of Northwest Europe interpreted in light of modern desert sedimentation studies. Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol. 56, 1048–1071.

GÜRLER, B., HAUBER, L. & SCHWANDER, M. 1987: Die Geologie der Umgebung von Basel mit Hinweisen über die Nutzungsmöglichkeiten der Erdwärme. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. 160.

HEUSSER, H. 1926: Beiträge zur Geologie des Rheintales zwischen Waldshut und Basel. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F., 57.

HOCHULI, P.A. 1985: Palynostratigraphische Gliederung und Korrelation des Permo-Karbons der Nordschweiz. Eclogae geol. Helv. 78/3, 719–831.

HOFMANN, B., DEARLOVE, J.P.L., IVANOVICH, M., LEVER, D.A., GREEN, D.C., BAERTSCHI, P. & PETERS, Tj. 1987: Evidence of fossil and recent diffusive element migration in reduction haloes from Permian red beds of Northern Switzerland. In: COME, B. & CHAPMAN, N.A. (Eds.): Natural Analogues in Radioactive Waste Disposal. Radioactive Waste Management Ser., Comm. of the European Communities, Brussels and Luxembourg, 217–238.

HOSSACK, J.R. 1984: The geometry of listric growth faults in the Devonian basins of Sunnfjord, W Norway. J. Geol. Soc. London 141, 629–637.

LAUBSCHER, H.P. 1987: Die tektonische Entwicklung der Nordschweiz. Eclogae geol. Helv. 80/2, 287–303.

LINK, M.H. & OSBORNE, R.H. 1978: Lacustrine facies in the Pliocene Ridge Basin Group: Ridge Basin, California. In: MATTER, A. & TUCKER, M.E. (Eds.): Modern and ancient lake sediments. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. 2, 169–187.

LUTZ, M. 1964: Stratigraphische und tektonische Untersuchungen am südwestlichen Schwarzwaldrand zwischen Wiesental und Hochrhein. Oberrh. geol. Abh. 13, 75–122.

MATTER, A. 1987: Faciesanalyse und Ablagerungsmilieus des Permokarbons im Nordschweizer Trog. Eclogae geol. Helv. 80/2, 345–367.

MATTER, A., PETERS, TJ., BLÄSI, H.-R., MEYER, J. & ISCHI, H. 1988a: Sondierbohrung Weiach – Geologie. Nagra Technischer Bericht NTB 86–01, Nagra, Baden.

MATTER, A. & PETERS, TJ., ISENSCHMID, CHR., BLÄSI, H.-R. & ZIEGLER, H.-J. 1988b: Sondierbohrung Riniken. Geologie. Textband. Bundesamt für Umweltschutz, Landeshydrologie und -geologie. Geol. Ber. Nr. 5, Bern.

MÜLLER, A. 1876: Beschreibung der Bohrkernserie des Weyerfeldes. Bericht des Verwaltungsrates d. Schweiz. Steinkohlenbohrges. an die Generalversammlung der Aktionäre, Aarau.

MÜLLER, W.H., HUBER, M., ISLER, A. & KLEBOTH, P. 1984: Erläuterungen zur Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1:100 000. Nagra Technischer Bericht NTB 84–25, Nagra, Baden.

PARKASH, B., AWASTHI, A.K. & GOHAIN, K. 1983: Lithofacies of the Markanda terminal fan, Kurukshetra district, Haryana, India. In: COLLINSON, J.D. & LEWIN, J. (Eds.): Modern and Ancient Fluvial Systems. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. 6, 337–344.

PETERS, TJ. 1987: Das Kristallin der Nordschweiz: Petrographie und Hydrothermale Umwandlungen. Eclogae geol. Helv. 80/2, 305–322.

PETERS, TJ., MATTER, A., BLÄSI, H.-R. & GAUTSCHI, A. 1985: Sondierbohrung Böttstein – Geologie. Nagra Technischer Bericht NTB 85–02. Nagra, Baden.

PETERS, TJ., ISENSCHMID, CHR., BLÄSI, H.-R., MEYER, J. & ZIEGLER, H.-J. 1987a: Sondierbohrung Kaisten – Geologie. Nagra Technischer Bericht NTB 86–04, Nagra, Baden.

RAMSEYER, K. 1987: Diagenese des Buntsandsteins und ihre Beziehung zur tektonischen Entwicklung der Nordschweiz. Eclogae geol. Helv. 80/2, 383–395.

READING, H.G. 1980: Characteristics and recognition of strike slip-systems. In: BALLANCE, P.F. & READING, H.G. (Eds.): Sedimentation in Oblique-slip Mobile Zones. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. 4, 7–26.

— 1986: Sedimentary Environments and Facies. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications, London.

RÖPER, H.P. 1980: Zur Petrographie und Genese des Karneol-Dolomit-Horizontes (Grenze Rotliegendes/Buntsandstein) im Gebiet des Mittleren Schwarzwaldes. Diss. Univ. Heidelberg.

RYF, W. 1984: Thermalbohrung 1983 Engerfeld, Rheinfelden. Rheinf. Njbl., 35–52.

SCHÄFER, A. & SNEH, A. 1983: Lower Rotliegend fluvio-lacustrine sequences in the Saar-Nahe-Basin. Geol. Rdsch. 72, 1135–1146.

SCHMASSMANN, H. 1968: Abklärung der Felsgrundwasser-Vorkommen im Areal der J.R. Geigy AG, Betriebsstätte Grenzach. Priv. Korresp. m. Dr. Eigenmann, Ciba-Geigy AG.

SCHMASSMANN, H. 1974: Bericht an die Gemeinde von Kaiseraugst vom 25. 10. 1974.

SCHMASSMANN, H. & BAYRAMGIL, O. 1946: Stratigraphie, Petrographie und Paläogeographie der Perm-Formation im schweizerischen Tafeljura und die Steinkohlenfrage der Nordschweiz. Tätber. Natf. Ges. Baselland 15, 17–117.

SCHMIDT, V. & McDonald, D.A. 1979a: The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. In: SCHOLLE, P.A. & SCHLUGER, P.R.: Aspects of diagenesis. Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral. 26, 175–207.

SCHOLLE, P.A. & SPEARING, D. 1982: Sandstone Depositional Environments. Mem. Amer. Assoc. petrol. Geol., Tulsa, Oklohoma, USA.

SITTIG, E. 1981: Evidence of wrench faulting within the Paleozoic Badenweiler-Lenzkirch zone (Southern Schwarzwald Mountains. W-Germany). N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 7, 431–448.

SPRECHER, C. & MÜLLER, W.H. 1986: Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Reflexionsseismik 82. Nagra Technischer Bericht NTB 84–15, Nagra, Baden.

STEEL, R.J. 1976: Devonian Basins of Western Norway – Sedimentary response to tectonism and to varying tectonic context. Tectonophysics 36, 207–224.

STEEL, R.J. & GLOPPEN, T.G. 1980: Late Caledonian (Devonian) basin formation, western Norway: signs of strike-slip tectonics during infilling. In: BALLANCE, P.F. & READING, H.G. (Eds.): Sedimentation in Oblique-slip Mobile Zones. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. 4, 79–103.

STELLRECHT, R. 1963a: Über das Oberrotliegende im Gebiet der Schopfheimer Bucht. Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. 45, 1–11.

WILSER, J.L. 1913: Die Perm-Trias-Grenze im südwestlichen Baden. Ber. Natf. Ges. Freiburg i.Br. 20.

Manuskript eingegangen am 2. Juni 1988
Revidiertes Manuskript angenommen am 15. Januar 1989