

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN
MATÉRIAUX POUR LA GÉOLOGIE DE LA SUISSE
BULLETIN

Nr. 81

herausgegeben von der - publiés par la
Schweizerischen Geotechnischen Kommission - Commission Géotechnique Suisse

Der Nordschweizer Permokarbon-Trog
und die Steinkohlenfrage
der Nordschweiz

von

P. Diebold

1989

In Kommission bei Kümmerly & Frey AG, Geographischer Verlag, Bern

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Die Arbeit von P. Diebold gibt eine umfassende Zusammenstellung der zahlreichen, publizierten Resultate von Nagra-Untersuchungen im Nordwestschweizer Permokarbon-Trog. Dabei wird ein Überblick über die Tief-Bohrungen zwischen Pruntrut-Zipfel und Bodensee gegeben, wobei speziell auf die Ergebnisse der Nagra-Bohrung Weiach eingegangen wird. Neben den detaillierten wissenschaftlichen und technischen Ausführungen über die Steinkohlenprospekte werden auch die sedimentologischen und tektonischen Aspekte des Permokarbon-Troges klar erläutert. Abschliessend werden die Möglichkeiten der Nutzbar-machung (Untertageabbau, Untertagevergasung) der tiefliegenden (unter 1550m) Kohleflöze diskutiert und Prognosen für mögliche überschobene Kohle-Serien in geringeren Tiefen (900-1200m) gemacht.

Die Schweizerische Geotechnische Kommission erachtet die vorliegende Arbeit als wichtigen Beitrag zur Erforschung schweizerischer Rohstoffvorkommen und freut sich, diese interessanten Ergebnisse auch einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich machen zu können.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Autor alleine verantwortlich.

Zürich, März 1989

Schweizerische Geotechnische Kommission
Der Präsident
C. Schindler

Erscheint als Nachdruck der:
"Vierteljahrsschrift der
Naturforschenden Gesellschaft in Zürich"
Heft 3, Jahrgang 133, September 1988

Der Nordschweizer Permokarbon-Trog und die Steinkohlenfrage der Nordschweiz¹

Peter Diebold, Herznach

Sedimentation, Tektonik und Kohleprospekte des Nordschweizer Permokarbon-Troges werden aufgrund publizierter Resultate der Nagra zusammenfassend dargestellt.

Die Trogfüllung besteht aus kontinentalen überwiegend fluviatilen und lakustrinen Ablagerungen und wird zweigeteilt:

– Ein älterer Teil wird als Stephanien–Autunien datiert und ist auf den tiefern, eigentlichen Trog beschränkt. Dazu sind u. a. die flözführende Kohle-Serie und die durch bituminöse Gesteine charakterisierten Seeablagerungen zu rechnen. Die an die Obergrenze der Abfolge zu stellende Untere Schuttfächerserie gibt Hinweise auf synsedimentäre Tektonik.

– Der jüngere Teil greift diskordant weit über den eigentlichen Trog hinaus. Ihn sind die ins Oberrotliegende zu stellende Playa- und Obere Schuttfächerserie zuzurechnen.

Die Struktur des Permokarbon-Troges wird durch transpressive, wohl vorwiegend synsedimentäre Tektonik geprägt. Die Struktur ist durch starke Variation im Tiefgang, sowie Verfaltungen und Überschiebungen in der ältern Trogfüllung gekennzeichnet. Diese Transpressionstektonik kulminiert an der Wende Unter-/Oberperm (Saalische Phase). Im Oberperm wird nur schwache Extensionstektonik vermutet.

Die in Weiach erbohrte Kohle-Serie umfasst rund 60 diskrete Kohlelagen von 0,1 bis 4 m Mächtigkeit, mit total ca. 32 m Kohle. Die limnischen Kohlen sind vorwiegend allochthonen Ursprungs, zeigt hohen Aschegehalt und liegen im Inkohlungsbereich der Flamm- bis Fettkohlen. Das auf ca. 1585 m liegende Hauptflöz hat folgende Qualität: (Rohkohle), Aschegehalt: 10–18%; flüchtige Bestandteile: 31–33%; Heizwert: 28–31 MJ/kg; Schwefel: 0,48% (WAF); Reflexionsvermögen: 1,01 R max; Kokungsverhalten: positiv.

Ausgereifte Technologien zur Nutzbarmachung der Ressource stehen heute nicht zur Verfügung. Spekulative Prospekte, in technisch machbaren Tiefen von 900 bis 1200 m bieten jedoch die Überschiebungszonen westlich von Weiach.

The Young Palaeozoic Trough of Northern Switzerland and its Prospects for Bituminous Coal

The paper reviews on the basis of data published by Nagra aspects of sedimentation, tectonics and coal prospects of the Young Palaeozoic Trough of Northern Switzerland.

The sedimentary fill of the Trough consists mainly of terrestrial fluviatile and lacustrine deposits and has been subdivided in two parts:

The older part, of Stephanian to Autunian age, seems to be restricted to the central part of the Trough and comprises e.g. the coal measures and the Lacustrine-Series, the latter characterised by bituminous shales. The Lower Alluvial Fan-Series is indicative of synsedimentary tectonics and placed at the upper boundary of the sequence.

The younger part is reaching unconformably far beyond the central part of the Trough and comprises the Playa- and the Upper Alluvial Fan-Series.

¹ Die vorliegende Arbeit basiert grösstenteils auf den Ergebnissen der erdwissenschaftlichen Untersuchungen der Nagra in der Nordschweiz. Der Autor dankt der Nagra, insbesondere Dr. M. Thury, Chefgeologe, für die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Daten. Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und wertvollen Anregungen ist er Dr. H. Naef, Speicher, zu besonderem Dank verpflichtet.

The structure of the Young Palaeozoic Trough is dominated by probably synsedimentary, transpressive tectonic features characterised by strong lateral variations in relief, folds and overthrusts. After this transpressive phase culminating at the boundary between Lower- and Upper Permian, only weak extensional faulting is suspected for the period of the Upper Permian.

The coal measures discovered in the well Weiach contain approx. 60 seams and stringers varying in thickness from 0.1 to 4 m with a total of approx. 32 m of coal. The coals are limnic, allochthonous and have a high ash content. They range from subbituminous- to medium volatile bituminous. The main seam of 4 m is at a depth of approx. 1585 m and has the following quality: Ash content (Raw coal): 10–18%; Volatile Matter: 31–33%; Calorific value: 28–31 MJ/kg; Sulphur: 0.48% (WAF); Coking property: positive; Vitrinite reflectivity: 1.01 (R max).

Today no mature technology is available to work the seam. However, speculative coal prospects exist at a viable depth between 900–1200 m in the overthrust blocks located west of Weiach.

1 Einführung

Steinkohle gewann neben Brennholz und Wasserkraft im 19. Jahrhundert als effizienter Primärenergieträger bei fortschreitender Industrialisierung zunehmend an Bedeutung. Sie lieferte in der Schweiz um die Jahrhundertwende rund 80%, im Jahre 1940 immer noch 58% der Primärenergie (Tabelle 1). Die damals in der Schweiz bekannten Kohlevorkommen im Oberkarbon der Alpen (Steinkohle, Anthrazit), der Molasse und des Quartärs (Braunkohlen) waren durchwegs unergiebig, schwierig abzubauen und bestenfalls von mittelmässiger Qualität. Das Bestreben, den einheimischen Energiebedarf, besonders in Krisenzeiten, aus eigenen Quellen decken zu können, hätte die Erschliessung neuer, weit ergiebigerer Lagerstätten qualitativ guter Kohlen erfordert.

Tabelle 1: Prozentuale Anteile der Primärenergieträger am gesamten Bruttoenergieverbrauch der Schweiz (nach BEW, 1987, Tab. 12).

Table 1: Components of primary energy supply as percentage of gross Swiss energy consumption.

Primärenergie-Träger	1910	1940	1970	1985
Kohlen	78	56	1	2
Holz	16	16	4	1
Erdöl/Erdgas	1	8	74	58
Wasserkraft	5	25	21	15
Kernbrennstoff	–	–	–	24
Andere	–	–	–	2
(Elektr. Export)	0	–4	–3	–3
Total Brutto-Energieverbrauch 10^{12} J/a	106,8	145,2	693,5	956,6

Dabei konnten aufgrund geologischer Indizien schon damals, besonders in der Nordschweiz, Kohlevorkommen erhofft werden. Steinkohleführende Sedimente des Oberkarbons waren aber nördlich der Alpen nur im angrenzenden Ausland bekannt:

- Am Südrand der Vogesen, rund 40 km nordwestlich Pruntrut, bei Ronchamp. Diese Zechen förderten um die Jahrhundertwende ca. 200 000 Tonnen Steinkohle pro Jahr aus einer Tiefe von 300–1000 m;
- im südlichen Schwarzwald bei Baden-Baden;
- am Ostrand des französischen Zentralmassives, wo in den Kohlebecken von Autun-Epinac, Blancy-Le Creusot, St-Etienne, etc. Bergbau z.T. heute noch umgeht.

Die genannten Kohlevorkommen sind stratigraphisch dem jüngern Oberkarbon (Stephanien) zuzurechnen und werden von «sterilen», d.h. flözleeren, Rotliegend-Sedimenten (Perm) überlagert. Diese treten nun in der Nordschweiz östlich von Basel in mehreren kleinen Aufschlüssen zutage. Aufgrund der naheliegenden Vermutung, im Liegenden dieser Perm-Sedimente könnten ebenfalls kohleführende Schichten anstehen, wurden in der Nordschweiz zwischen 1825 und 1940 – hauptsächlich während Krisenzeiten – zahlreiche Tiefbohrungen auf Kohle angesetzt. Leider blieben alle erfolglos. Entweder wurde das Bohrziel aus technischen Gründen nie erreicht (z.B. Cornol südlich Pruntrut, Mumpf, Buix) oder die Bohrungen fanden kristallines Grundgebirge direkt unter Rotliegendem, wobei das erwartete flözführende Oberkarbon fehlt (Weierfeld, Zuzgen, Wintersingen, vgl. Bild 1 und Tab. 3). Immerhin konnten in der Bohrung Wintersingen (1939) erstmals bituminöse Schiefer des Unter-Rotliegenden (Autunien) über dem Grundgebirge nachgewiesen werden (A. Erni 1949; P.A. Hochuli 1985). Somit war nach Schmassmann & Bayramgil (1946) die Existenz eines, zu ähnlichen Vorkommen im französischen Zentralmassiv und den Südvogesen analogen, SW–NE verlaufenden, jungpaläozoischen Troges zu erwarten. Über die axiale Ausdehnung und die seitlichen Begrenzungen dieses Troges konnten aber weiterhin nur Vermutungen angestellt werden.

Nach dem Zweiten Weltkrieg geriet die Steinkohlenfrage der Nordschweiz weitgehend in Vergessenheit, da preisgünstiges Rohöl und die aufkommende Atomenergie Steinkohle als Primärenergieträger in der Schweiz weitgehend zu verdrängen vermochten (vgl. Tabelle 1). Ironischerweise hat aber gerade die, mit modernen Hilfsmitteln durchgeführte, regionale Prospektion auf Kohlenwasserstoffe und die Erkundung zur möglichen Endlagerung radioaktiver Abfälle der Steinkohlenfrage in der Nordschweiz wesentliche, neue Impulse zu geben vermocht.

Nachdem in der Erdöl-Aufschlussbohrung Dingeldorf-1 (1959) unter rund 569 m Rotliegend-Sedimenten erstmals 156 m Oberkarbon erbohrt wurde und zuvor 1958 in der elsässischen Bohrung Knoeringen-1 ca. 640 m Rotliegendes auf dem Grundgebirge gefunden wurde, postulierte Lemcke (1961) die Existenz eines ausgedehnten, vom Burgund über die Nordschweiz bis zum Bodensee verlaufenden, jungpaläozoischen Sediment-Troges. Der Südrand dieses «Grosstroges» wurde von Ziegler (1982, Beil. 23) – wohl aufgrund seismischer Aufnahmen und den Resultaten der Erdölbohrungen Pfaffnau-1 und

Lindau-1 (beide erreichten Grundgebirge, vgl. Tabelle 3) – auf eine Linie Bern–Bregenz gelegt.

Doch erst die zwischen 1981 und 1985 in der Nordschweiz durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen und Sondierbohrungen der Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle) erbrachten wichtige neue geologische Erkenntnisse über den von Lemcke (1961) postulierten Trog und lieferten damit auch einen Beitrag zur nordschweizerischen Steinkohlenfrage (M. Thury & P. Diebold 1987).

Die reflexionsseismischen Daten der Nagra (Chr. Sprecher & W. H. Müller 1986) erlauben heute eine genauere, wenn auch keineswegs vollständige Rekonstruktion der komplexen Struktur des Troges im Abschnitt zwischen Frick und Weiach (P. Diebold 1983; H. Laubscher 1986b). Von besonderem Interesse ist die durchgehend gekernte Nagra-Sondierbohrung Weiach (Bild 2), die 1031 m Jungpaläozoikum, davon 570 m flözführendes Oberkarbon durchteufte und in 2004 m Tiefe das kristalline Grundgebirge erreichte.

Bevor auf die in der Bohrung Weiach entdeckten Steinkohlevorkommen näher eingetreten wird, sind im folgenden Abschnitt die heutigen Kenntnisse über die sedimentäre Trogfüllung und deren Tektonik dargelegt.

2 Die spätvariszische Orogenese und der Nordschweizer Permokarbon-Trog

2.1 Regionale Übersicht

Während der Spätphase der variszischen Orogenese im Oberkarbon (Westphalien-Perm) gehörte Zentraleuropa zu einer ausgedehnten Festlandmasse, die von einer zwischen dem Ural und den Appalachen/Mauretaniën verlaufenden Transform-Verwerfungszone zerschert wurde. Diese Zone wurde von einem komplexen Muster von Scherbrüchen begleitet, an denen sich eine Vielzahl isolierter und z.T. recht tiefer Senken entwickelte (F. Arthaud & Ph. Matte 1975; P. Vetter 1986; P. A. Ziegler 1982). In diesen Senken akkumulierten die Verwitterungsprodukte der variszischen Gebirge. Bei üppigem Pflanzenwuchs im feuchtwarmen Klima und günstigen Ablagerungsbedingungen kam es während des Oberkarbons und Unterperms in der Mehrzahl dieser Senken zur Bildung limnischer Kohle und oft auch von bituminösen Schiefen in den sich bildenden stagnierenden untiefen Seen. Ungefähr in die Zeit der Wende Unter-/Oberperm fällt eine Phase verstärkter Zerscheringstektonik, wobei Merkmale kompressiver Tektonik besonders hervortreten (= Transpressive Tektonik). Die Senken wurden zu eigentlichen Trögen umgestaltet. Wie die Befunde aus den Kohlerevieren des französischen Zentralmassives (z.B. St-Etienne, Blanzy-Le Creusot, Autun, etc., R. Feys 1984) und der Saar (M. Donsimoni 1981) zeigen, kam es, sowohl an den Rändern sowie im Innern dieser Permokarbon-Tröge oft zu komplizierten Falten- und Überschiebungsstrukturen.

Während diese wohl vorwiegend synsedimentär ablaufende transpressive Tektonik im Oberperm ausklang, änderten sich auch die klimatischen Verhältnisse. So lässt u. a. auch die namengebende, typische Rotfärbung des zentral-europäischen Oberperms (= Ober-Rotliegendes, vgl. Tab. 2) auf ein weitgehend arides Klima schliessen. Die Sedimente des Ober-Rotliegendes wurden in flachen Senken abgelagert, die oft weiträumig über die Ränder der schmalen Oberkarbon-/Unterperm-Tröge hinausgreifen, und liegen deshalb auf den Trogschultern direkt dem Grundgebirge auf.

Tabelle 2 Stratigraphische Stellung der Jungpaläozoischen (Permokarbon-)Ablagerungen der Nordschweiz.

Table 2 Stratigraphic position of Young Palaeozoic (Permocarboniferous-)Sediments in Northern Switzerland.

Periode	Alter (Ma)	Epoche	Serie	Permokarbon Nordschweiz	Tektonik
TRIAS	245		Keuper Muschelkalk Buntsandstein	Disk.	
		Thuringien	(?)		
P E R M	265	Saxonien	Ober- Rotliegendes	Jüngere- Trogfüllung	(Saalische Phase)
		Autunien	Unter- Rotliegendes	Ältere- Trogfüllung	Zerscherungs- Tektonik in Zentraleuropa
	286	Stephanien	«Flözgebirge»		
K A R B O N	296	Westphalien		Disk. (in der Nordschweiz nicht nachgewiesen)	(Asturische Phase)
	315	Namurien			
	333	Viséen		(Grundgebirge)	Variszische Orogenese
	352	Tournaisien			
	360				
DEVON					

(Ma = Millionen Jahre, Disk. = Diskordanz)

2.2 Das Permokarbon der Nordschweiz, Übersicht

Fasst man die heute aus der Nordschweiz verfügbaren Daten zusammen, insbesondere die Ergebnisse der Reflexionsseismik (Chr. Sprecher & W. H. Müller 1986; B. Gürlér et al. 1987) und der Bohrungen (A. Matter 1987; A. Matter et al. 1987 a & b; Tj. Peters 1987; U. P. Büchi et al. 1965; M. Lutz 1964), so lässt sich ein recht gutes Bild der jungpaläozoischen Ablagerungen der Nordschweiz rekonstruieren, das sich mit regionalen Erkenntnissen weitgehend zu

decken scheint. Auch für die Nordschweiz ist eine Zweiteilung der Schichtfolge möglich:

- Die «ältere Trogfüllung» (Tabelle 2) wurde in den Bohrungen Wintersingen, Weiach und Dingelsdorf-1 durchteuft und konnte als Stephanien bis Autunien datiert werden (A. Erni 1949; P.A. Hochuli 1985; K. Lemcke & R. Wagener 1961). Die Abfolge der Bohrungen Weiach umfasst eine Sedimentserie, die im tieferen Abschnitt Kohle führt (Kohle-Serie). In Wintersingen wurde allerdings nur die oberste, als Autunien datierte Abteilung dieser Serie direkt über Grundgebirge abgelagert (H.J. Schmassmann & O. Bayramgil 1946). Die Ablagerungen der älteren Trogfüllung sind reich an Pflanzenresten, Kohle und Ölschiefer und meist von grauer Farbe. Die Verbreitung dieser Ablagerungen scheint sich auf einen relativ schmalen, rund 10 bis 12 km breiten, aber über 5 km tiefen Trog, den Permokarbon-Trog s.str., zu beschränken (vgl. Bilder 1 und 5).

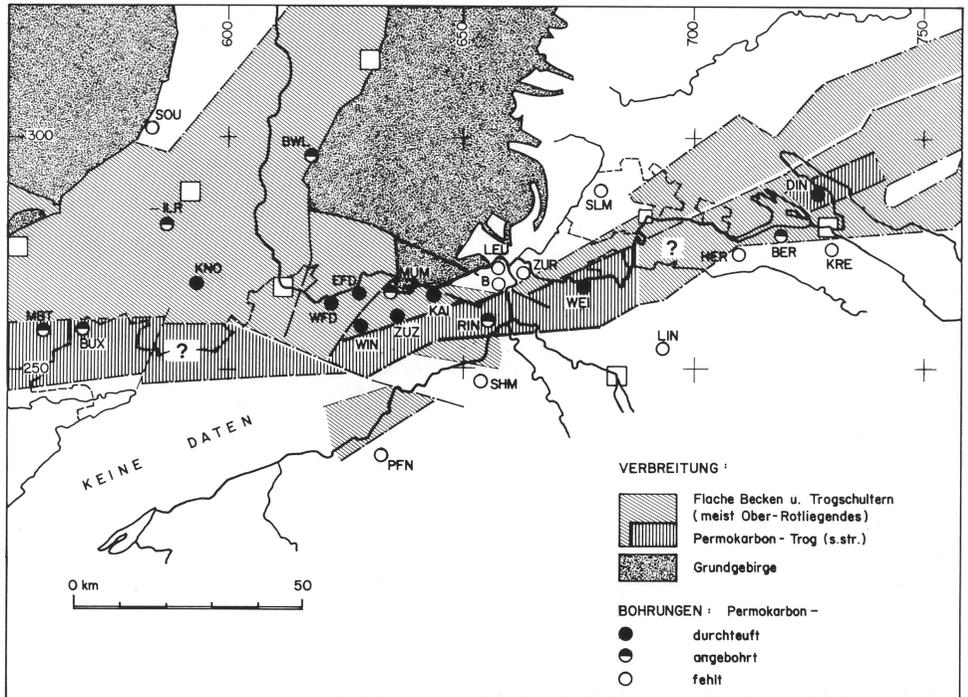


Bild 1 Der Permokarbon-Trog und die vermutete Verbreitung jungpaläozoischer Sedimente in der Region Nordschweiz. Kompilation: im süddeutschen Raum nach Lemcke (1981) und Kettel & Herzog (1988); im Oberrheingraben nach Munck et al. (1979). Abkürzungen für die Bohrungen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Fig. 1 The Young Palaeozoic Trough and the tentative extent of Young Palaeozoic sediments in Northern Switzerland and adjacent areas. Compilation: for Southern Germany, after Lemcke (1981) and Kettel & Herzog (1988); for the Upper Rhinegraben area, after Munck et al. (1979). Abbreviations for wells are given in Table 3.

Tabelle 3 Bohrungen ins Perm oder ins Grundgebirge der Nordschweiz.

Die Bohrungen sind von Westen nach Osten angeordnet. Die Liste ist besonders im Raume Zurzach nicht vollständig. Im Deutschen Bodenseeraum sind die relevanten Daten nicht verfügbar.

Table 3 Exploration wells in Northern Switzerland having reached the Permian and/or Basement.

Wells are arranged from west to east, the table is not complete for the Zurzach area, for Southwest Germany relevant data are not available.

Bohrung	Abk.		Jahr Bohrung	ET (m)	M Perm	M Karbon	Fm. ET.
Montbouton-1	MBT	E	1958	1130	> 90	?	P
Buix	BUX	K	1919	1053	> 9	?	P
Soultz-1	SOU	E	1953	2438	0	-	Pz
Illfurt-1	ILR	E	1952	1354	> 73	-	P
Knoeringen-1	KNO	E	1959	2149	642	0	Gr
Badenweiler-1	BAD	W	1971	505	> 43	-	P
Weierfeld	WFD	K	1875	434	327	0	Gr
Engerfeld	EFD	W	1983	600	250	0	Gr
Wintersingen	WIN	K	1939	440	414	0	Gr
Zeiningen	ZEI	K	1876	205	NE		K
Pfaffnau-1	PFN	E	1963	1843	0		Gr
Zuzgen-1	ZUZ	K	1940	403	176	0	Gr
Zuzgen-2	ZUZ	K	1940	259	167	0	Gr
Wallbach	WLB	K	1870	150	> 150	-	P
Mumpf	MUM	K	1898	207	> 180	-	P
Kaisten	KAI	N	1984	1306	172	0	Gn
Schafisheim	SHM	N	1984	2006	0		Sy
Riniken	RIN	N	1984	1801	> 985	?	P
Leuggern	LEU	N	1985	1689	0		Gr
Böttstein	BOE	N	1983	1501	0		Gr
Zurzach-3	ZUR	W	1980	550	0		Gr
Weiach	WEI	N	1983	2482	461	570	Sy
Schleitheim	SLH	S	1823	159	0		Gr
Lindau-1	LIN	E	1964	2377	0		Gr
Herdern-1	HER	E	1981	2154	0		Gr
Berlingen-1	BER	E	1964	2311	> 4	?	P
Dingelsdorf-1	DIN	E	1960	2702	569	156	Gr
Kreuzlingen-1	KRE	E	1962	2550	0		Gn

Abkürzungen:

(Abbreviations:
(drilling objective)

(Formations)

K:	Kohlebohrung	:	Coal	K:	Keuper
E:	Erdöl-Bohrung	:	Oil and gas	P:	Perm
N:	Sondierbohrung der Nagra	:	Radioactive waste disposal	Gr:	Granit
W:	Wasserbohrung	:	Water	Gn:	Gneis
S:	Salzbohrung	:	Rocksalt	Sy:	Syenit
ET	.Endteufe (m)		Total depth		
Fm.	Formation		Formation		
M	Mächtigkeit (m)		Thickness (m)		
NE	Nicht erreicht		Not reached		

Der im Bild 1 dargestellte Verlauf des Nordschweizer Permokarbon-Troges (W.H. Müller et al. 1984; synonym zu Konstanz–Frick-Trog, H. Laubscher 1986a) lässt sich im Abschnitt zwischen Frick im Westen und Eglisau im Osten relativ sicher kartieren. In diesem Trogabschnitt lässt sich die Spur des südlichen Trograndes aufgrund der reflexionsseismischen Daten der Nagra (Chr. Sprecher & W.H. Müller 1986) unter der nördlichen Überschiebungsfrent des Kettenjuras wenigstens in groben Zügen von der Staffelegg bis ans Ostende der Lägerenkette verfolgen (H. Laubscher 1986a). Der nördliche Trogrand, dessen Verlauf sich anhand von Daten aus der Oberflächengeologie, aus Bohrungen und von geophysikalischen Untersuchungen etwas genauer erfassen lässt, zeigt einen komplizierten Bau, welcher sich aus der Durchkreuzung der WSW–ENE verlaufenden Trogrand-Störungszone mit zwei aus dem Südschwarzwald bekannten WNW–ESE streichenden Blattverschiebungen (Eggberg- und Vorwaldstörung) ergibt.

Im Bodenseegebiet und dem Südwestdeutschen Alpenvorland wurde der Verlauf des Troges von Lemcke (1981) und neuerdings von Kettel & Herzog (1988) dargestellt. Die Verbindung zum Nordschweizer Trog ergibt sich aus gravimetrischen Daten (E. Klingelé 1986) und den Erdölbohrungen Kreuzlingen-1, Berlingen-1 und Herdern-1 (U.P. Büchi et al. 1965; A. Matter 1987).

Dagegen ist die im Bild 1 dargestellte Verlängerung nach Westen ins Gebiet der Ajoie hinein weitgehend hypothetischer Art und wurde in Analogie zu den Befunden der Nordschweiz konstruiert. Dabei darf von einer Fortsetzung des Troges wenigstens bis ins Gebiet südlich der Bohrung Wintersingen ausgegangen werden, wo Reflexionsseismik stark nach Süden einfallendes Grundgebirge bei zunehmender Mächtigkeit des Permokarbons zeigt (B. Gürler et al. 1987, Abb. 2, 3 und 4).

- Die «jüngere Trogfüllung» (Tabelle 2) wird hauptsächlich von Ober-Rotliegendem (Oberperm) und auf den Trogschultern geringmächtigen (grauen), dem (?) Unter-Rotliegenden zugeordneten Ablagerungen gebildet. Die Sedimentation erfolgte in einer weiträumigen und meist untiefen Senke. Diese reicht weit über den eigentlichen Permokarbon-Trog hinaus, wo die Serie direkt dem Grundgebirge aufliegt (Bohrungen Knoeringen-1, Weierfeld, Engerfeld, Zuzgen, Kaisten, vgl. Bild 3).

2.3 Das Permokarbon der Bohrung Weiach

Der Nagra-Sondierbohrung Weiach (1983) kommt eine Schlüsselstellung zu. Soweit dies heute beurteilt werden kann, wurde in dieser Bohrung erstmals in der Nordschweiz die kohleführende Permokarbonserie vollständig durchteuft. Zudem verdanken wir dem Umstand, dass die Sedimentstrecke vollständig im Kernmarsch durchteuft wurde, eine solche Fülle detaillierter Informationen, wie sie normalerweise aus Tiefbohrungen nicht verfügbar ist.

Das Kernmaterial von Weiach wurde im Detail analysiert und die Resultate publiziert (A. Matter 1987, A. Matter et al. 1987a).

Aufgrund sedimentologischer Merkmale, der Sedimentfarbe sowie der Flora und Fauna konnten Matter et al. (1987a) das Permokarbon von Weiach in 11 lithofazielle Einheiten gliedern, die in Bild 2 nach Matter (1987) schematisch wiedergegeben sind.

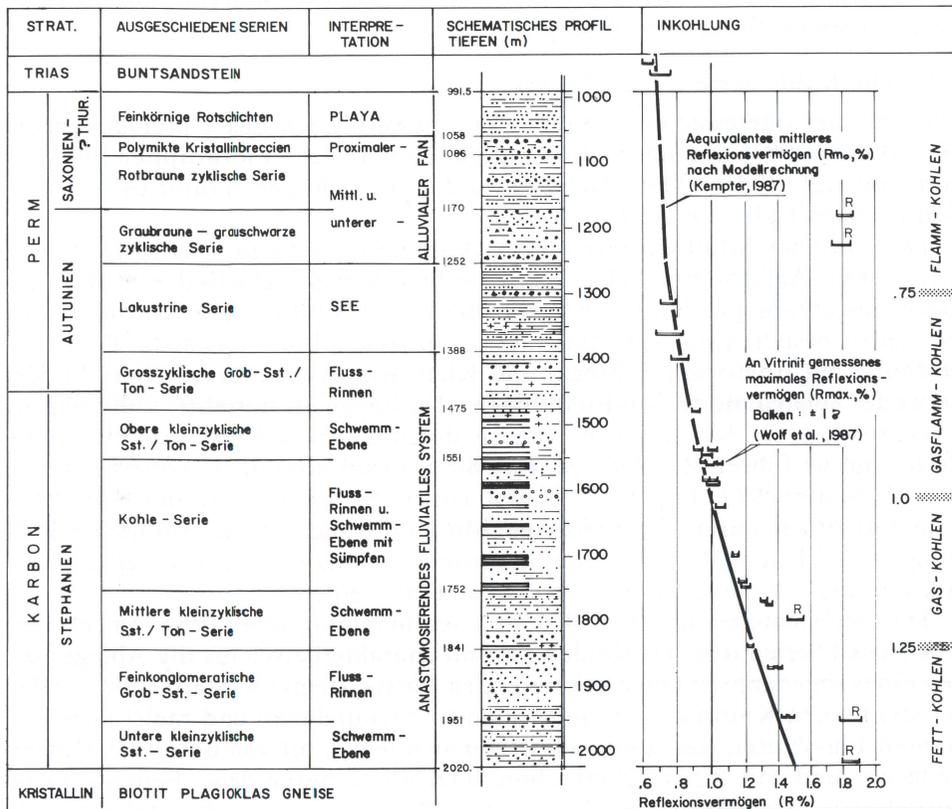


Bild 2 Sondierbohrung Weiach der Nagra: Stratigraphische und lithofazielle Gliederung der jungpaläozoischen Sedimentserie und deren Inkohlungsgrad, nach Matter (1987) und Kempster (1987).

Fig. 2 Exploratory Well Weiach, Nagra: Stratigraphic and lithofacies subdivisions of the Young Palaeozoic sedimentary sequence and its state of coalification, after Matter (1987) and Kempster (1987).

Approx. correlation of coalranks:
 German (DIN) / British (BS)
 Flammkohlen (Subbituminous coals in parts)
 Glasflammkohlen / High volatile bituminous coals
 Gaskohlen und Fettkohlen / Medium vol.bit.coals

Der rund 630 m mächtige untere Abschnitt der durchbohrten Permokarbon-Serie lässt sich in fünf zyklisch gegliederte (Grob-)Sandstein-/Tonserien unterteilen, denen von 1752 bis 1551 m die ebenfalls zyklisch aufgebaute «Kohle-Serie» zwischengeschaltet ist. Diese Abfolge wird von z. T. bituminösen Seeablagerungen, der «Lakustrinen-Serie» (1388–1252 m) überlagert. Nach den besonders im feinpelitischen Sedimentanteil häufig vorhandenen Pflanzenresten (M. Remy 1987) sowie der Pollenanalyse (P. A. Hochuli 1985) konnte dieser untere Profilabschnitt als Stephanien bis unteres Autunien datiert werden (= ältere Trogfüllung).

2.3.1 Die Kohle-Serie (1752–1551 m)

Die uns hier interessierende Kohle-Serie besteht nach den Untersuchungen von Matter (1987) aus neun Grosszyklen, denen sechs Flözgruppen eingelagert sind (vgl. Bild 6). Das Dach des rund 4 m mächtigen Hauptflöz befindet sich in einer Tiefe von ca. 1585 m.

Die einzelnen lithologischen Grosszyklen setzen mit einem Sandstein, aber meist ohne Aufarbeitung über einem pelitischen Schichtglied ein, die das Dach des unterliegenden (vorhergehenden) Zyklus bildet. Die Sandsteinglieder selbst bestehen aus übereinandergestapelten «fining upward» Zyklen 1. Ordnung mit trogförmiger Mega- und Klein-Rippelschichtung. Diese bilden entweder amalgamierte Sandsteinflöge oder liegen als einzelne, vollständige Zyklen mit einer Kohleschicht vor, in deren Dach sich oft durchwurzelter Pflanzenreste-führende schwarze, bituminöse und laminierte Tone befinden (vgl. A. Matter 1987, Fig. 4). In diesen Tönen eingeschaltet findet man gelbliche Sideritlagen und Toneisensteine. Mit Kohle und Peliten sind häufig Tuffitlagen, im Hauptflöz auch Kaolintonsteine assoziiert, die als vulkanische Aschen und verschwemmte Tuffe interpretiert werden.

Die beobachteten lithofaziellen und sedimentologischen Phänomene der Zyklischen Serien und der Kohleserie sind charakteristisch für die Ablagerungen eines sogenannten anastomosierenden Flusssystemes (A. Matter 1987). Dieses stellt einen Komplex von untereinander verbundenen und meist lagekonstanten Flussläufen dar, zwischen denen sich weite, oft von untiefem Wasser bedeckte und mit einer Oberkarbon-Sumpfflora bestandene Feuchtgebiete ausdehnten. Wie Vergleiche mit rezenten Beispielen zeigen, handelte es sich dabei um eigentliche Sumpflandschaften mit Torfmooren und Mooreseen, deren Flächenanteil 50–90% des weitverzweigten Systems ausmachen können (D. G. Smith and P. E. Putnam 1980). Häufige Sedimentzufuhren durch hochwasserführende Flüsse hatten Uferdurchbrüche und lokale Deltabildungen zur Folge, welche die Akkumulation von organischem Material unterbrachen oder die sich bildenden Cordaiten(Torf)moore und Calamites «Auen» an Fluss- und Seeufern wieder erodierten. Im weiter von den Flussläufen entfernten Bereich der Schwemmebene wurde das erodierte Pflanzenmaterial wieder abgelagert. So entstanden in diesem anastomosierenden System vorwiegend detritusreiche, d.h. mit Fremdmaterial verunreinigte allochthone

Kohlen, wie Wolf et al. (1987) dies auch für die im Detail untersuchten Flöze und Kohlelagen der Bohrung Weiach nachweisen konnten. Das Hauptflöz (1587–1591 m) beispielsweise entstand aus zusammengeschwemmten Torfpartikeln eines Waldmoores, die zusammen mit den im Wasser lebenden Algen in einem Moorsee abgelagert wurden.

2.3.2 Seeablagerungen, Die Lakustrine-Serie (1388–1252 m)

Wohl waren Seen schon im anastomosierenden Flusssystem weit verbreitet, doch wurden sie weitgehend von fluviatilen Prozessen dominiert und waren geologisch meist nur von sehr kurzer Dauer. Im Autunien wurde diese fluviatile Facies durch eine lakustrische abgelöst. Dabei gelang es, aufgrund der Pollenzonierung (P.A. Hochuli 1985) die Lakustrine-Serie von Weiach mit gleichaltrigen Seeablagerungen der Bohrung Wintersingen (ca. 340–421 m) zu korrelieren. Daraus lässt sich die Vorstellung einer ausgedehnten Seenlandschaft ableiten, welche im Unterperm (Autunien) den Nordschweizer Permokarbon-Trog prägte.

Die lithologische Abfolge der Seeablagerungen von Weiach zeigt häufige Facieswechsel und einen komplizierten Aufbau. Die sich mehrfach neu bildenden Seen wurden immer wieder durch grobklastische, fluviatile Deltaschüttungen eingedeckt. Die häufigen Fischschuppen, Ostrakoden und Estherien sind wohl ein Indiz für sauerstoffreiches Wasser, doch spricht die oft fehlende Bioturbation für sauerstoffarmes Bodenwasser und anoxische Bedingungen im Sediment. Die vorwiegend schwach kalkigen und laminierten, bituminösen Tone wurden bei fehlender fluviatiler Schüttung als Sapropele abgelagert. Algenstromatolithen zeigen zumindest zeitweise untiefes, gut durchlichtetes Wasser an.

Aus den Mächtigkeitsverhältnissen der einzelnen Faziestypen geht hervor, dass es sich um sehr flache Seen gehandelt haben muss, die in relativ kurzer Zeit verlandeten. Trotzdem zeigt die Aufeinanderstapelung mehrerer solcher Verlandungszyklen, dass im Autunien während längerer Zeit ein ausgedehnter Seenkomplex bestanden hat.

2.3.3 Die Untere Schuttfächer-Serie (1252–1058 m)

In den von Matter (1987) im Detail untersuchten Bohrungen Weiach und Wintersingen (dort ca. 185–340 m) folgen über der Lakustrinen-Serie zunächst graue, und im Hangenden rote z.T. grobklastische Sedimente. Diese Abfolge wird von Matter (1987) als ein sich vorbauender alluvialer Schuttfächer interpretiert (vgl. Bilder 2 und 3). Er besteht aus einzelnen Zyklen, die an der Basis entweder mit Konglomeraten, massiven Breccienhorizonten und/oder Grobsandsteinen beginnen und nach oben bei abnehmender Korngrösse in Feinsand- oder Siltsteine übergehen. Einzelne Zyklen bauen solche höherer Ordnung auf. Die Korngrösse nimmt über die ganze Schuttfächerserie von unten nach oben generell zu (vorbauender Schuttfächer). Der auffällige Farbwechsel von grau zu rot lässt sich in Weiach (1170 m), Wintersingen (ca. 300 m),

aber auch in grobklastischen Ablagerungen der Bohrungen Engerfeld (360 m, W. Ryf 1984) und Weierfeld (360 m, H. J. Schmassmann & O. Bayramgil 1946) beobachten. Aufgrund verfügbarer lithologischer Beschreibungen wurden diese Bohrungen auf Bild 3 unter Vorbehalt mit Kaisten und Wintersingen korreliert (vgl. hierzu auch M. Lutz 1964). Der Farbwechsel zu roter Farbe, das Abnehmen der Bioturbation und das Auftreten vereinzelter Calicheknollen sind Zeugen des Umschwunges vom semi-humiden zum semi-ariden Klima an der Wende vom Unter- zum Ober-Rotliegend (vgl. hierzu auch P. A. Hochuli 1985).

2.3.4 Die Playa-Serie (991–1058 m)

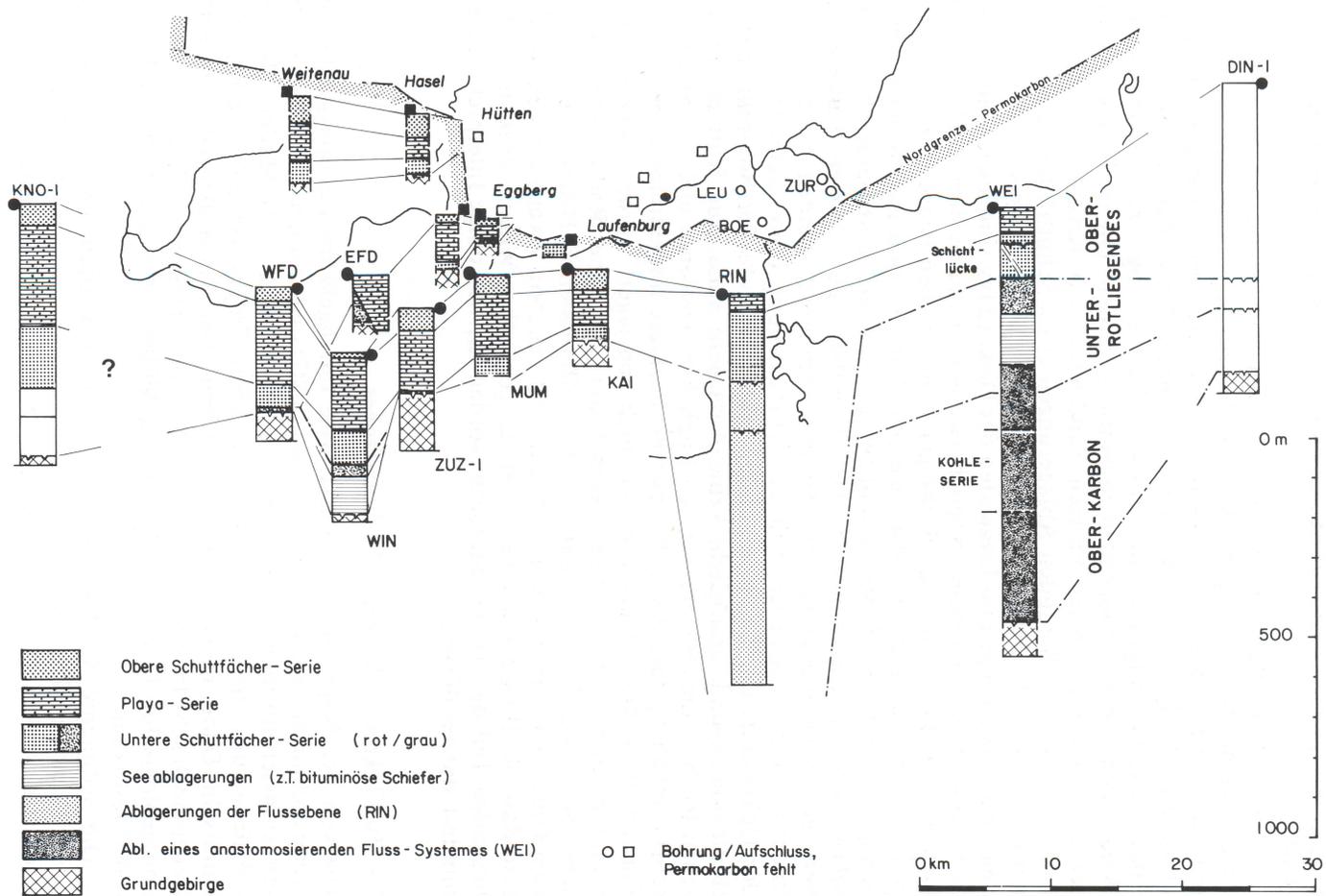
Die Untere Schuttfächer-Serie wird an einer scharfen Grenze von ziegelroten Tonen und Siltsteinen überlagert, die Matter (1987) und Matter et al. (1987a) als Ablagerungen einer Playa identifizieren konnten und die wir der jüngern Trogfüllung zurechnen. Zu den diagnostischen Indizien gehört das Auftreten von dünnen Sandsteinlagen, die episodische Regenfälle und damit weiträumige Überschwemmungen widerspiegeln und von Adhäsionsrippeln, die entstehen, wenn der Wind Sand über die noch feuchte Bodenoberfläche verbläst. Die zahlreichen Trockenrisse sind typisch für das nachfolgende Austrocknen der tonig-siltigen Oberflächensedimente. Das Fehlen von Lebensspuren in diesen dem Ober-Rotliegenden zugerechneten (Rot-)Sedimenten verunmöglicht eine biostratigraphische Korrelation; dennoch lässt sich die durch ihre charakteristische Lithologie leicht erkennbare Playa-Serie im ganzen Bereich des Permokarbon-Troges nachweisen (Weiach bis Knoeringen, vgl. Bild 3).

2.3.5 Obere Schuttfächer-Serie

In den am nördlichen Trogrand gelegenen Bohrungen und Aufschlüssen wird die Playa-Serie von einem oberen alluvialen Schuttfächer überlagert. Die grosse Häufigkeit pedogener Caliche-Bildungen, die u. a. in Kaisten (Tj. Peters et al. 1987) und auch in den randlichen Aufschlussgebieten des Rotliegenden auftreten, deuten auf einen diskontinuierlichen und langsamen Aufbau dieses Schuttfächers (A. Matter 1987). Diese Caliche-Bildungen wurden von älteren Autoren u. a. zur lithostratigraphischen Gliederung des Ober-Rotliegenden am südlichen Schwarzwaldrand herangezogen (Zusammenfassung in M. Lutz 1964; D. Ortlam 1974). Die auf Bild 3 im genannten Gebiet dargestell-

Bild 3 Versuch einer stratigraphischen und lithofaciellen Korrelation der erschlossenen jungpaläozoischen Sedimente der zentralen Nordschweiz. z.T. nach Matter (1987) und Lutz (1964). Die Lage der Bohrungen Knoeringen und Dingelsdorf ist nicht massstäblich dargestellt. Abkürzungen nach Tabelle 3. ►

Fig. 3 Tentative stratigraphic and lithofacies correlation of drilled and exposed Young Palaeozoic sediments in Central Northern Switzerland pp. according to Matter (1987) and Lutz (1964). The position of the wells Knoeringen and Dingelsdorf is not to scale. For abbreviations see Table 3.



te Zuordnung zur Oberen Schuttfächer-Serie stützt sich weitgehend auf Lutz (1964).

In der dargelegten lithostratigraphischen Gliederung des Permokarbon-Troges nimmt die Bohrung Riniken eine Sonderstellung ein (vgl. Bild 3). Die unter der Unteren Schuttfächer-Serie durchbohrte, rund 750 m mächtige grobklastische Abfolge muss zwischen einer oberen Diskordanz bei 1053 m und Endteufe (1801) aufgrund ihrer Farbe und in Analogie zu den Befunden in Weiach dem Ober-Rotliegenden zugeordnet werden. Die im Hangenden dieser Diskordanz erbohrten tonigen Sandsteine und Kristallinbreccien sind nach lithofaciellen Befunden Ablagerungen eines Schuttfächers und können mit der Unteren Schuttfächer-Serie von Weiach und Kaisten korreliert werden. Die Ablagerungen im Liegenden der Diskordanz sind nach Matter (1987) Sedimente einer Flussebene, möglicherweise im distalen Bereich eines Schuttfächers. Lithofaciell analoge Bildungen sind aus den benachbarten Bohrungen Weiach und Kaisten nicht bekannt. Für die Bohrung Weiach konnte Kempter (1987) mit Modellrechnungen für den Inkohlungsgrad des organischen Materials jedoch zeigen, dass im Bereich der Unteren Schuttfächer-Serie eine Schichtlücke von ca. 1000 m angenommen werden muss. In Anbetracht der recht ungenauen zeitlichen Eingabelung dieser Schichtlücke und der Unkenntnis der Sedimentabfolge unter Endteufe der Bohrung Riniken (Reflexionsseismik ermöglicht keine Aussagen) muss eine Korrelation zwischen Riniken und Weiach für den fraglichen Abschnitt offenbleiben. Es erscheint möglich, dass die in Riniken beobachtete rotgefärbten Abfolge einer Flussebene in Weiach ursprünglich auch abgelagert worden war, dort aber während einer nach der Wende vom Unter- zum Ober-Rotliegenden (Saalische Phase, vgl. Tab. 2) stattfindenden differentiellen Hebung der Erosion zum Opfer fielen (vgl. hierzu A. Matter 1987, p.356). Zweifellos steht jedoch fest, dass die Bohrung Riniken in einem gegenüber Weiach strukturell tiefer liegenden Teil des Troges angesetzt worden ist, was obige Interpretation zumindest stützen dürfte.

2.4 Zur Tektonik des Permokarbon-Troges

Die von der Nagra in der Nordschweiz durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen (M. Thury & P. Diebold 1987) insbesondere die Resultate der reflexionsseismischen Aufnahmen (Chr. Sprecher & W.H. Müller 1986), ermöglichen uns, die Struktur des Permokarbon-Troges wenigstens teilweise zu enträtseln. Dabei muss festgehalten werden, dass das strukturelle Bild einstweilen noch sehr lückenhaft bleibt. Dafür gibt es mehrere Gründe seismischer und geologischer Natur, wie Sprecher & Müller (1986) und Kettel & Herzog (1988) festhalten:

- Die Sedimente des Permokarbons liegen diskordant unter einer wohlgeschichteten und seismisch sehr kontrastreichen mesozoischen Schichtserie, die sich durch gut identifizierbare Reflektoren auszeichnet, dabei aber

auch zu internen multiplen Reflexionen (sogenannte Peg-legs) Anlass gibt. Diese multiplen Reflexionen sind oft nur schwer, bei flacher Lagerung manchmal auch gar nicht, von echten Signalen aus dem Permokarbon zu unterscheiden.

- Gegenüber der mesozoischen Schichtfolge zeigen die klastischen Sedimente des Permokarbons nur wenig laterale Konstanz (z.B. Schuttfächer-Serien) und auch weit geringere seismische Kontraste (vgl. die Sonik-Logs für Weiach und Riniken auf Bild 4). Zudem ist die Stratigraphie der Sedimente im Permokarbon-Trog nur unvollständig bekannt. Auch ist mit dem Vorkommen von bisher unbekannter Sedimentserien unter dem Mesozoikum zu rechnen, z.B. mit Äquivalenten der Badenweiler–Lenzkirch-Zone (Oberdevon-Unterkarbon des Südschwarzwaldes) oder mit Sedimenten des Westfalien wie im Permokarbon der Bohrung Entlebuch (T. Vollmayr & A. Wendt 1987). Eine gesicherte geologische Zuordnung der erkennbaren Reflektoren ist deshalb nicht möglich.
- Zudem tritt das kristalline Grundgebirge gegenüber den aufliegenden Sedimenten seismisch nicht in Erscheinung, ein Umstand, der die geologische Interpretation der Reflexionsseismik zusätzlich erschwert.
- Aufgrund der vorliegenden Daten muss auf eine komplizierte und relativ kleinräumig gegliederte Tektonik im Permokarbon-Trog geschlossen werden. Die Maschenweite von ca. 7 km des heute verfügbaren Netzes von Seismiklinien erlaubt es daher nicht, die Strukturen schlüssig zu kartieren.

In Anbetracht dieser erschwerenden Umstände sind bei der geologischen Interpretation der seismischen Rohdaten Vergleiche mit besser erforschten Analogiefällen unumgänglich. Dazu bieten sich die geologisch gleichaltrigen und auch in tektonischer Hinsicht vergleichbaren Kohle-Becken des französischen Zentralmassivs an, wo der Steinkohle-Bergbau wesentlich zur geologischen Erforschung beigetragen hat (z. B. J. P. Gélard et al. 1986).

Nachdem die Grossstruktur des Nordschweizer Permokarbon-Trogens von Diebold (1983) und Sprecher & Müller (1986) vorerst als Folge einer Graben-Tektonik vom Typus Oberrhein-Graben interpretiert wurde, zeigte sich jedoch bald, dass dieses einfache Modell in wesentlichen Punkten mit den seismischen Befunden im Widerspruch steht. Laubscher (1986b und 1987) hat daraufhin eine neue Interpretation erarbeitet, die den verfügbaren Daten gerechter wird; sie geht im wesentlichen von einem regionalen Vergleich aus und passt deshalb auch in den Rahmen der jungpaläozoischen Tektonik Zentraleuropas. Im folgenden soll versucht werden, die wesentlichen Punkte dieses Modells darzulegen.

Die auf Bild 4A als Strichzeichnung wiedergegebene Seismik-Linie 82-NS-70, die ungefähr in der Trogachse und durch die Bohrung Weiach verläuft, ist die aus der Bohrung vorgegebene geologische Reflektoridentifikation eingezeichnet. Auffällig ist das Band starker, allerdings welliger Reflexionen, das sich von Weiach westwärts verfolgen lässt und das der Kohle-Serie zugeordnet werden kann (A auf Bild 4A). Das Fehlen ebenso charakteristischer Refle-

xionen aus der Schuttfächer- und Lakustrinen-Serie des Perms sowie aus dem Dach des Grundgebirges ist ziemlich auffällig. Rund 8 km westlich von Weiach tritt im Tiefenbereich des Perms von Weiach ein auffallend starkes, leicht gegen Osten geneigtes Reflexionsbündel auf, das sich schuppenartig vom Band der Kohle-Serie ablöst, nach oben gegen die Basis des Mesozoikums anstößt und sowohl an der Basis als auch gegen Westen abgeschnitten scheint (C auf Bild 4).

Diesem auffallenden «oberen» Reflexionsbündel kommt, wie Sprecher & Müller (1986, p. 156) und auch Laubscher (1987, p. 293) betonen, eine zentrale Bedeutung für die Interpretation der Tektonik des Permokarbon-Troges zu.

Diese Reflexionen könnten als Ausdruck eines von Westen nach Osten progradierenden, in Weiach aber fehlenden (oberen) Schuttfächers angesehen werden. Gegen diese Interpretation spricht nicht nur ein Vergleich mit dem seismischen Charakter (Fingerprint) der permischen Schuttfächer-Serien von Weiach und Riniken, sondern auch das relativ steile Einfallen der Reflexionen, das in solchen Sedimentkörpern kaum zu erwarten wäre.

Die Zuordnung dieses Reflexionsbündels zur Kohle-Serie ist unter den möglichen Interpretationen wohl die plausibelste. Als Konsequenz dieser – allerdings bisweilen ungesicherten – Reflektoridentifikation muss geschlossen werden, dass hier eine verschuppte Überschiebungsmasse im Innern des Troges vorliegt, die nach Westen möglicherweise durch eine Horizontalverschiebung abgeschnitten wird. Die Glaubwürdigkeit dieser Interpretation wird durch einen Vergleich der Tektonik geologisch gleichaltriger Tröge in Zentral-europa untermauert, in denen sowohl Überschiebungen als auch Horizontalverschiebungen durch Kohlebergbau direkt aufgeschlossen und damit nachgewiesen wurden (R. Feys 1984; M. Donsimoni 1981). Der Beweis dieser Inter-

Bild 4 Seismikprofile durch den Permokarbon-Trog.

4A Ost–West–Längsprofil Weiach–Riniken, Strichzeichnung nach der unmigrierten Seismik-sektion 82-NS-70 der Nagra.

4B Nordost–südwest–Querprofil bei Riniken, Strichzeichnung nach Teilen der unmigrierten Seismik-sektionen 82-NF-30 und 82-NX-40 der Nagra.

Das seismische Reverenzniveau (0 Sek.) liegt bei + 500 m.

Der Vertikalmasstab der Profile ist in doppelter Laufzeit angegeben (TWT).

Neben den Bohrungen Weiach und Riniken sind die Sonik-Logs massstäblich dargestellt. Eingekreiste Buchstaben, vgl. Text.

Fig. 4 Seismic profiles through the Young Palaeozoic Trough.

4A East–West profile, along strike, between Weiach and Riniken. Line drawing after the unmigrated seismic section 82-NS-70 by Nagra.

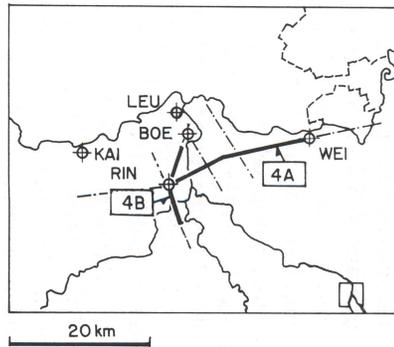
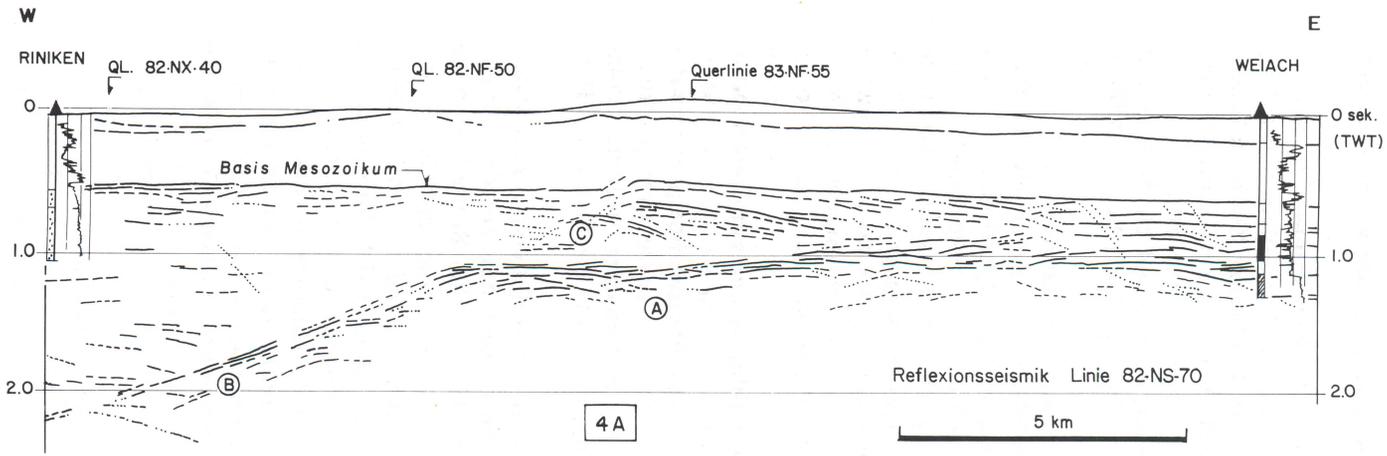
4B Northeast–southwest profile across the Trough, located near Riniken. Line drawing after parts of the unmigrated seismic sections 82-NF-30 and 82-NX-40 by Nagra.

Seismic reverence datum is + 500 m.

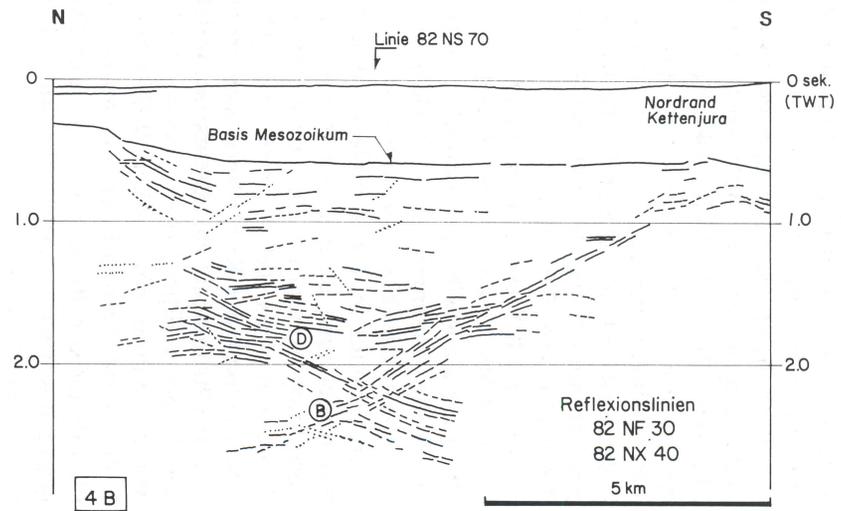
The vertical scale of the profiles is expressed in two way travelttime (TWT).

Sonic Longs drawn to scale are next to the wells Weiach and Riniken.

Encircled letters, see text.



LAGESKIZZE



pretation bleibt allerdings weiteren Untersuchungen (Seismik und Tiefbohrungen) vorbehalten.

Im westlichen Teil auf Bild 4A biegt das von Weiach kommende (untere) Reflexionsbündel der Kohle-Serie nach unten und ändert zudem hier seinen Charakter (B auf Bild 4A). Dennoch ist (nach H. Laubscher 1986b) anzunehmen, dass es sich um Reflexionen aus der Kohle-Serie oder evtl. einer äquivalenten Ablagerung handelt. Die Reflexion taucht über eine Strecke von ca. 15 km westwärts ab. Unter der Bohrung Riniken liegt sie auf ca. 5000 m und erreicht rund 8 km westlich von Riniken den tiefsten Punkt bei ca. 7000 m (Reflexionszeit: 2,9 Sek.).

Diese nach Westen abtauchende Reflexion lässt sich auf den die Seismik-Linie 82-NS-70 kreuzenden Querlinien ebenfalls identifizieren (B auf Bild 4B). Eine glaubwürdige tektonische Interpretation dieser Querlinien wird nur durch die Annahme einer an Horizontalverschiebungen gekoppelten Kompressionstektonik im Permokarbon-Trog möglich. Diese Linien vermitteln einen Einblick in den komplexen Bau des Troges. So zeigt die in Bild 4B als Strichzeichnung dargestellte (seismische) Querlinie 82-NX-40 nicht nur die Verfaltung, sondern auch eine mehrfache, durch Überschiebungen bedingte Repetition eines Reflexionsbündels (D auf Bild 4B), das mit grosser Wahrscheinlichkeit der Kohle-Serie zuzuordnen ist.

Zur Chronologie der Ereignisse, welche zur Bildung und zur Deformation des Troges geführt haben, vermag die Seismik selbst nur wenig beizutragen. Mit Ausnahme der starken Reflexionen, die aus Plausibilitätsgründen der Kohle-Serie (Stephanien) zugeordnet werden, fehlen weitere stratigraphisch identifizierbare Reflexionen, die zur Datierung tektonischer Abläufe herangezogen werden könnten. Wir sind daher weitgehend auf die Daten aus Bohrungen angewiesen.

Aus der heute anzunehmenden, verschuppten und verfalteten Struktur darf nach Ausglätten der Profile davon ausgegangen werden, dass zur Zeit der Ablagerung der Kohle-Serie eine Senke von rund 15 bis 20 km Breite bestanden haben muss. Das vorgeschlagene Modell eines anastomosierenden Flusssystemes (Kohle-Serie) spricht für ein sich langsam senkendes, wohl intramontanes, ungefähr WSW–ENE orientiertes Becken, in dem sich Subsidenz und Sedimentation eines nach SW entwässernden Flusssystemes weitgehend die Waage gehalten haben (A. Matter 1987). Die Seeablagerungen fallen in eine Zeit der morphologischen Umgestaltung dieser Senke und möglicherweise der Einengung der Senke zum Trog. Wie weit die unterpermischen Seeablagerungen in die Überschiebungs-Tektonik einbezogen wurden, lässt sich aufgrund der Seismik nicht zeigen (fehlende Marker). Jedoch deuten schon die eingeschalteten grobklastischen Schichtglieder und besonders die der Lakustrinen-Serie folgende alluviale Schuttfächer-Serie (oberes Unterperm) auf ein aktives Relief zwischen Trog- und Schultergebieten. Die Geröllanalysen dieser Serie in den Bohrungen Weiach, Riniken und Kaisten (A. Matter et al. 1987a und b; Tj. Peters 1987) zeigen, dass es sich an diesen Standorten um in-

dividuelle, heterochrone Schuttfächer handelt, die von einem aktiven nördlichen Trogrand in südlicher bis südwestlicher Richtung geschüttet wurden.

Weitere wichtige Hinweise auf tektonische Aktivitäten im Trog ergeben sich aus der oben erwähnten Schichtlücke von rund 1000 m, die Kempter (1987) in der Bohrung Weiach zwischen die Basis der Schuttfächer-Serie und der Unter-/Oberperm-Grenze (Grenze der grau/rot Sedimentfärbung) legt. Starke differentielle Hebung und Erosion in Weiach könnte mit einer gleichzeitigen Absenkung und Sedimentation in Riniken (Ablagerungen der Flussebene) vermutlich die Folge von Horizontalverschiebungen gewesen sein, die an der Wende Unter-/Oberperm (Saalische Phase) aktiv waren. Die feinkörnig-tonigen Ablagerungen der Playa-Serie scheinen während einer Phase tektonischer Ruhe abgelagert worden zu sein; sie füllten den Trog weitgehend auf und ebneten das Relief ein (A. Matter 1987). Die Obere Schuttfächer-Serie, die in den Bohrungen und Aufschlüssen des nordwestlichen Troggebietes auftritt (Tj. Peters et al. 1987; A. Matter 1987; M. Lutz 1964), zeugt von erneuter differentieller Hebung der Trogschultern im Oberperm. Diese späten differentiellen Hebungen könnten einer oberpermischen Abschiebungstektonik zugerechnet werden. Diese müsste sich aber den älteren Trograndstörungen überlagern und wäre beim heutigen Stand der Kenntnisse kaum beweisbar (H. Laubscher 1987).

Das auf Bild 5 dargestellte Blockdiagramm wurde nach Unterlagen der Interpretation Laubscher (1986b) konstruiert und soll nicht mehr als einen qualitativen Eindruck der strukturellen Vielfalt des Nordschweizer Permokarbon-Troges vermitteln. Aus dieser Darstellung wird offensichtlich, dass zur detaillierten Abklärung – auch nur von Teilgebieten – ein grosser Aufwand an Explorationsarbeit notwendig sein würde. Projekte zur Nutzbarmachung der Weiacher Kohleressourcen würden dies zweifellos erfordern.

3 Die Kohlevorkommen von Weiach

In diesem Abschnitt soll versucht werden, die in Weiach entdeckten Steinkohlevorkommen näher zu charakterisieren und auf potentielle Möglichkeiten ihrer Nutzbarmachung hinzuweisen.

3.1 Die Qualität der Kohlen von Weiach

Kohlen sind feste, brennbare fossile Überreste vorwiegend pflanzlichen Ursprungs. Sie wurden als Torf oder torfähnliche Substanz abgelagert und bilden Bestandteil der Abfolge von Sedimentgesteinen, in denen sie entweder als diskrete Lagen (Flöze) oder mit Sediment vermischt auftreten. Unter Luftabschluss und Überdeckung im Erdinnern durchlaufen sie temperaturabhängige Umwandlungsprozesse, die zur Anreicherung des Kohlenstoffes führen (Inkohlung, vgl. Tabelle 4).

Die Akkumulation mächtiger Torfschichten, die der Bildung von Kohleflözen vorausgeht, hängt vom Zusammenspiel einer Anzahl ökologischer und geologischer Faktoren ab:

- Die Torfbildung hängt mit dem relativ kritischen Gleichgewicht zwischen Bodensubsidenz und dem Anstieg des Grundwasserspiegels zusammen. Die Torfbildungsrate ist u. a. vom Typ der Vegetation und den klimatischen Verhältnissen abhängig. Eine Störung dieses Gleichgewichtes führt entweder zur Überschwemmung (Seebildung und Absterben der sessilen Vegetation) oder zur Zerstörung der Torfsubstanz durch Oxydation (Austrocknung, Torfbrände) oder Erosion. Eine langsame, einseitig wirkende Änderung des Gleichgewichtszustandes führt zur lateralen Migration der Gebiete mit Torfbildung.
- Die Torfgebiete sollten vor dem zerstörenden Einfluss einer hochenergetischen Umgebung möglichst geschützt bleiben (hauptsächlich Erosion durch Meeresüberflutung hinter Küsten oder durch migrierende Flüsse).

Der Eintrag fluviatilen klastischen Sedimentmaterials ins Torfgebiet sollte möglichst unterbleiben. Das mit dem Torf akkumulierte Material (Sand, Ton) tritt in der Kohle als unerwünschte Asche auf, extreme Sedimentzufuhr bringt die Torfbildung zum Stillstand.

Es zeigt sich, dass die geotektonische Lage des Ablagerungsraumes einen Einfluss auf die Ausbildung der Kohle-Serien hat. So wurden in den intramontanen, limnischen Kohlebecken des zentraleuropäischen Stephaniens, zu denen auch der Nordschweizer Permokarbon-Trog gehört, relativ wenige, dafür überdurchschnittlich mächtige Kohleflöze mit geringer lateraler Ausdehnung abgelagert. Dazu im Gegensatz stehen die sich z. T. weithin erstreckenden paralischen Kohlebecken Nordeuropas, z. B. im Ruhrgebiet, wo während dem Westphalien eine Vielzahl von Flözen mittlerer Mächtigkeit und grosser lateraler Konstanz abgelagert wurden.

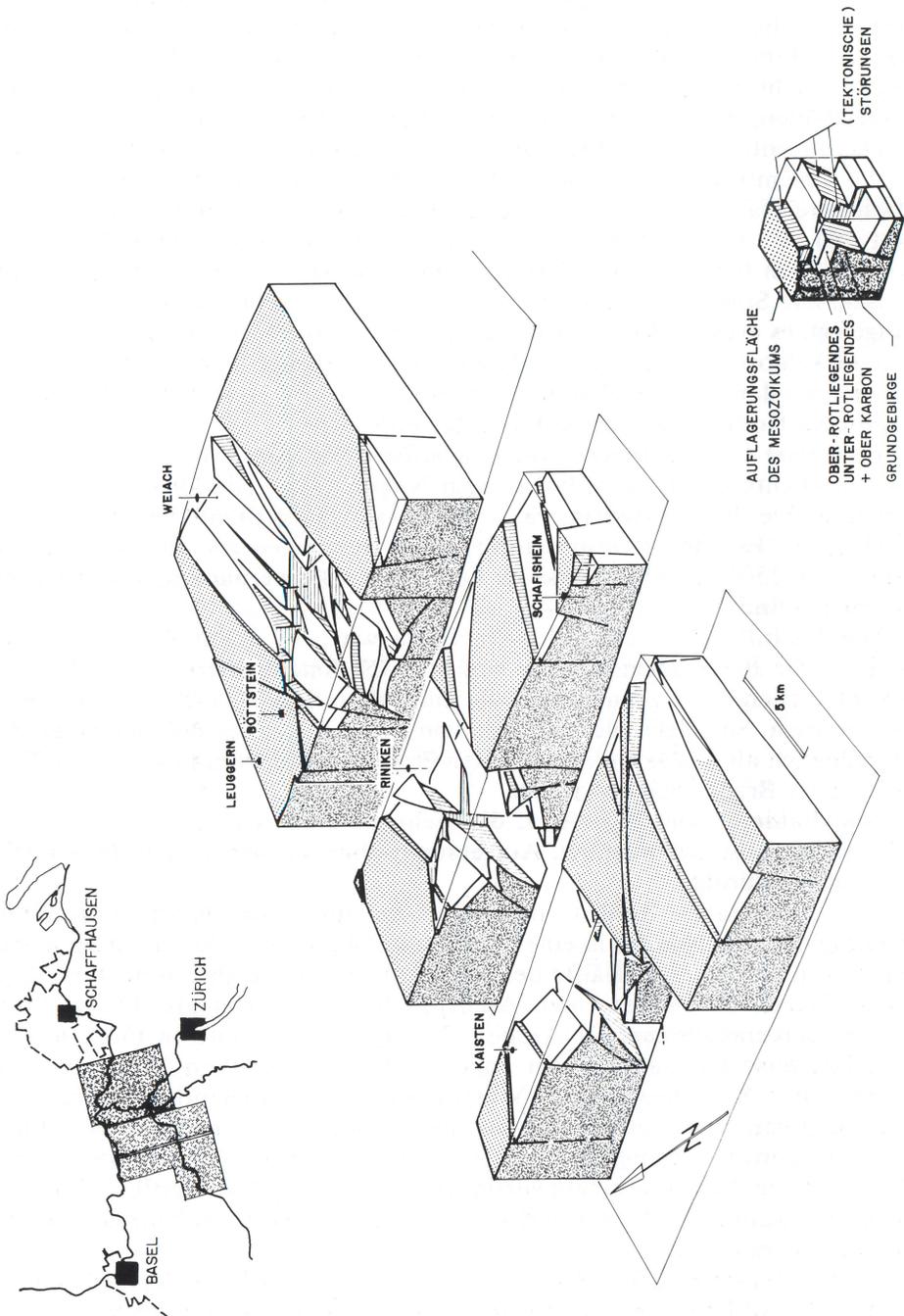
Torfablagerungen, die in situ erhalten bleiben, sind Vorläufer von Kohlen, die als autochthon angesprochen werden. Der überwiegende Anteil der weltweiten Kohleförderung stammt aus Flözen mit autochthoner Kohle. Die Sohle solcher Flöze ist durch das häufige Auftreten von Wurzelböden charakterisiert.

Im Gegensatz dazu sind allochthone Kohlen aus zusammengeschwemmtem Torf, Pflanzenhäcksel und/oder Treibholz entstanden. Solche Kohlen sind durch den meist hohen Aschegehalt gekennzeichnet, Wurzelböden an der Sohle der Flöze sind nicht zu beobachten, dafür enthält die Kohle oft Über-

Bild 5 Schematisches Blockdiagramm der mutmasslichen internen Struktur des Nordschweizerischen Permokarbon-Troges. ►
Darstellung nach der Interpretation von H. Laubscher (1986b). Das Mesozoikum ist abgedeckt.

Fig. 5 Schematic block diagramme illustrating the presumed internal structure of the Young Palaeozoic Trough of Northern Switzerland.

Drawn according to the interpretation by H. Laubscher (1986b); the Mesozoic cover has been omitted.



reste der im Wasser lebenden Algen und Tiere (z. B. Fischschuppen, Estherien). Wie die detaillierte Flözanalyse (Maceralgruppen-Analyse) zeigt, handelt es sich bei den Weiacher Flözen hauptsächlich um allochthone Kohlen. Dafür spricht u. a. nicht nur der hohe Aschegehalt, sondern auch die Lage der Wurzelböden, die nur selten an Flöze gebunden sind (vgl. Bild 6).

Das Inventar der in Weiach durchbohrten Kohle-Lagen und Flöze ist auf Bild 6, zusammen mit einer Auswahl technisch wichtiger Qualitätsparameter, etwas vereinfacht dargestellt. In der Bohrung wurden in einer Tiefe zwischen 1401 und 1712 m zehn Flözgruppen durchfahren, die insgesamt 62 Flöze und Kohle-Lagen mit einer summierten «Kohle»-Mächtigkeit von rund 32 m aufweisen. Die Sondierbohrung war nicht speziell für das Bemustern von Kohle ausgelegt, es ergaben sich in den Flözen z. T. erhebliche Kernverluste, so dass eine lückenlose Beprobung und Analyse nicht möglich war. Die verfügbaren Proben wurden eingehend analysiert (Wolf et al. 1987), so dass wir über die beprobten Kohlen recht gut unterrichtet sind.

Eine erste Grobansprache von Kohleflözen im Bohrprofil ermöglicht das Gesteinsdichte-Log (Bild 6, links, nach Nagra, 1986). Die Dichte der aschefreien Kohle liegt zwischen ca. 1500 kg/m^3 (Torf-Braunkohlen) und ca. 1300 kg/m^3 (Esskohlen), also deutlich unter derjenigen von Sandsteinen und Tonen (ca. 2500 kg/m^3), so dass im Log selbst stark verunreinigte Flöze noch erkennbar sind.

Die Identifikation von Kohle im Felde wird oft durch Ballaststoffe erschwert, die die Kohlensubstanz begleiten (Sedimentmaterial und Minerale u. a. pflanzlichen Ursprungs) und die unter dem Begriff Asche zusammengefasst werden. So zeigen die Analysen von Weiach, dass es sich bei vielen der ursprünglich als Kohle angesprochenen Proben entweder um bituminöse Tonsteine oder Brandschiefer handelt.

Brandschiefer sind «Kohlen», die mehr als 20% Asche, d. h. weniger als 80% Kohlesubstanz enthalten. Auf europäischen Zechen sind Brandschiefer nicht abbauwürdig.

Die allochthonen Kohlen von Weiach zeichnen sich durch einen hohen Aschegehalt aus. Nur das in einer Tiefe von 1542 m liegende, ca. 50 cm mächtige Flöz und die untere Hälfte des in 1585 m Tiefe liegenden, rund 4 m mächtigen Hauptflözes weisen einen Aschegehalt von weniger als 20% auf (vgl. Bild 6, Balkendiagramm für Asche). Der Inhalt aller anderen Flöze müsste korrekterweise als Brandschiefer angesprochen werden. Von der chemischen Analyse der Kohleproben von Weiach wurde im strömenden Wasser eine Trennung von Kohle und Asche im kleinen Massstab vorgenommen. Durch diese Aufkonzentrierung der Kohlesubstanz wird der störende Einfluss der Asche auf die Analyseresultate verringert. Der Aschegehalt (vertikale Linie im Balkendiagramm für Asche) und der Heizwert dieser Kohlekonzentrate sind aus Bild 6 ersichtlich.

In der Bergbaupraxis gelingt es oft, durch Aufbereiten der geförderten Kohle z. B. mit Hilfe einer Schwereflüssigkeit oder im strömenden Wasser, die

Asche wenigstens teilweise von der Kohle zu trennen. Für die grossmasstäbliche Erprobung solcher Trennverfahren sind jedoch Kohlemengen erforderlich, wie sie aus der Sondierbohrung Weiach nicht gewonnen werden konnten. Zudem sei vermerkt, dass ein Rückschluss aus der oben erwähnten Aufkonzentration im Labor auf eine mögliche technische Anwendung nicht erlaubt ist.

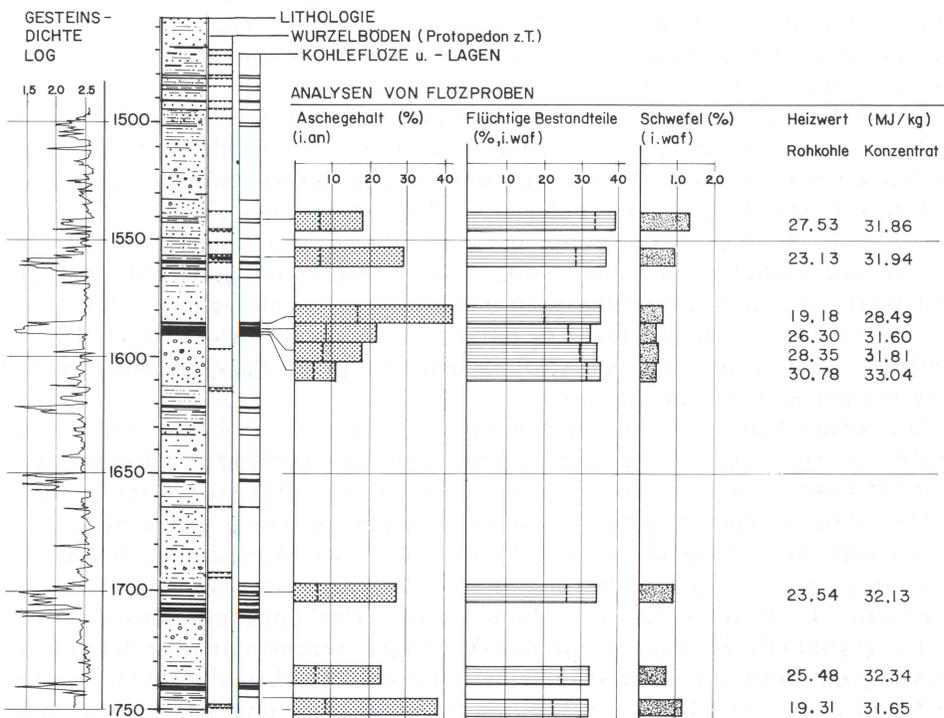


Bild 6 Sondierbohrung Weiach, Kohle-Serie: Inventar und Verteilung der Kohleflöze mit Darstellung ausgewählter Resultate der Flözanalysen.

Das Gesteinsdichte Log erlaubt eine erste Flözansprache. Fehlende Koizidenz zwischen Wurzelböden und Flözsohlen, gepaart mit dem hohen Aschegehalt sind deutliche Hinweise auf allochthone Kohlen. Flüchtige Bestandteile und der Heizwert sind Indikatoren für den Inkohlungsgrad. Der niedrige Schwefelgehalt ist für limnische Kohlen nicht untypisch.

Fig. 6 Exploration well Weiach, Coal measures: Inventory and distribution of coal seams together with selected results of the seam analyses.

A Litho-Density Log allows early recognition of seams. Lacking coincidence between root beds and seam floors together with a high ash content is indicative of allochthonous coals. Volatile matter and calorific value are rank indicators. Low sulphur content is not atypical for limnic coals.

Die Analyse von Kohleproben aus Weiach umfasst im wesentlichen fünf Gruppen von Untersuchungstypen (M. Wolf et al. 1987). Die «Immediate Analyse» wird an Rohkohlen (lufttrockene Kernproben) und Konzentraten durchgeführt und dient mit der Bestimmung der Analysefeuchtigkeit (Wassergehalt der lufttrockenen Probe) und des Aschegehaltes in erster Linie der Ermittlung des nicht brennbaren Anteils der Kohle. Diese Werte dienen zur Umrechnung anderer Analysewerte auf eine wasser- und/oder aschefreie Basis (vgl. die Erläuterungen zu Tabelle 4). Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen ist für Steinkohlen ein Parameter des Inkohlungsgrades (Tabelle 4). Er erlaubt indirekt eine Abschätzung für das Ausbringen an Koks und gibt Hinweise auf das Koksbildungsvermögen der untersuchten Kohle.

In der Elementar-Analyse werden die prozentualen Anteile der Elemente C, H, N, S und O (letzteres als Differenz zu 100%) der Kohle bestimmt. Der Gehalt an Wasserstoff wird u. a. zur Berechnung des Heizwertes gebraucht.

Der Wasserstoffgehalt der analysierten Rohkohlen aus Weiach variiert zwischen 4,73 und 5,61% mit Mittel bei 5,19 Gewichtsprozenten (bezogen auf wasser- und aschefreie Substanz, Abk.: w.a.f.), zeigt keine Tiefenabhängigkeit und Werte, die dem Inkohlungsgrad der Weiacher Kohlen entsprechen. Der Schwefelgehalt der Kohle (Bild 6, Balkendiagramm für Schwefelgehalt) beeinflusst viele technische Anwendungsbereiche (z. B. Rauchgasentschwefelung bei der Kohleverbrennung).

Die Bestimmung des Brennwertes und des Heizwertes (Bild 6) der Kohle ergibt ein Mass für die bei der Verbrennung frei werdende Wärmemenge. Beim Heizwert wird die latente Wärme des durch Verbrennung des Wasserstoffes in der Kohle entstehenden Wasserdampfes in Abzug gebracht.

Als eine der geologisch wohl aufschlussreichsten Messreihen gilt die Bestimmung des Reifegrades der organischen Substanz, insbesondere aber die Beziehung des Reifegrades einer Probe zu ihrer Herkunftstiefe. Zwischen Inkohlungsgrad (Reife) des organischen Materials, Temperatur und deren Einwirkungszeit besteht eine reaktionskinetische Abhängigkeit, die linear mit der Zeit und exponentiell mit der Temperatur wirkt. Zeit und Temperatur sind derart gegeneinander austauschbar, dass höhere Temperaturen bei kurzer Einwirkungsdauer einen ähnlichen Inkohlungsgrad bewirken wie niedrigere Temperaturen bei längerer Einwirkung. Der Einfluss von Druck (Überlagerung) auf den Ablauf der Inkohlung ist nicht eindeutig nachgewiesen, bewirkt jedoch strukturelle Änderungen in Kohlen. In der Literatur sind verschiedene Modelle der Beziehung zwischen Inkohlung, Zeit und Temperatur beschrieben und deren Zusammenhang mit der geothermischen und geologischen Entwicklungsgeschichte der geprobteten Sedimentserien entwickelt (Waples 1980; M. Teichmüller & R. Teichmüller 1986; B.P. Tissot et al. 1987; E. H. K. Kempter 1987).

Für die Bestimmung des Reifegrades der organischen Substanz stehen heute verschiedene Methoden zur Verfügung. Die Bestimmung der inkohlungsabhängigen Werte für flüchtige Bestandteile und den Heizwert von Kohlen (in

Tabelle 4 aufgeführt) ist relativ aufwendig und nur an grösseren Kohleproben durchführbar. Demgegenüber ist die Reifebestimmung mit Hilfe der mikroskop-photometrischen Messung des Reflexionsvermögens am Vitrinit und der Fluoreszenz-Spektroskopie an Liptiniten auch an kleinsten Proben durchführbar. Für die Dokumentation der heute weithin angewandten Methodik sei auf Stach et al. (1982), Wolf et al. (1987) und Kempfer (1987) verwiesen. Das Reflexionsvermögen von Vitrinit nimmt mit zunehmender Reife des organischen Materials monoton zu und ist über den ganzen Bereich von Braunkohlen bis Anthrazit – allerdings mit gewissen Vorbehalten – als Massstab der Inkohlung anwendbar. Einer der Vorbehalte ergibt sich aus der mit zunehmender Inkohlung beim Vitrinit auftretenden Bireflexion, eines richtungsabhängigen Unterschiedes im Reflexionsvermögen. Es wird daher bei den Messungen zwischen maximaler (R max), mittlerer (R m) und minimaler Reflexion unterschieden (vgl. die Notierung auf Bild 2).

Tabelle 4 Inkohlungsreihe nach deutscher (DIN) Klassifikation. Werte ausgewählter Klassifikations-Kriterien zur Bestimmung des Inkohlungsgrades an Kohlen. Nach Stach et al. (1982, Tab. 4, 4A).

Table 4 Coal Rank Classification according to German (DIN) Standards. Values of selected rank parameters for the different stages of coalification. Stach et al. (1982, Tab. 4 and 4A).

Klassifikations-Kriterien	Wasser-Gehalt (% AF)	Flüchtige Bestandteile (% WAF)	Heizwert MJ/kg (WAF)	Vitrinit Reflexionsvermögen (Rm %)
KOHLLEN				
Torf	75	63	ca. 10,50	ca. 0,25
Weichbraunkohlen	35	56	ca. 16,75	0,35
Hart-Braunkohlen				
Matt-Braunkohlen	ca. 20	49	23,00	0,45
Glanz-Braunkohlen	ca. 10	41	29,30	0,65
Flammkohlen		43	31,40	0,75
Gas-Flammkohlen		34	33,50	0,95
Steinkohlen				
Gaskohlen		28	36,20	1,25
Fettkohlen		19		1,7
Esskohlen		14		2,0
Magerkohlen		8	36,20	2,5
Anthrazitische Kohlen		4		3,5
Anthrazit				
Meta-Anthrazit				
Semigraphit				

AF: Bezogen auf aschefreie Substanz. (Ash free)

WAF: Bezogen auf wasser- und aschefrei Substanz. (Water and Ash free)

Die an Weiacher Proben gemessenen Reflexionsvermögen von Vitrit sind für den Tiefenbereich des Permokarbons in Bild 2 mit Angabe des entsprechenden Kohle-Reifegrades dem geologischen Übersichtsprofil gegenübergestellt.

Bis zur Tiefe von 965 m (Proben im untern Muschelkalk) lässt sich eine recht langsame Zunahme des Reflexionsvermögens von ca. 0,04% pro 100 m feststellen. Unter 1300 m (im Permokarbon) nehmen die Reflexionsvermögen (R max) von ca. 0,7% bei 1300 m auf ca. 1,5% bei 2000 m mit einer Rate von über 0,1% pro 100 m zu. Der Inkohlungsgrad fällt im Oberperm in den Grenzbereich zwischen Hartbraun- und Flammkohlen und erreicht an der Basis den Bereich der Fettkohlen. Die tiefenabhängige Inkohlungs Zunahme von Weiach ist grössenordnungsmässig mit derjenigen des Ruhrgebietes vergleichbar (M. Wolf et al. 1987). Auffallend in Bild 2 sind Proben, die Vitritite mit Reflexionsvermögen von (R max) bis 1,85 aufweisen, mit «R» markiert sind und deutlich über den Normalwerten liegen. Dabei handelt es sich um resedimentiertes Material, das aus einem Teil des Troges mit höherem Inkohlungsgrad stammen dürfte (M. Wolf et al. 1987). Hier drängt sich nun der Vergleich zwischen den Resultaten der andern inkohlungsabhängigen Kennwerte der Weiacher Kohle mit den Resultaten der Reflexionsmessungen auf: Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (Bild 6) liegt im Vergleich zum Reflexionsgrad zu hoch und dürfte durch die relativ hohen Bitumengehalte der Kohle verursacht werden. Ähnlich verhalten sich die Brennwerte der Kohlen, die, im Vergleich zu den aus Reflexionswerten erwarteten, zu hoch liegen.

Neben den obengenannten chemischen Untersuchungen ist für eine Beurteilung der technischen Einsatzmöglichkeiten der Kohlen auch die Maceralgruppen-Analyse zu berücksichtigen. Macerale sind die kleinsten im Mikroskop erkennbaren Bestandteile der Kohle analog den Mineralkörnern in Sedimentgesteinen. Sie werden zu drei Maceralgruppen Vitrit, Liptinit und Inertit zusammengefasst. Für eine eingehendere Darstellung, die den Rahmen dieser Zusammenfassung sprengt, sei auf Stach et al. (1982) hingewiesen. Die Resultate der Untersuchungen an Weiacher Kohlen sind im Detail in Matter et al. (1987a) dargestellt.

Die Maceralgruppen-Analyse gibt Aufschluss über die petrographische Zusammensetzung der Kohle und ergänzt die makroskopische Flözbeschreibung. Aus den Resultaten lässt sich die technische Verwendbarkeit der Kohle beurteilen und auch Schlüsse auf die Ablagerungsbedingungen der Kohle ziehen. Aufgrund der Resultate der Maceralgruppen-Analyse und der Inkohlungsbestimmungen lässt sich nach dem Verfahren von Mackowsky & Simonis (1968) zeigen, dass im Weiacher Hauptflöz Kohlen mit recht guten Kokingseigenschaften vorliegen. Eine potentielle Nutzung solcher Kohlen zu metallurgischen Zwecken wäre möglich.

3.2 Steinkohlenprospekte im Nordschweizer Permokarbon-Trog

Nach der zusammenfassenden Darstellung der Sedimentologie und Tektonik des Permokarbon-Troges und einer kurzen Charakterisierung der Kohlen aus der Bohrung Weiach wird im folgenden die Frage der Nutzbarmachung kurz angeschnitten.

Vorerst muss betont werden, dass bisher nur zwei Bohrungen in den Trog abgeteuft wurden und dass Kohle nur in der Bohrung Weiach nachgewiesen wurde. Obwohl die Rohdaten beider Bohrungen eingehend untersucht wurden (A. Matter et al. 1987 a, b), ist die vorliegende Information völlig unzureichend für eine schlüssige Beurteilung der Kohle-Prospekte. Trotzdem soll versucht werden, aufgrund der bisher erarbeiteten geologischen Modellvorstellungen Möglichkeiten und Grenzen einer Nutzbarmachung der Kohle von Weiach zu skizzieren. Ähnliche Versuche wurden zuvor von Baumgartner (1985) und Diebold (1986) unternommen, allerdings mit einer Datengrundlage, die weit weniger vollständig war als die heute vorliegende.

Bei der Beurteilung einer Lagerstätte stehen wirtschaftliche Gesichtspunkte im Vordergrund:

- Aus dem Erlös der geförderten Produktion müssen über die Lebensdauer des Unternehmens die Kosten für Aufschlussarbeiten (Exploration), Bergbauinvestitionen, den Kapitaldienst sowie die laufenden Förderkosten mindestens gedeckt werden können. Diese Aussage beinhaltet implizit zwei Voraussetzungen:
- erstens, dass eine Technologie verfügbar ist, mit der die in der Lagerstätte vorhandenen Reserven gefördert werden können und
- zweitens, dass ein Markt existiert, in dem das geförderte Produkt zu konkurrenzfähigen Preisen über die Dauer des Unternehmens abgesetzt werden kann.

Auf dieser Grundlage wird der Begriff «Reserven» als nachgewiesener Inhalt einer Minerallagerstätte definiert, die auch den genannten wirtschaftlichen Kriterien genügt. Als «Ressourcen» wird der nachgewiesene oder auch nur vermutete Inhalt von Lagerstätten definiert, deren Wirtschaftlichkeit nicht nachgewiesen ist. Dazu gehören auch Vorkommen, zu deren Nutzbarmachung eine ausgereifte Technologie nicht verfügbar ist. In diese Kategorie gehören die Steinkohlevorkommen von Weiach.

Aus der Perspektive der Energiemärkte, die heute hauptsächlich durch preisgünstiges Erdöl dominiert werden, erscheint die Lage des Steinkohle-Bergbaus angespannt (z. B. G. Ott 1987; Anonymus 1988; H. Horn 1988). Nur wenige der in Westeuropa fördernden Zechen könnten den obengenannten Bedingungen einer echt freien Marktwirtschaft noch genügen. Aus dieser Sicht ergeben sich für eine neuzuerstellende Zeche in Weiach, bei fehlender Montan-Infrastruktur in der Schweiz – abgesehen von noch zu besprechenden technischen Schwierigkeiten – mindestens mittelfristig schlechte Zukunftsaussichten.

Die in Weiach durchteuften, potentiell baubaren Flöze liegen alle in Tiefen unter 1550 m. Im modernen Steinkohlenbergbau werden Flöze unter ca. 500 m Tiefe ausschliesslich im Untertagebau, bergmännisch und meist im Strebbau gewonnen. Besonders in Westdeutschland wuchs der Bergbau allmählich, unter dem Druck der sich erschöpfenden untiefen Reserven, in immer grössere Tiefen und hat heute die 1400-m-Marke überschritten (F. J. Rauhaut 1985). Die in diesen Teufen z. B. im Bergwerk Ibbenbüren bei Osnabrück auftretenden bergbautechnischen Probleme, hauptsächlich der Gebirgsbeherrschung (H. Irresberger 1985) und der Klimatisierung (G. Mücke 1985), können gemeistert werden. Sie nehmen aber mit zunehmender Tiefe deutlich zu und schlagen sich, wie die Praxis zeigt, im steigenden Aufwand, d. h. in den Kosten pro Tonne geförderter Kohle nieder (K. H. Kuschel 1984).

Das in der Bohrung Weiach auf 1585 m durchteufte, rund 4 m mächtige Hauptflöz liegt damit deutlich unter der heute erreichten und technisch beherrschbaren Grenze. Aus der Sicht eines konventionellen Strebbaus muss eine Ausbeutung der Kohle von Weiach einstweilen als technisch und wirtschaftlich nicht machbar eingestuft werden. Damit erübrigt sich eine weitere Diskussion der Nutzbarmachung der Kohlen aus dem Permokarbon-Trog jedoch keineswegs.

Wie im Abschnitt 2.4, Tektonik, im Detail dargelegt wurde, befinden sich rund 8 km westlich von Weiach die in Bilder 4 und 5 dargestellten, der Kohle-Serie zugeordneten Überschiebungspakete, die an ihrer Obergrenze gegen die mesozoische Schichtserie anzustossen scheinen. Sollte sich diese Interpretation der Reflexionsseismik nach weiteren zukünftigen Explorationsarbeiten als zutreffend erweisen, wäre in diesem Gebiet eine überschobene Kohle-Serie in einer Tiefe von ca. 900 bis 1200 m anzutreffen.

Aus diesem Tiefenbereich wird auf verschiedenen Zechen z. B. des Ruhrgebietes Kohle gefördert. Eine westlich von Weiach gelegene Lagerstätte in diesem Tiefenbereich darf aus bergbautechnischer Sicht als machbar gelten. Dagegen scheidet eine auch nur vorläufige Beurteilung des Lagerstätteninhaltes (der Ressourcen) und der Kohlequalität dieser überschobenen Kohle-Serie am Mangel an Daten. Anhand der Seismik-Linie 82-NS-70 (vgl. Bild 4) lässt sich die überschobene Serie auf einer Distanz von ca. 4 km in axialer Richtung vermuten. Aufgrund einer dieses Gebiet kreuzenden, gut korrelierbaren Querlinie (83-NF-55) lässt sich die Grösse des fraglichen Blockes unter grossem Vorbehalt auf 4 bis max. 8 km² schätzen. Die Mächtigkeit der in diesem Gebiet aufgrund des Reflexionscharakters zu erwartenden Kohleflöze ist jedoch völlig unbestimmt. Die überschobene Serie dürfte aus randlichen Bereichen gegen das Zentrum des Troges geschoben worden sein. Damit bleibt auch eine Extrapolation der in Weiach aus der nicht überschobenen Kohle-Serie nachgewiesenen Flözabfolge und Kohle-Qualität in die Trograndgebiete spekulativ. Auch wird es unmöglich, die Ablagerungsbedingungen des anastomosierenden Flusssystemes und die räumliche Verteilung der Kohleakkumulationen bis zum Rand des bislang wenig erforschten Troges zu prognostizieren.

Für das in Weiach durchbohrte Hauptflöz wurden mögliche Ressourcen in der Grössenordnung von 100 und 200 Millionen Tonnen genannt (P. Diebold 1986; S. Baumgartner 1985). In der untieferen, überschobenen Kohle-Serie dürfte der Lagerstätteninhalt vermutlich nur ein Bruchteil davon betragen. Zudem ist mit einer starken tektonischen Zergliederung des potentiellen Abbaufeldes zu rechnen. Diese Tektonik erschwert den Bergbau und verringert den Anteil an ausbringbarer Kohle (G. B. Fettweis 1976).

Sollten die Kohle-Vorkommen im Nordschweizer Permokarbon-Trog jemals als strategische Energie- und Rohstoff-Ressourcen erschlossen werden, so würden sich zweifellos in den hochliegenden, überschobenen Randpartien, wie sie 8 km westlich von Weiach vermutet werden, die besten Prospekte anbieten. Zur Beurteilung dieser Prospekte wären allerdings aufwendige Aufschlussarbeiten notwendig, die ein engmaschiges Netz von Seismik-Linien und mehrere speziell auf Flözbemusterung ausgelegte Bohrungen erfordern würden.

Die Technologie der Untertagevergasung von Steinkohle könnte langfristig die Möglichkeit eröffnen, die im konventionellen Bergbau nicht erschliessbaren Lagerstätten dennoch wirtschaftlich zu nutzen. Bei dieser als Bohrloch-Bergbau betriebenen Methode wird angestrebt, die Kohle untertags möglichst vollständig in chemisch und/oder thermisch nutzbare Gase umzusetzen und diese Gase an die Oberfläche zurückzuführen. Typische Heizwerte der aus amerikanischen Versuchen geförderten Gase liegen zwischen 4 und 11 MJ/m³. Auf die Methodik soll hier nicht eingegangen werden, vgl. hierzu z. B. Fettweis (1979) oder Baumgartner (1985). Beyer & Guntermann (1986) fassen den Stand der Technologie wie folgt zusammen: «Die grosstechnische Anwendung der Untertagevergasung ist weiterhin mit Risiken verbunden und bedarf einer umfassenden Erforschung der komplexen Prozesszusammenhänge. Insbesondere einer kommerziellen Anwendung in europäischen Lagerstättenbedingungen, die eine Tiefe von mehr als 1000 m aufweisen, stehen viele bislang nicht hinreichend untersuchte Problemstellungen entgegen.» Projekte zur Untertagevergasung von Kohleflözen im Permokarbon-Trog könnten höchstens langfristig als realistische Möglichkeit gesehen werden. Zu berücksichtigen bleibt auch bei der Untertagevergasung die Umweltbelastung. Bei den in laufenden Versuchen gängigen Bohrlochabständen von nur 20 bis max. 50 m wären zur Gasgewinnung aus einem ganzen Abbaufeld mit mehr als 400 Bohrungen pro km² zu rechnen.

Zum Schluss sei noch auf die bituminösen Schiefer hingewiesen, die nicht Gegenstand dieser Arbeit waren, die aber in der Kohle-Serie und hauptsächlich in der Lakustrinen-Serie des Permokarbon-Troges recht häufig auftreten. Sie sind als Kerogen Typ II (Tissot et al. 1987) anzusprechen, durchlaufen wie Kohle (Kerogen Typ III) den Inkohlungsprozess und bilden zusammen mit den Kohlen Muttergesteine für Erdöl und Erdgas (vgl. E. H. K. Kempter 1987).

4 Literatur

- Anonymus (1988): Bericht über die Zukunftsperspektiven des Kohlenbergbaus in der (europäischen) Gemeinschaft. Glückauf, 124/2, 91–94.
- Arthaud, F. & Matte, Ph. (1977): Late Paleozoic strike-slip faulting in southern Europe and northern Africa: Result of a rightlateral shear zone between the Appalachians and the Urals. Bull. Geol. Soc. Amer. 88, 1305–1320.
- Baumgartner, S. (1985): Die Steinkohle von Weiach (ZH) – Rohstoff für die Gasindustrie? Gas-Wasser-Abwasser, 65. Jg. No. 2, 94–101.
- Beyer, L.G. & Gutermann, K. (1986): Untertagevergasung (I): Technologiebeschreibung und Entwicklungsstand in Nordamerika. Erdöl, Erdgas, Kohle, 102/12, 575–579.
- Büchi, U.P., Lemcke, K. Wiener, G. & Zimdars, J. (1965): Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. Bull. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 32/82, 7–28.
- BEW (Bundesamt für Energiewirtschaft) & Schweiz. Nat.-Komitee der Weltenergiekonferenz (1987): Energiestatistik der Schweiz 1910–1985. Bull. SEV/VSE, Nr. 22/87, 1–60.
- Diebold, P. (1983): Der Permokarbon-Trog der Nordschweiz. In: Nagra informiert, 5, 10–15. Baden.
- Diebold, P. (1986): Die Kohlevorkommen von Weiach: Entdeckung und erste Beurteilung. Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 75 (1/2), 37–38.
- Donsimoni, M. (1981): Le Bassin houiller lorrain, Synthèse géologique. Mém. du BRGM. No. 117, Orléans.
- Erni, A. (1949): Unterpermische Ganoidfische aus der Bohrung Wintersingen (Kt. Baselland). Eclogae Geol. Helv. 33, 230–252.
- Fettweis, G.B. (1979): World Coal Resources, Methods of assessment and results. Elsevier, 1979 & Glückauf Verlag.
- Fey, R. (1984): Stéphanien–Permien. In: Debrand-Passard, S. et al. Synthèse Géol. du Sud-Est de la France, Mém. du BRGM. No. 125 & 126, Orléans.
- Gélard, J.P., Castaing, Ch., Bonijoly, D. & Grolier, J. (1986): Structure et dynamique de quelques bassins houillers limniques du Massif Central. Mém. Soc. Géol. France. NS 149, 57–71.
- Gürler, B., Hauber, L. & Schwander, M. (1987): Die Geologie der Umgebung von Basel, mit Hinweisen über die Möglichkeiten der Nutzung von Erdwärme. Beiträge Geol. Karte Schweiz. NF. 160, Landes-Hydrologie u. -Geologie und Schweiz geol. Komm.
- Hedemann, H.A. & Teichmüller, R. (1971): Die Paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 19, 129–142.
- Hochuli, P.A. (1985): Palynostratigraphische Gliederung und Korrelation des Permokarbons der Nordschweiz. Eclogae Geol. Helv. 78/3, 719–831.
- Horn, H. (1988): Kohlepolitik ist Energiesicherungspolitik. Glückauf, 124/1, 19–24.
- Irresberger, H. (1985): Gebirgsdruckprobleme in grosser Teufe. Glückauf, 121/4, 276–283.
- Kempton, E.H.K. (1987): Fossil Maturität, Paläogradienten und Schichtlücken in der Bohrung Weiach im Lichte von Modellrechnungen der thermischen Maturität. Eclogae Geol. Helv. 80/2, 543–552.
- Kettel, D. & Herzog, M. (1988): Das Permokarbon der süddeutschen Westmolasse – Ein Muttergestein für Öl- und Gaslagerstätten? Erdöl-Erdgas-Kohle, 104/4, 154–157.
- Klingelé, E. & Schwendener, H. (1984): Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Gravimetrische Messungen 81/82, Nagra Technischer Bericht, NTB 84–22, Nagra, Baden.
- Kuschel, K.H. (1984): Probleme der Steinkohlegewinnung in 1200 bis 1500 m Teufe und deren Lösungen. Glückauf, 120, 14, 875–886.
- Laubscher, H. (1986a): The eastern Jura: Relations between thinskin and basement tectonics. Geol. Rundsch. 75/3, 535–553.
- Laubscher, H. (1986b): Expertenbericht zum Projekt Gewähr: Struktur des Grundgebirges und

- des Paläozoikums der Nordschweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Würenlingen.
- Laubscher, H. (1987): Die tektonische Entwicklung der Nordschweiz. *Eclogae Geol. Helv.* 80/2, 278–303.
- Lemcke, K. (1961): Ein jungpaläozoischer Trog unter dem Süddeutschen Molassebecken. *Z. deutsch. geol. Ges.* 113/1, 176–181.
- Lemcke, K. (1981): Das heutige geologische Bild des deutschen Alpenvorlandes nach drei Jahrzehnten, Öl- und Gasexploration. *Eclogae Geol. Helv.* 74/1, 1–18.
- Lemcke, K. & Wagner, R. (1961): Zur Kenntnis des vortertiären Untergrundes im Bodenseegebiet. *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* 27/73, 9–14.
- Lutz, M. (1964): Stratigraphische und Tektonische Untersuchungen am südwestlichen Schwarzwaldrand zwischen Wiesental und Hochrhein. *Oberrhein, Geol. Abh.* 13, 75–122.
- Matter, A., Peters, Tj., Bläsi, H.-R., & Ziegler, H.-J. (1987a): Sondierbohrung Weiach-Geologie. Nagra Technischer Bericht. NTB 86–01, Nagra, Baden (im Druck).
- Matter, A., Peters, Tj., Isenschmid, Chr., Bläsi, H.-R. & Ziegler, H.-J. (1987b): Sondierbohrung Riniken-Geologie. Nagra Technischer Bericht NTB 86–02, Nagra, Baden.
- Mücke, G. (1985): Wetterung und Klimatisierung beim Abbau in grossen Teufen. *Glückauf*, 121/4, 284–293.
- Müller, W.H., Huber, M., Isler, A. u. Kleboth, P. (1984): Geologische Karte der zentralen Nordschweiz, 1 : 100 000. Erläuterungen. Nagra Technischer Bericht NTB 84–25. Nagra, Baden und Schweiz. Geol. Kommission.
- Munck, F., Sauer, K., Walgenwitz, F., Magel, Ph. & Tietze, R. (1979): Geothermische Synthese des Oberrheingrabens (Bestandesaufnahme). Commission of the European Communities, Directorate General for Research, Science and Education, Program for Geothermal Energy. Geol. Landesamt Baden-Württemberg & Service Géol. Régional Alsace, Freiburg, Strasbourg, 1979.
- NAGRA (1986): Sondierbohrungen Weiach, Riniken, Schafisheim, Kaisten, Leuggern: Geophysikalische Daten. Nagra Technischer Bericht NTB 85–50, Nagra, Baden.
- Ortlam, D. (1974): Inhalt und Bedeutung fossiler Bodenkomplexe in Perm und Trias von Mitteleuropa. *Geol. Rundschau* 63/3, 850–884.
- Ott, G. (1987): Lage und Aussichten des deutschen Steinkohlebergbaus. *Glückauf*, 123/4, 199–205.
- Peters, Tj., Matter, A., Isenschmid, Chr., Bläsi, H.-R. Mejer, J. & Ziegler, H.-J. (1987): Sondierbohrung Kaisten – Geologie. Nagra Technischer Bericht NTB 86–04, Nagra Baden (im Druck).
- Rauhut, F.J. (1985): Einführung (zu: Abbau von Steinkohle in grossen Tiefen). *Glückauf*, 121/4, 275–276.
- Remy, W. (1987): Paläobotanische Auswertung der Pflanzenfunde, In: Matter, A. et al., Sondierbohrung Weiach – Geologie. Nagra Technischer Bericht, NTB 86–01, Nagra, Baden (im Druck).
- Ryf, W. (1984): Thermalwasserbohrung 1983, Engerfeld, Rheinfelden. *Rheinfelder Neujahrsblätter* 1984, 43–52, Rheinfelden.
- Schmidt, C. & Koby, F. (1917): Geologisches Gutachten über das Projekt einer Tiefbohrung auf Steinkohle in der Gegend von Pruntrut. Birkhäuser, Basel, 1917.
- Schmidt, C., Braun, L., Paltzer, G., Mühleberg, M., Christ, P. & Jakob, F. (1924): Die Bohrungen von Buix bei Pruntrut und Allschwil bei Basel. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotech. Ser. X.*
- Schmassmann, H.-J. & Bayramgil, O. (1946): Stratigraphie, Petrographie, Paläogeographie der Perm-Formation im schweizerischen Tafeljura und die Steinkohlenfrage der Nordschweiz. *Tätber. natf. Ges. Basel* 15, 17–117.
- Smith, D.G. & Putnam, P.E. (1980): Anastomosed river deposits: modern and ancient examples in Alberta, Canada. *Can. J. Earth Sci.* 17, 1396–1406.
- Sprecher, Chr. & Müller, W.H. (1986): Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Reflexionsseismik 1982. Nagra Technischer Bericht, NTB 84–15, Nagra, Baden.
- Stach, E., Chandra, D., Mackowsky, M.-Th., Taylor, G.H. Teichmüller, M. & Teichmüller, R. (1982): *Stach's Textbook of Coal Petrology* (3. Aufl.). Borntäger, Berlin-Stuttgart, 1982.

- Thury, M. & Diebold, P. (1987): Überblick über das geologische Untersuchungsprogramm der Nagra in der Nordschweiz. *Eclogae Geol. Helv.* 80/2, 269–286.
- Teichmüller, M. & Teichmüller, R. (1981): The significance of coalification studies to geology – a review. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 5/2, 491–534.
- Tissot, B.P., Pelet, R. & Ungerer, Ph. (1987): Thermal History of sedimentary basins, Mutation Indices and Kinetics of Oil and Gas generation. *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.* 71/12, 1445–1466.
- Vetter, P. (1986): Les formations limniques du Carbonifère supérieur et de l'Autunien en France. *Mém. Soc. Géol. France N.S.* 149, 7–14.
- Vollmayr, T. & Wendt, A. (1987): Die Erdgasbohrung Entlebuch-I. Ein Tiefenaufschluss am Alpennordrand. *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* 53, 125, 67–79.
- Wolf, M. & Hagemann, H.W. (1987): Inkohlung und Geothermik in meso- und paläozoischen Sedimenten der Nordschweiz und Vergleich zu Inkohlungsdaten aus Süddeutschland. *Eclogae Geol. Helv.* 80/2, 535–542.
- Wolf, M., Hagemann, W.H., Haverkamp, S. & Linneberg, W. (1987): Kohlenpetrographie und -chemie, in: Matter et al., Sondierbohrung Weiach-Geologie. Nagra Technischer Bericht NTB 86–01, Nagra, Baden (im Druck).
- Ziegler, P.A. (1982): *Geological Atlas of western and central Europe*. Shell Int. Petrol. Maatschap. The Hague, 1982.

Beiträge zur Geologie der Schweiz - Matériaux pour la Géologie de la Suisse

Geotechnische Serie - Série géotechnique

- Nr. 76: Arbeitsgruppe Geothermik (Editoren: H.L.Gorhan & J.C.Griesser): Geothermische Prospektion im Raume Schinznach Bad - Baden. 73 S., 45 Textfig., 20 Tfn., 1988..... 25.-
- Nr. 77: F.Gilliéron: Zur Geologie der Uranmineralisation in den Schweizer Alpen (Ergänzung zur Studie Nr. 41 der Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft). Mit Karte 1:500'000 der Radioaktivitätsmessungen, radiometrischen Anomalien und Uranvorkommen in den Schweizer Alpen (F.Gilliéron & T.P.Labhart). 54 S., 25 Fig., 1988..... 25.-
- Nr. 78: M.Ammann: Herkunft und Zusammensetzung von Silt in fliessenden Gewässern und Stauseen - Geotechnische Abtragsanalysen im Alpenraum. Mit Feldkartierung 1:25'000: Gewässersohlenqualifizierung und Kartierung der Schlammquellen im Einzugsgebiet der Minster. 118 S., 58 Textfig., 1988..... 25.-

Kleinere Mitteilungen - Bulletin

- Nr. 79: T.P.Labhart: Die Gesteine des Parlamentsgebäudes. 33 S., 22 Farbf. 1987..... 8.-
- Nr. 80: D.Staeger: Baugrundkarte der Stadt Bern und Umgebung 1:10'000, mit Erläuterungen. 59 S., 20 Textfig., 6 Tab., 1988. 30.-

Einzelpublikationen

- F. de Quervain: Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. Dritte vollständig neubearbeitete Auflage. 312 S., 126 Textfig., 1969. 45.-