

Schlüsselwörter

Kohle

Miozän

Wies

Weststeirisches Becken

Kohlenpetrographie

Kohlefazies und Sedimentologie der Eibiswalder Bucht (Miozän, Steirisches Becken)

WILFRIED GRUBER^{1*}, SIEGFRIED HERMANN², REINHARD F. SACHSENHOFER¹ & KARL STINGL³

8 Abbildungen, 1 Tabelle

Inhalt

Zusammenfassung	15
Abstract	16
1. Einleitung	16
2. Geologischer Überblick	16
3. Flözverbreitung	19
4. Probenahme und Methodik	20
5. Flözprofile	20
5.1 Wieser Flöz, Lokalität Tombach	20
5.2 Wieser Flöz, Lokalität Aug/Schöneegg	23
5.3 Wernersdorfer Flöz, Lokalität Wernersdorf	23
6. Diskussion und Schlussfolgerungen	25
6.1 Ablagerungsbedingungen des Wieser Flözes	25
6.2 Ablagerungsbedingungen des Wernersdorfer Flözes	27
6.3 Ablagerungsbedingungen des Eibiswalder Flözes	27
6.4 Entwicklungsgeschichte der Eibiswalder Bucht	27
7. Danksagung	28
Literatur	28

Zusammenfassung

Kohlenpetrographische und geochemische Verfahren werden angewandt um unter Nutzung von Literaturdaten die Moorfazies zur Zeit der Ablagerung der Wieser und Wernersdorfer Flöze zu rekonstruieren. Die neuen Erkenntnisse werden im Rahmen der Entwicklungsgeschichte der Eibiswalder Bucht, dem südlichen Teil des Weststeirischen Beckens, diskutiert.

Das Wieser Flöz weist eine geringe Mächtigkeit (durchschnittlich 1,2 m), aber eine für inneralpine Kohlen außerordentlich große laterale Ausdehnung (~25 km²) auf. Seine Bildung erfolgte in einem Niedermoor. Im östlichen Teil dominierte eine Vegetation mit geringer Erhaltungsfähigkeit (krautige Gewächse, Laubbäume), während Pflanzen mit einem guten Erhaltungspotential (z. B. Koniferen) im Bereich Pöfing vorherrschten. Das Moor baute sich weit nach Norden in einen Bereich offenen Wassers vor. In diesen mündete ein niederenergetischer Fluss, der während der gesamten Moorbildung aktiv war. Die Flözbildung endete durch Überflutung. Hohe Schwefelgehalte deuten eine zumindest kurzfristige brackische Beeinflussung an. Die Hangendschichten werden als küstennahe Sedimente interpretiert.

Das Wernersdorfer Flöz entstand gleichfalls in einem brackisch beeinflussten Niedermoor. Häufige Überflutungsereignisse reduzierten die Qualität der Kohle. Der Schwefelgehalt des Wernersdorfer Flözes ist noch höher als jener des Wieser Flözes. Das bis zu 5 m mächtige Eibiswalder Flöz ist dagegen relativ arm an Asche und Schwefel. Letzteres wird als Hinweis auf fehlende brackische Beeinflussung gewertet.

Traditionell wird für die Kohle ein karpatisches Alter angenommen. Paläogeographische Überlegungen deuten hingegen auf ein badenisches Alter des Wieser Flözes hin. Dieses wird durch neue radiometrische Alter (~15 Ma) von Tuffen im Hangenden des Eibiswalder Flözes bestätigt, die für ein unterbadenisches Alter des Eibiswalder Flözes und ein mittelbadenisches Alter des Wieser Flözes sprechen.

Anschriften der Verfasser

¹ Wilfried GRUBER* und Reinhard F. SACHSENHOFER, Institut für Geowissenschaften, Montanuniversität Leoben, Peter-Tunner-Straße 5, A-8700 Leoben

* derzeitige Adresse: Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Angewandte Geophysik, Roseggerstraße 17, A-8700 Leoben

² Siegfried HERMANN, Institut für Geologie und Paläontologie, Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 Graz

³ Karl STINGL, Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben, Peter-Tunner-Straße 27, A-8700 Leoben

Coal Facies and Sedimentology in the Eibiswald Embayment (Miocene, Styrian Basin)

Abstract

Coal petrology and geochemical data were utilized together with information from the literature to reconstruct the facies of the Neogene Wies and Wernersdorf seams. The results are discussed within the frame of the evolution of the Eibiswald Embayment in the southern part of the Western Styrian Basin.

The thin Wies seam (~1.2 m) is characterized by a large lateral extension (~25 km²), which is unusual for inner-alpine coals. The deposition of the coal occurred within a low-lying mire. The eastern part of the mire was characterized by a flora rich in plants with a poor preservation potential (shrubs, deciduous trees), whereas plants with a good preservation potential (e. g. conifers) dominated in the Pöfing area. The mire prograded northward into a region with an open water table. A river with low energy was active during the entire time of peat formation and flowed into this area. High sulfur contents indicate an at least short-time brackish influence. The hanging wall rocks were deposited in coastal environments.

The Wernersdorf seam was also deposited in a low-lying mire influenced by brackish water. Frequent flooding of the mire caused high ash yields and reduced the quality of the coal. The sulfur content of the Wernersdorf seam is even higher than that of the Wies seam. In contrast, the up to 5 m thick Eibiswald seam is quite clean and poor in sulfur suggesting deposition in a freshwater environment.

Traditionally, the coal seams have been considered to be Karpatian in age. However, paleogeographic considerations argue for a Badenian age of the Wies seam. This interpretation is supported by new radiometric ages of tuffs overlying the Eibiswald seam (~15 Ma), which indicate early and middle Badenian ages for the Eibiswald and Wies seams, respectively.

1. Einleitung

Das Steirische Becken bildete sich während des Miozäns am Ostrand der Alpen. Die Mittelsteirische (Sausal) Schwelle trennt das über 4 km tiefe Oststeirische Becken vom wesentlich kleineren Weststeirischen Becken. Letzteres untergliedert sich von Süden nach Norden in drei Teilbecken: die Eibiswalder Bucht, die Florianer Bucht und die Bucht von Stallhofen, der auch die Köflach-Voitsberger Teilbucht zugerechnet wird (Abb. 1).

Die Geologie des Oststeirischen Beckens ist aufgrund von zahlreichen Tiefbohrungen und seismischen Daten relativ gut bekannt (EBNER & SACHSENHOFER, 1991, 1995; SACHSENHOFER et al., 1996). Altersstellung, Fazies und laterale Beziehungen der unter- bis mittelmiozänen Schichten des Weststeirischen Beckens sind hingegen noch ungenügend untersucht. Neuere Daten liegen lediglich von der Köflach-Voitsberger Bucht (STEININGER, 1998; SACHSENHOFER et al., 2000; STINGL, im Druck), der Mittelsteirischen Schwelle (FRIEBE 1993) und vom Südrand der Eibiswalder Bucht (STINGL, 1994) vor.

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht die Kohle der Eibiswalder Bucht. Diese wurde zwischen 1790 und 1975 im Wies-Eibiswalder Revier abgebaut (WEBER & WEISS, 1983). Die Untersuchung der Kohle beschränkt sich wegen der Aufschlussverhältnisse auf den Wieser Flözhorizont und ein Flöz im Bereich Wernersdorf. Die angewandten kohlenpetrographischen und geochemischen Verfahren dienen der Rekonstruktion der Moorfazies. Diese soll mit neuen sedimentologischen Befunden zu einem besseren Verständnis der Entwicklungsgeschichte der Eibiswalder Bucht beitragen.

2. Geologischer Überblick

Das Weststeirische Becken wird im Süden und Westen von mittelostalpinem Kristallin, im Osten (Mittelsteirische Schwelle) und Norden von oberostalpinem Paläozoikum unterlagert. Die Sedimente der Eibiswalder Bucht und der Bucht von Stallhofen werden traditionell als limnisch-fluviatil interpretiert (KOLLMANN, 1965). Bei der Florianer Bucht handelt es sich um eine marine Ingressionsbucht des Badeni-

um. Hinweise für eine zumindest zeitweise marine Beeinflussung finden sich aber auch in der Eibiswalder Bucht (STINGL, 1994; HIDEN & STINGL, 1998).

Die Schichtfolge der Eibiswalder Bucht wird vom Liegenden ins Hangende in Radl-Formation, Untere-, Mittlere- und Obere Eibiswalder Schichten (Abb. 2), sowie die Schwanberg-Formation gegliedert (HIESSLEITNER, 1926; WINKLER, 1924, 1927). NEBERT (1983) unterteilt die Eibiswalder Schichten in vier Sedimentationszyklen, von denen der Eibiswalder und der Wieser Zyklus wirtschaftliche Flöze führen (Abb. 2).

Die Sedimentation setzte vermutlich im Otnangium/Karpatium mit der Ausbildung von Fächerdeltas entlang des Beckensüdrandes ein (STINGL, 1994). Die Sedimente sind einerseits grobklastische Alluvialfächersedimente (Radl-Formation), die die subaerischen Anteile der Fächerdeltas bilden, andererseits grob- bis feinklastische Turbidite und „debris-flows“ (Arnfelder Konglomerate, Untere Eibiswalder Schichten), die die subaquatischen Anteile der Fächerdeltas darstellen (KRAINER, 1989, 1990; STINGL, 1994).

Danach folgte eine Verflachung des Ablagerungsraums und die Bildung von mergeligen Tonen, Silten und Sanden sowie von Kohleflözen (Mittlere Eibiswalder Schichten). PETRASCHECK (1924) vermutet einen einzigen Flözhorizont, der durch Störungen postsedimentär versetzt wurde. Seit WINKLER (1924, 1927) werden zwei Flözhorizonte angenommen. Demnach bildet das Eibiswalder Flöz die Untergrenze, das Wieser Flöz die Obergrenze der Mittleren Eibiswalder Schichten (Abb. 2). Aufgrund der im Bergbaurevier gefundenen Großsäuger (MOTTL, 1970) wurde ein karpatisches Alter der kohleführenden Serie postuliert. Neue Ar-Ar Alter (15,22 ± 0,17; 15,08 ± 0,09 Ma; NEUBAUER, pers. Mitt.) von Biotiten aus Tufflagen in der Bohrung Hörnsdorf 3 (Lage der Bohrung siehe Abb. 3) im Hangenden des Eibiswalder Flözes weisen hingegen in den Grenzbereich Unter-/Mittelbadanium.

Der Übergang der 300 bis 400 m mächtigen Mittleren Eibiswalder Schichten in die sandigen Oberen Eibiswalder Schichten ist meist graduell. Über dem Wieser Flöz treten mehrere Härtlingsbänke mit einer individuenreichen Molluskenfauna auf. In einer dieser Bänke wurde zwischen Pöfing-Brunn und Wies eine marine Fauna (*Austern*, *Balaniden*) aufgefunden (STUR, 1871, S. 552). Später wurde diese

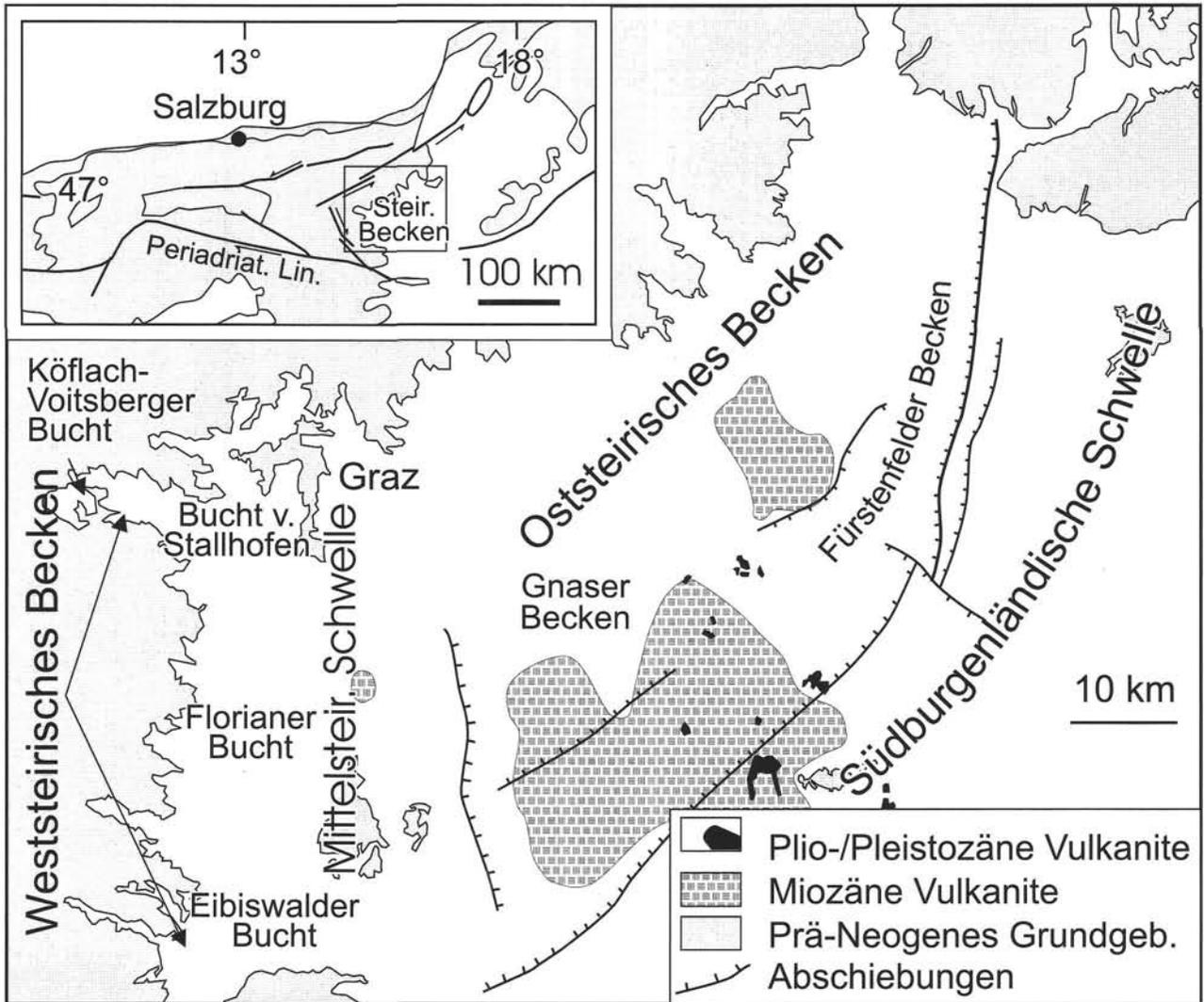


Abb. 1
Übersichtskarte des Steirischen Beckens.

Angabe allerdings bezweifelt (WINKLER, 1927, S. 111). In die sandigen bis tonigen Abfolgen über dem Wieser Flöz schalten sich im Hangenden vermehrt sandige Rinnenfüllungen ein. Im obersten Teil dieses Übergangs konnte in den als Küstenablagerungen interpretierten Sedimenten der Tongrube Gasselsdorf, ca. 200 m über dem Wieser Flöz, eine marine Otolithenfauna gewonnen werden. Sowohl die Fazies der Sedimente als auch die Otolithenfauna zeigen eine Angleichung des Ablagerungsraumes an die nördlich angrenzenden marinen Florianer Schichten (Badenium), die ebenso als Küstenablagerungen interpretiert werden (KOPETZKY, 1957). Eine Verzahnung der Oberen Eibiswalder Schichten mit den Florianer Schichten ist daher wahrscheinlich (HIDEN & STINGL, 1998). Im Bereich nördlich von Aug/Schönegg überlagern gut sortierte, meist planar schräggeschichtete Sande und Feinkiese die Hangendsedimente über dem Wieser Flöz mit scharfer Grenze. Sie werden als Küsten- und Ästuarsande interpretiert. Im Hangenden gehen diese in trogförmig schräggeschichtete Sande und Kiese über.

Entlang des Westrandes der Eibiswalder und der Florianer Bucht liegt dem Grundgebirge die Schwanberg-Forma-

tion auf. Es handelt sich um grobe Blockschotter; Alluvialfächersedimente ähnlich der Radl-Formation, die bisher dem Badenium zugeordnet werden. Eine Verzahnung mit den Eibiswalder Schichten oder den Ablagerungen der Florianer Bucht ist im Gelände nicht aufgeschlossen. Die Zuordnung ins Badenium erfolgte auf Grund der (Fehl?)interpretation von Kohlestücken in der Schwanberg-Formation als aufbereitete karpatische Kohle der Eibiswalder Schichten (WINKLER, 1927; NEBERT, 1989). Kohlige Fragmente (Treibhölzer) kommen in Alluvialfächersedimenten (z. B. Radl-Formation) häufig vor und können daher nicht als Altersargument verwendet werden. Die stratigraphische Position der Schwanberg-Formation ist somit derzeit ungeklärt.

Die Kohle der Eibiswalder Bucht erreicht das Glanzbraunkohlenstadium. Dies ist auf ihre Lage am Rand einer großen thermischen Anomalie zurückzuführen, deren Zentrum im oststeirisch/slowenischen Bereich liegt (SACHSENHOFER, 2001). Innerhalb der Eibiswalder Bucht nimmt der Inkohlungsgrad nach Süden zu (EBNER & SACHSENHOFER, 1991). Das Eibiswalder Flöz ist daher geringfügig höher inkoht als das Wieser Flöz. Zur Zeit kann nicht entschieden werden, ob dies das Resultat eines nach Süden zunehmenden pa-

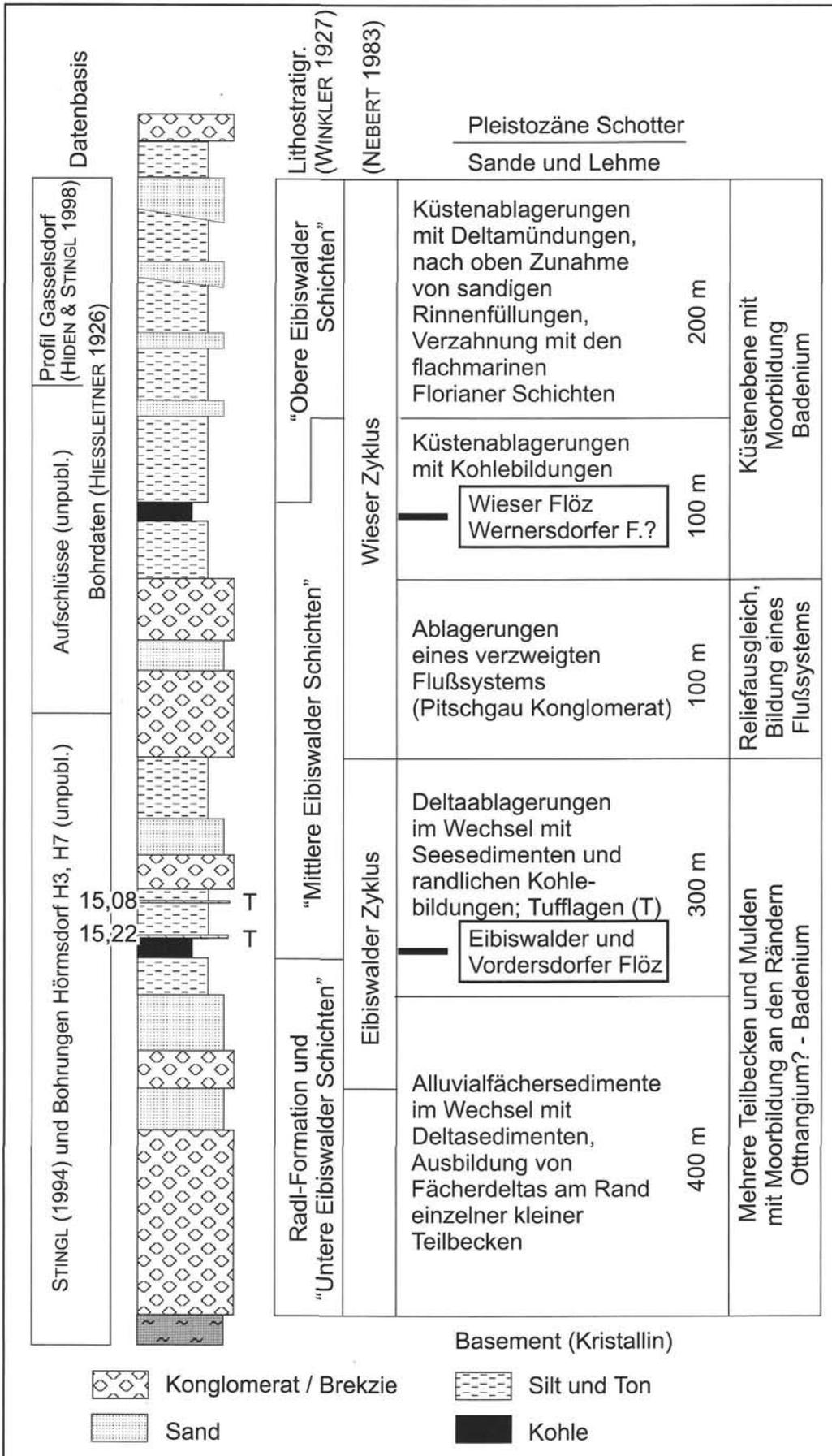


Abb. 2
Lithostratigraphisches Säulenprofil der Sedimente der Eibiswalder Bucht und Interpretation ihres Ablagerungsmilieus. Die durchschnittlichen Mächtigkeiten beziehen sich auf den zentralen und nördlichen Teil der Eibiswalder Bucht. Absolute Altersdaten (in Mio. J.) von Tuffen über dem Eibiswalder Flöz nach NEUBAUER (pers. Mitt.).

läogeothermischen Gradienten oder einer tieferen Versenkung des Eibiswalder Flözes ist.

3. Flözverbreitung

Die Verbreitung der Flöze ist in Abb. 3 dargestellt. Die folgende Beschreibung basiert im wesentlichen auf RADIMSKY (1875), PETRASCHECK (1924), HIESSLEITNER (1926) und WEBER & WEISS (1983).

Wieser Flöz: Die größte Verbreitung und Kontinuität erreicht die Kohle im Wieser Revier mit einer bauwürdigen Ausdehnung von $9 \times 2,5$ (-3) km. Das Flöz beißt an seiner Südwestgrenze auf dem Kristallinsporn zwischen Schwanberg und Wies als Grundflöz aus (Abb. 3). Die Ausbisslinie setzt sich von Sedimenten (E Wies über 368 m mächtig) unterlagert nach Osten bis St. Ulrich fort. Dort wo das Flöz als Grundflöz ausgebildet ist, ist seine Mächtigkeit mit maximal 3,8 m am größten. Ansonsten beträgt sie meist 1 bis 2 m. Abgesehen vom West- (20° E) und Südrand (7° S) taucht der Kohlehorizont mit etwa 10° flach nach Norden

ab, wobei er sich durch ein Ansteigen der Mächtigkeit der Liegendschichten zunehmend vom Grundgebirge entfernt. Entlang der Bauwürdigkeitsgrenze spaltet das Flöz in mehrere Teilflöze auf und die Nettokohlemächtigkeit nimmt bis zum vollständigen Verlauben ab. Einige flache ostgerichtete Abschiebungen versetzen das Flöz um max. 30 m.

Eine über 3 km lange, NNE-SSW streichende Verlaubungszone („Ostfeldverlaubung“) bei Bergla gliedert die Flözplatte. Die Verlaubung setzt am Flözaußbiss nahe des Grundgebirges schmal (ca. 80 m) ein und verbreitert sich in nördlicher Richtung auf maximal 300-400 m Breite. Die Breite der Verlaubung nimmt auch vom Hangenden zum Liegenden des Flözes zu. Sie wird von braunen, kohligten Tonsteinen und untergeordneten Sanden mit einzelnen nussgroßen Quarzgeröllen gebildet. Südlich St. Peter ist die Kohlequalität in einem 300 bis 400 m breiten Bereich mit aschereicher Kohle („Verschieferungszone“) reduziert, während sie bei Pöfing durch einen erhöhten Anteil an Glanzkohle (Vitrain) am höchsten ist (HIESSLEITNER, 1926). Rußkohle (Fusain) ist im letztgenannten Bereich häufig. Das Hangendblatt der Kohle, bzw. dessen aschereichen Han-

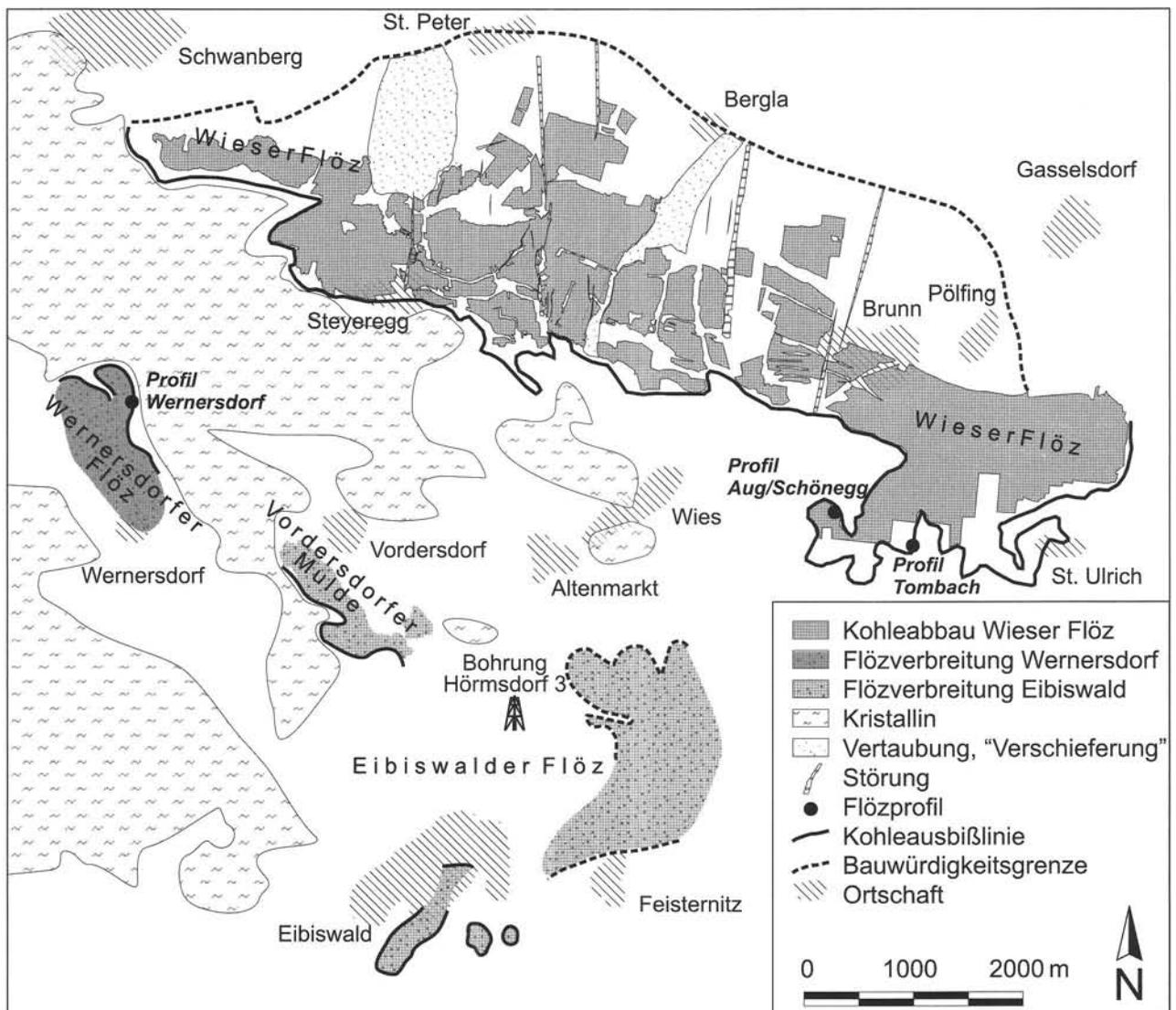


Abb. 3
Übersichtskarte des Wies-Eibiswalder Kohlenreviers mit der Position der untersuchten Flözprofile.

gendpartien, beinhalten zahlreiche Fischreste und Deckelklappen von Schnecken.

Das Wieser Flöz wird im Liegenden und im Hangenden von Kohlen und kohligem Ton begleitet. Dazu zählen (1) ein bis 1,8 m mächtiges „Liegendflöz“ (>50% Asche, ca. 4% Schwefel; HIESSLEITNER, 1926), das etwa 60 m unter dem Hauptflöz zwischen Steyeregg und Bergla auf einer Länge von ca. 3 km nachgewiesen wurde, (2) ein Flöz NW Steyeregg, 1-4 m über dem Hauptflöz, (3) ein bis 1,2 m mächtiges Flöz ca. 16 m über dem Hauptflöz im Bereich Bergla – St. Peter und (4) eine Hangendflözgruppe 50 bis 70 m über dem Hauptflöz. Der Abstand der begleitenden Flöze vom Hauptflöz ist bemerkenswert konstant.

Wernersdorfer Flöz: Das Flöz im Bereich Wernersdorf wurde bislang zum Eibiswalder Flöz gestellt. Wegen der großen Unterschiede im Flözaufbau soll es aber getrennt besprochen werden. Das Wernersdorfer Flöz liegt in einer schmalen NW-SE streichenden, tektonisch begrenzten Grundgebirgsmulde. Das Flöz erreicht eine maximale Mächtigkeit von 1,5 m und wird durch zwei taube Zwischenmittel aufgespalten. Wegen des hohen Aschegehaltes und der begrenzten lateralen Ausdehnung kommt dem Flöz keine wirtschaftliche Bedeutung zu.

Eibiswalder Flöz: Das Eibiswalder Flöz tritt in mehreren Teilbereichen auf, die teils erosionsbedingt, teils wegen Verwitterung voneinander getrennt sind. Im (ausgekohlten) Bereich südlich Eibiswald blieb das bis zu 3,8 m mächtige, mit 3-5° gegen NE einfallende Flöz in mehreren kleinen Erosionsresten erhalten.

Nördlich Feisternitz formt das Eibiswalder Flöz eine E-W streichende und bis 220 m tiefe Mulde. Im bis zu 15° steilen Südschenkel verwittert das Flöz in geringer Tiefe, im flachen Nordflügel in einer Tiefe von ca. 150 m. Das Flöz ist daher oberflächlich nicht aufgeschlossen. Gegen Osten verwittert das Flöz und wird an einer N-S streichenden Störung abgeschnitten. Die Kohle ist bis 1,6 m mächtig und durch schmale tonige Zwischenmittel in drei Bänke getrennt.

Das Vordersdorfer Revier ist vom Feisternitzer Revier durch einen Bereich unbauwürdiger Kohle getrennt. Es stellt eine NW-SE gestreckte Mulde dar. Von der Ausbisslinie am Südflügel fällt das Flöz mit 20° nach NE ein. Dabei nimmt die Kohlemächtigkeit von ca. 1 m auf fast 5 m im Muldentiefsten zu. Im flacheren Nordflügel keilt das Flöz aus. Der Kohlehorizont ist als Grundflöz, welches nur lokal von etwa 1 m Sandstein unterlagert wird, ausgebildet. Im westlichen Muldenteil wird das Flöz durch ein 5-40 cm dickes Sandsteinmittel geteilt, im östlichen Muldenteil treten drei Kohlebänke auf. Lokal war, ebenso wie im Feisternitzer Revier, über dem Flöz ein Fischschiefer entwickelt.

Die Qualität der Kohle des Eibiswalder Flözes wurde wegen geringen Gehaltes an Asche und Schwefel als hervorragend beschrieben. Im Vordersdorfer Revier enthielt die Kohle überdurchschnittlich viel Methan.

4. Probenahme und Methodik

Untersucht wurden drei Profile entlang der Ausbisslinie des Wieser und Wernersdorfer Flözes (Abb. 3). Ihre makropetrographische Beschreibung folgt der Steinkohlennomenklatur (Vitrain: Glanzkohlenstreifen; Durain: Mattkohlenstreifen; Clarain: feine Wechsellagerung von Vitrain und Durain; Fusain: „fossile Holzkohle“; tonige Kohle; z. B. TAYLOR

et al., 1998). Bei der kontinuierlichen Beprobung der Flöze wurden, abhängig von der Lithologie, 5-15 cm mächtige Abschnitte zu einer Probe vereint. Ein repräsentativer Teil jeder Probe wurde auf <250 µm aufgemahlen.

Die Bestimmung der Gehalte an Gesamtkohlenstoff, organischem Kohlenstoff (TOC) und Schwefel erfolgte mit einem Leco CS 300 Analysator. Hier wurden zumindest drei Wiederholungsmessungen ausgeführt. Aschegehalte wurden nach DIN 51719 ermittelt. Alle Asche- und Schwefelgehalte werden bezogen auf wasserfreie Substanz (wf) angegeben. Pyrolyseuntersuchungen wurden am Rock Eval 2+ Gerät durchgeführt. Aus dem Mittelwert zweier Bestimmungen wurden folgende Parameter zur Charakterisierung des organischen Materials abgeleitet (ESPITALIÉ et al., 1977):

S2 ... Menge an Kohlenwasserstoffen (mgHC/gGestein), die während der Pyrolyse aus dem Kerogen neu gebildet wird.

S3 ... Menge an CO₂ (mg CO₂/g Gestein), die während der Pyrolyse aus dem Kerogen neu gebildet wird.

HI ... Wasserstoffindex = S2 × 100 / TOC (mgHC/gTOC).

OI ... Sauerstoffindex = S3 × 100 / TOC (mgCO₂/gTOC).

T_{max} ... Temperatur (°C), bei der ein Maximum an S2 Kohlenwasserstoffen generiert wird.

An ausgewählten Proben wurden Isotopenverhältnisse des organischen Kohlenstoffs bestimmt. Die Analysebedingungen sind in BECHTEL et al. (2001) zusammengefasst. Zur mikropetrographischen Untersuchung wurden die Kohlen auf eine Korngröße <3,15 mm gebrochen, in Kunstharz eingebettet und poliert. Für die Mazeralanalyse erfolgte die Auszählung von mindestens 400 Punkten unter weißem und ultraviolettem Licht an einem Auflichtmikroskop (TAYLOR et al., 1998). Bezüglich einer deutschsprachigen Erklärung der kohlenpetrographischen Termini sei auf WOLF (1988) verwiesen. Aus den Mazeralverteilungen wurden Faziesindikatoren berechnet (CALDER et al., 1991):

Der Grundwasserindex (GWI) repräsentiert das Verhältnis von humosen Gelen (Gelovitrinit) und synsedimentären Mineralen zu erhaltenen und degradierten humosen Geweben (Telovitrinit, Detrovitrinit).

$$GWI = \frac{\text{Gelovitrinit} + \text{synsed. Minerale}}{\text{Telovitrinit} + \text{Detrovitrinit}}$$

Der Vegetationsindex (VI) repräsentiert das Verhältnis von erhaltenen Geweben (einschließlich ihrer Zellfüllungen) zu degradierten Pflanzenbestandteilen (einschließlich humoser Gele, Sporen, Blatthäute und detritärer Harze).

$$VI = \frac{\text{Telovitrinit} + \text{Phlobaphinit} + (\text{Semi-})\text{Fusinit} + \text{Suberinit} + \text{in situ Resinit}}{\text{Detrovitr.} + \text{Gelinit} + \text{Inertodetr.} + \text{Alginat} + \text{Sporinit} + \text{Cutinit} + \text{Liptodetr.} + \text{Bituminat} + \text{Fluorinit} + \text{detr. Resinit}}$$

5. Flözprofile

Die Besprechung der beiden Profile im Wieser Flöz und des Profils im Wernersdorfer Flöz erfolgt von Osten nach Westen. Die geochemischen und petrographischen Daten aller Profile sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die vertikale Veränderung der Schwefel- und Aschegehalte, des Wasserstoffindex, der Mazeralgruppen, sowie der petrographischen Faziesindikatoren wird in Abb. 4 dargestellt.

5.1 Wieser Flöz, Lokalität Tombach

Das Wieser Flöz war kurzfristig in einem Graben etwa 300 m westlich des Gehöfts Grabenbauer (westlich St. Ul-

Tab. 1

Ergebnisse der Wasser-, Asche-, Schwefel-, Kohlenstoff- und Rock Eval Analysen, sowie Isotopenverhältnisse, Mazeralgehalte und Faziesindikatoren; grau hinterlegte Proben bezeichnen Kohlen, fett gedruckte Werte neben dem Flöznamen sind Mittelwerte der Kohlen. Die angegebenen Wassergehalte beziehen sich auf lufttrockene Proben. (%wf: Gewichtsprozent bezogen auf wasserfreie Substanz, HI: Wasserstoffindex (mgHC/gTOC), OI: Sauerstoffindex (mgCO₂/gTOC), Tel: Telovitritin, Det: Detrovitritin, Gel: Gelovitritin, V: Vitritin, L: Liptinit, I: Inertinit, MM: Mineralsubstanz).

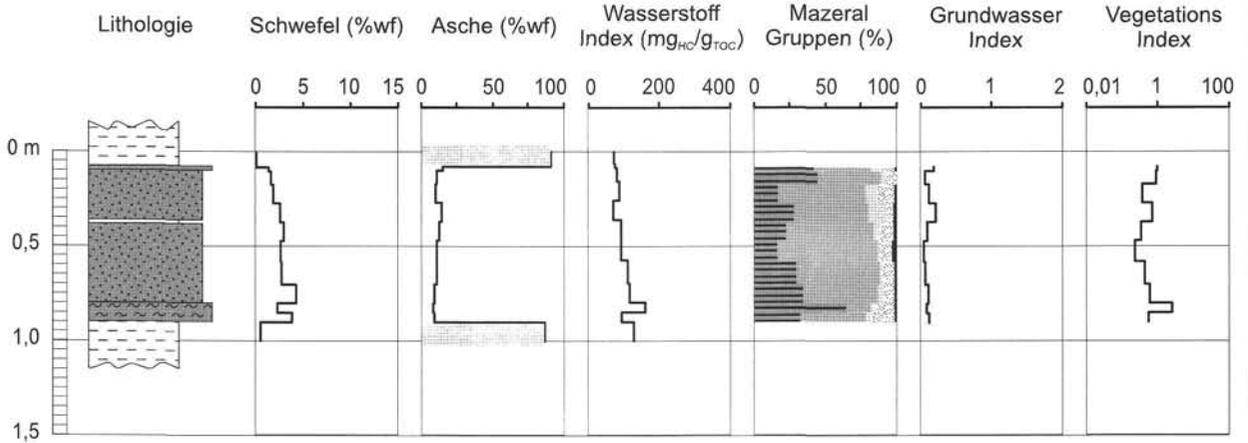
Profil Probe	Tiefe (m)		H ₂ O %	Asche % wf	S % wf	TOC % wf	C _{anorg} % wf	T _{max} °C	HI	OI	δ ¹³ C PDB	Mazeralverteilung (% mmf)							Indikatoren		
	von	bis										Tel	Det	Gel	V	L	I	MM	GI	VI	
Tombach			10,7	13,1	2,6	61,1	1,4	423	94	41	-27,1	31,7	52,3	3,9	89,4	8,2	1,6	3,7	0,10	0,56	
1a	0,00	0,08	2,1	93,1	0,04	1,2	0,01	433	73	63											
1b	0,08	0,10	11,9	17,0	1,35	60,0	1,5	425	78	53		42,2	40,3	7,7	90,1	8,3	1,6	7,1	0,19	0,93	
2	0,10	0,17	10,6	13,1	1,61	60,6	1,4	419	82	48	-26,4	45,0	44,2	3,2	92,3	7,7	0,0	2,6	0,07	0,92	
3	0,17	0,27	10,7	11,9	1,85	61,7	2,9	423	90	43		17,9	60,8	8,0	86,7	11,8	1,5	1,5	0,12	0,37	
4	0,27	0,37	8,8	16,0	2,59	57,8	1,6	425	71	52	-27,3	28,8	52,1	13,0	93,9	3,9	2,2	4,2	0,22	0,68	
5	0,37	0,47	8,6	14,5	2,95	57,5	1,4	426	94	43		23,1	61,2	4,4	88,8	9,2	2,1	3,4	0,09	0,34	
6	0,47	0,58	14,7	13,2	2,64	62,9	1,7	430	94	39		17,3	70,1	0,8	88,1	8,1	3,8	3,4	0,05	0,22	
7	0,58	0,70	7,3	13,1	2,74	56,7	1,9	421	113	40	-26,9	30,4	58,2	2,3	90,9	7,9	1,2	3,4	0,07	0,42	
8	0,70	0,80	12,3	10,9	4,27	63,2	0	423	117	28		34,9	52,5	3,8	91,2	7,1	1,6	5,5	0,11	0,59	
9	0,80	0,85	11,6	10,2	2,27	65,8	0,4	402	163	16		64,4	17,8	3,1	85,3	13,6	1,1	4,0	0,09	2,48	
10	0,85	0,90	10,7	11,0	3,87	62,7	1,2	422	96	33	-27,6	33,0	46,2	4,0	83,2	15,5	1,3	5,4	0,12	0,53	
11	0,90	1,00	2,0	88,9	0,50	3,2	0	421	130	29											
Aug/Schöneegg			9,4	11,9	2,4	62,6	1,3	415	110	24		33,6	53,7	2,4	89,8	7,2	2,0	3,4	0,06	0,57	
D	-15,0	-15,1	0,6	74,1	0,06	2,5	5,7	422	354	60											
C	-1,00	-1,10	0,8	75,2	0,16	2,3	5,7	426	208	75											
12	-0,20	-0,05	0,3	88,9	0,24	2,4	0,8	424	235	39											
11	-0,05	0,00	1,2	77,0	1,77	11,4	0,3	425	151	135											
10	0,00	0,16	10,1	12,4	1,54	61,6	1,5	413	120	77		33,6	53,7	2,3	89,6	8,9	1,5	2,3	0,04	0,57	
9	0,16	0,30	9,4	9,6	1,71	63,9	2,1	420	99	20		41,2	46,0	2,9	90,1	6,6	3,3	0,6	0,04	0,89	
8	0,30	0,44	9,5	11,9	3,25	62,6	2,1	419	104	24		13,3	63,7	2,4	79,4	7,4	13,3	5,3	0,10	0,35	
7	0,44	0,56	9,6	9,8	3,61	64,3	1,3	420	111	24		15,2	75,4	1,9	92,5	7,0	0,5	3,4	0,06	0,20	
6	0,56	0,72	8,9	5,8	1,98	69,3	1,0	409	108	18		64,6	26,7	3,4	94,6	3,4	2,0	1,1	0,05	2,27	
5	0,72	0,85	8,7	15,0	2,41	60,9	1,2	413	110	25		60,8	25,8	3,2	89,8	7,2	3,0	5,5	0,10	1,91	
4	0,85	1,00	5,3	50,9	10,28	29,9	0,1	415	124	20		18,8	60,8	1,7	81,3	18,2	0,6	37,1	0,76	0,22	
3	1,00	1,15	0,6	89,2	0,25	4,1	0,0	422	72	30											
2	1,15	1,25	0,8	85,7	0,50	6,6	0,1	422	86	33											
1	1,25	1,50	1,2	89,7	0,31	2,6	0,0	429	110	17											
A	3,00	3,10	1,4	94,9	0,00	0,3	0,0														
B	7,50	7,60	1,0	93,5	0,02	0,4	0,8														
Wernersdorf			6,2	17,7	9,6	52,0	0,6	421	143	28	-26,2	26,9	50,0	6,4	85,1	13,6	1,1	10,7	0,23	0,42	
H	-0,10	0,00	1,8	83,6	0,04	1,4	0		21												
1	0,00	0,08	3,0	76,3	1,75	11,6	0	431	305	19											
T1	0,08	0,09	2,5	87,9	0,08	3,8		432	191	100											
2a	0,09	0,16	3,9	67,1	2,03	17,3	0,2	425	218	31		73,6	1,1		74,7	25,3		56,7	1,75	2,71	
2b	0,16	0,23	12,1	49,6	7,42	31,5	0,2	423	193	25	-26,3	10,9	64,2	3,6	78,8	20,0	1,2	43,5	1,07	0,19	
3	0,23	0,30	13,6	7,2	3,83	64,8	0,5	424	123	28	-25,8	23,2	53,9	8,6	85,7	13,2	1,1	2,5	0,14	0,48	
4	0,30	0,33	5,7	58,3	0,65	22,9	0,6	427	70	81		37,3	50,0		87,3	9,9	2,8	58,5	1,61	0,66	
5a	0,39	0,46	6,7	61,3	4,31	20,2	0,3	421	208	23	-26,5	0,5	78,4	1,0	79,9	19,6	0,5	47,3	1,15	0,02	
5b	0,46	0,53	9,2	53,1	5,47	28,4	0	421	284	23		2,3	72,0	4,2	78,4	20,5	1,1	43,3	1,09	0,07	
5c	0,53	0,60	5,8	18,2	10,65	49,5	0,3	422	88	29		19,3	60,1	5,2	84,6	14,0	1,4	7,9	0,17	0,27	
5d	0,60	0,67	6,7	17,2	6,41	54,4	1,3	421	116	32		38,7	46,2	4,5	89,4	10,3	0,3	10,8	0,20	0,72	
T5-6	0,67	0,80	1,4	89,3	0,21	3,5	0,1	428	56	43											
6a	0,80	0,93	4,1	55,7	5,32	23,6	0,4	410	114	40		39,1	37,7		76,8	20,8	2,5	33,3	0,65	0,63	
6b	0,93	1,14	4,9	28,6	18,59	40,6	0,04	426	94	32		33,1	46,0	8,3	87,4	11,7	0,9	17,1	0,36	0,79	
7a	1,14	1,21	14,8	10,5	8,93	66,1	0,6	416	177	27	-26,0	23,5	54,5	5,8	83,9	14,0	2,1	5,3	0,15	0,33	
7b	1,21	1,28	5,2	13,9	10,27	58,4	1,1	419	163	25		46,2	32,8	9,4	88,4	10,5	1,1	10,6	0,27	1,28	
7c	1,28	1,34	4,9	20,1	14,95	48,8	0,8	412	171	46		30,3	44,6	7,0	81,9	17,3	0,7	13,7	0,31	0,36	
B	1,34	1,40	1,1	92,8	0,07	2,0	0,1	422	75	143											
Eibiswald			13,4	4,7	0,9	71,9															
Hiessleitner 1926			13,1	9,1	0,97	69,5															
Weber & Weiss 1983			13,7	3,3	1,01	72,0															
			10,7	3,9	0,84																
			14,2	5,6	0,83	71,9															
			11,9	6,5	0,74																
			13,7	3,2	1,01																

rich, Abb. 3) aufgeschlossen. Das Flöz erreicht dort 0,9 m Mächtigkeit und fällt mit 10° flach nach SE ein. Es ist durch, in Abständen von 2-10 cm, fast seiger stehende Klüfte in W-E Richtung zerlegt. Das Profil beginnt im Liegenden mit dunkelgrauem, glimmerreichem Ton mit bis zu 5 mm großen Pflanzenresten. Das Kohleflöz ist homogen ausgebildet, lediglich ein cm-dünnes Kohletonband ist eingeschaltet

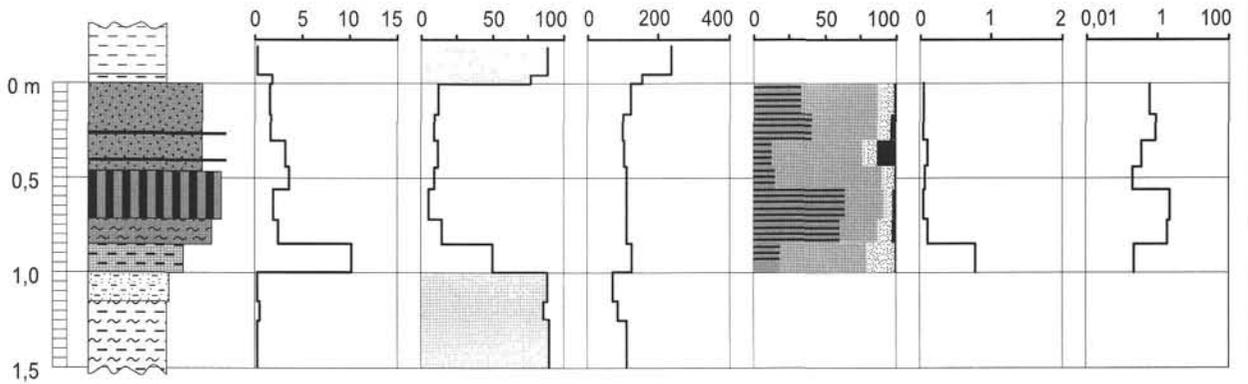
(Abb. 4). Oberhalb desselben ist die Kohle angewittert. Der überwiegende Teil des Flözes besteht aus Durain. Im Liegenden und Hangenden ist die Kohle claritisch entwickelt. Über dem Flöz bildet graublauer Tonstein das Hangende.

Asche- und Schwefelgehalt: Der Aschegehalt nimmt von der Basis zum Top des Flözes von 10 auf 17% zu (Tab. 1). Im Bereich des dünnen Kohletons beträgt der

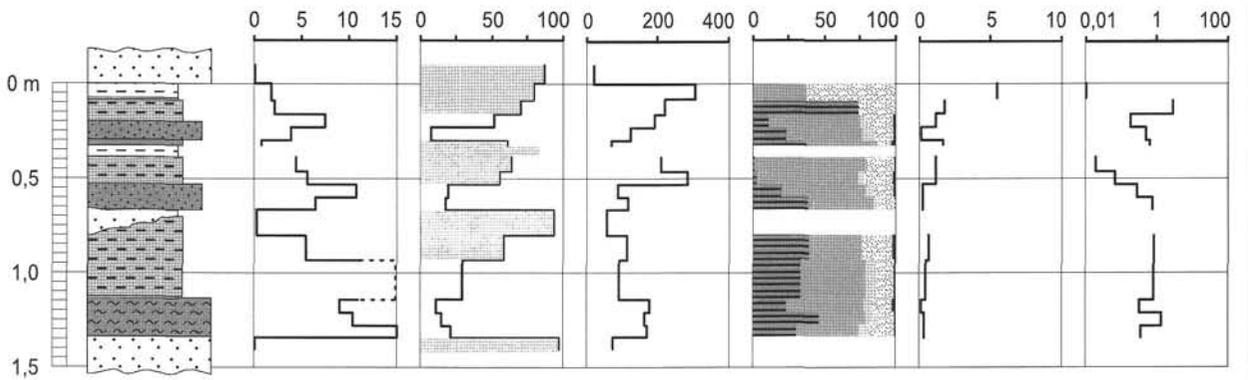
Tombach



Aug / Schönegg



Wernersdorf



Aschegehalt 16%. Der Schwefelgehalt reicht von 1,3 bis 4,3% und nimmt über dem Kohleton gegen das Hangende ab. Pyrit, welcher in Form von Framboiden auftritt, ist in diesem Flözabschnitt zum Teil oxydiert. Der liegende Tonstein weist mit 0,50% einen geringen Schwefelgehalt auf. Im hangenden Tonstein ist der Schwefelgehalt mit 0,04% sehr gering.

Mikropetrographie und Faziesindikatoren: Die häufigste Mazeralgruppe ist Vitrit, welcher auffallend oft als Wurzelgewebe auftritt. Vitrodetrinit dominiert den Hauptteil des Flözes. Nur in den claritischen Liegend- und Hangendabschnitten ist Telovitrit häufiger. Gelovitrit nimmt, den Clarain im Hangenden ausgenommen, nach oben zu. Die höchsten Liptinitgehalte (bis 16%) treten in den tieferen Anteilen des Flözes auf. Bestimmend sind Cutinit, Fluorinit und detritärer Resinit. Inertinite können vereinzelt als Inertodetrinit und Degradofusinit beobachtet werden.

Der Grundwasserindex (0,07-0,22) schwankt wenig. Seinen Maximalwert erreicht er in Probe 4, die eine dünne Kohlentonlage beinhaltet (Abb. 4). Der Vegetationsindex ist meist deutlich kleiner als 1. Werte um oder über 1 treten nur im liegenden und hangenden Abschnitt des Flözes auf.

Rock-Eval: Der Wasserstoffindex schwankt zwischen 70 und 165 mgHC/gTOC. Er nimmt kontinuierlich gegen das Hangende ab (Abb. 4). Dies stimmt mit einer Abnahme des Liptinitgehaltes überein. Wegen der beginnenden Oxydation der hangendsten Anteile, kann ein Einfluss der Verwitterung jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Die niedrigen T_{max} -Werte (423 °C) widersprechen der Vitritreflexion von ca. 0,4% Rr nicht.

Kohlenstoffisotopie: Die $\delta^{13}C$ -Werte schwanken von -26,4 bis -27,6 (Mittelwert: -27,05; Tab. 1). Die Isotopenwerte korrelieren positiv mit dem Telinitgehalt und dem Vegetationsindex und negativ mit dem Aschegehalt und dem Grundwasserindex.

5.2 Wieser Flöz, Lokalität Aug/Schönegg

Der Aufschluss befindet sich südlich der Zufahrtstraße zum Hof Leitensimer in Aug/Schönegg (Abb. 3) und wurde 1999 im Rahmen einer Grabung des Landesmuseums Joanneum freigelegt. Das 1 m mächtige Flöz liegt etwa horizontal. Zwei Scharen von steil stehenden N-S und E-W gerichteten Klüften zerlegen die Kohle im Dezimeterbereich.

Die Schichtfolge beginnt im Liegenden mit kohligem Ton, der in grauen Silt übergeht, welcher Glimmer und kleine Treibhölzer führt. Der tiefste Flözabschnitt besteht aus siltig-sandigem Kohleton mit schlecht eingeregelteten Pflanzenresten. Über claritischer Kohle liegt 20 cm mächtiger Vitrain. Zwei Fusainlagen (0,5 und 1 cm dick) gliedern die hangende Flözhälfte aus duritischer Kohle. Auf dem Flöz liegt ein 2 cm dicker rostbrauner Tegel der bis zu 2 cm große Gerölle und eine Fischfauna mit *Percichthyidae* vel. *Moronidae* (GAUDANT, 2000) enthält. Das oberste Schichtglied bildet mittelgrauer Ton.

Asche- und Schwefelgehalt: Im Kohleton liegt der Aschegehalt um 50%. Der obere Flözabschnitt enthält im

Mittel 12% Asche. Ein hoher Schwefelgehalt von 10% ist im liegenden Kohleton zu beobachten. Ein Bereich mit gering erhöhtem Schwefelgehalt (3,6%) liegt in der Flözmitte. Ansonsten schwanken die Schwefelgehalte von 1,5 bis 2,4%. Auffallend ist, dass Pyrit nicht nur als Framboidpyrit sondern auch als Rissfüllung auftritt. Vereinzelt sind die Sulfide oxydiert. Der Schwefelgehalt des die Fischreste führenden Tones beträgt 1,8%. Die Liegend- und Hangendschichten sind fast schwefelfrei.

Mikropetrographie und Faziesindikatoren: Innerhalb der Vitritgruppe überwiegt Detrovitrit. Lediglich im Clarain und Vitrain überwiegt Telovitrit. Gelovitrit ist selten. Der Anteil an Liptiniten reicht von 3 bis 9%, steigt im liegenden Kohleton aber auf 18%. Als Liptinitmazerale dominieren im Kohleton Liptodetrinit, Cutinit und Sporinit neben seltenem Alginit. Zum Hangenden hin treten vermehrt Resinit und Bituminat auf. Sehr geringe Gehalte an Inertinit werden von Degradofusinit und Inertodetrinit gebildet. Im Bereich der Fusainbänder ist Pyrofusinit häufig, sodass hier der Inertinitanteil auf über 13% steigt.

Der Grundwasserindex ist im liegenden Kohleton hoch (0,8) und sinkt in den reinen Flözpartien auf Werte unter 0,1 ab (Abb. 4). Die Vitrain- und Clarainlagen weisen einen hohen Vegetationsindex von 2,4 auf; sonst liegen die Werte zwischen 0,2 und 0,6 (Tab. 1).

Rock-Eval: Der Wasserstoffindex der Kohlen schwankt nur geringfügig um den Mittelwert von 110 mgHC/gTOC (Abb. 4). Der Sauerstoffindex der rostbraunen, fischführenden Schicht ist wegen Oxydation erhöht. Über dem Flöz folgen organisch-reiche Mergel (ca. 2,5% TOC) mit erhöhtem Wasserstoffindex. Ein Mergel, der ca. 15 m über der Kohle auftritt, beinhaltet ein Typ-II Kerogen (354 mgHC/gTOC) und ein sehr gutes Ölpotential (Abb. 5; PETERS, 1986). Der durchschnittliche T_{max} -Wert ist mit 415°C geringfügig niedriger als jener von Tombach. Identische Vitritreflexionswerte (0,4% Rr) zeigen jedoch die gleiche Inkohlung.

5.3 Wernersdorfer Flöz, Lokalität Wernersdorf

Nördlich Wernersdorf beißt nahe der Straße zum Gehöft Simonibauer die Kohle an der Böschung eines Seitenbaches des Meßnitzbaches aus. Das ca. 1,25 m mächtige Flöz fällt flach gegen N ein und überlagert einen glimmerreichen Feinsandstein. Es ist aschereich und wird von tauben Zwischenmitteln in drei Bänke aufgespalten (Abb. 4). Die tiefste Bank ist mit ca. 45 cm Kohle die mächtigste. Die untersten 20 cm sind claritischer Natur, darüber folgt ein 1 cm mächtiger brauner Ton und tonige Kohle. Ein mittelgraues, siltiges Zwischenmittel mit Streuglimmer dessen Mächtigkeit lateral von 2 bis 14 cm schwankt trennt die Liegendbank von der ca. 30 cm mächtigen Mittelbank. Die Hangendbank wird von der Mittelbank durch eine 6 cm mächtige Lage mit mittelgrauem Ton, welcher mm-große Kohlepartikel enthält, getrennt. Die maximal 30 cm mächtige Hangendbank besteht aus duritischer Kohle im Liegenden und toniger Kohle mit Fischresten bzw. dunkelbraunem organisch-reichem Ton im Hangenden. Über letzterem folgt glimmerreicher Grobsand.

Asche- und Schwefelgehalt: Der Aschegehalt ist generell hoch. Innerhalb jeder Bank steigt er zum Hangenden auf über 50% an. In der Liegendbank reichen die Werte von 10 bis 30%. Die Mittelbank weist in ihrem liegenden Anteil Aschegehalte knapp unter 20% auf. Die hohen Werte sind

← Abb. 4

Schichtfolge der Flözprofile Tombach, Aug/Schönegg und Wernersdorf und Verlauf des Schwefelgehaltes, Aschegehaltes, Wasserstoffindex, Verteilung der Mazeralgruppen und der Faziesindikatoren (Grundwasserindex, Vegetationsindex).

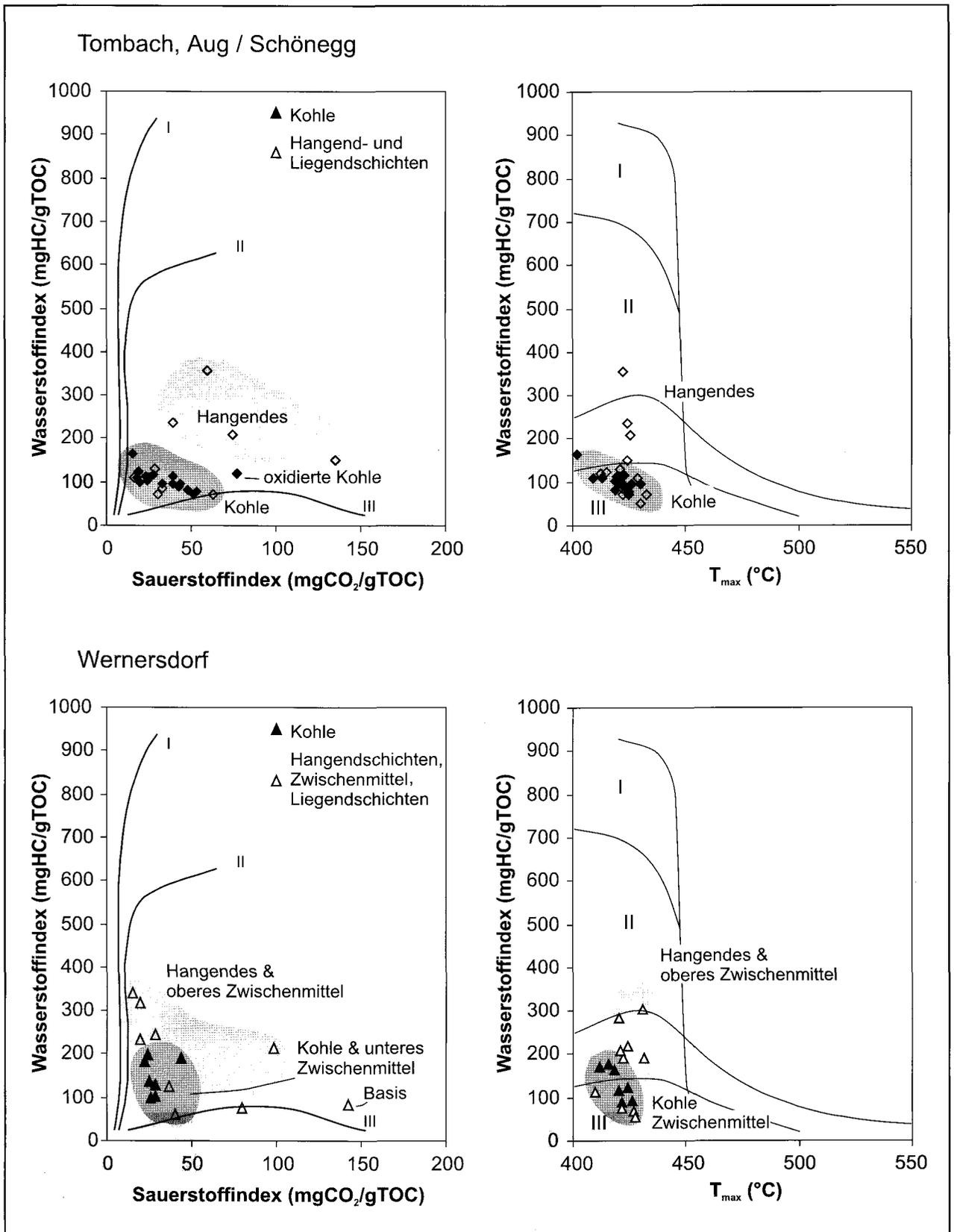
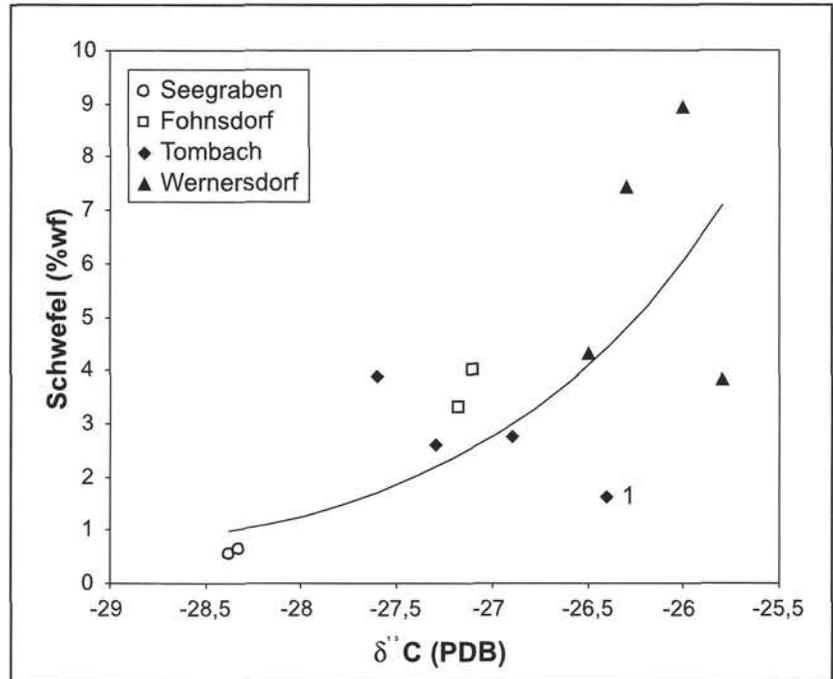


Abb. 5

Diagramme des Wasserstoffindex gegen den Sauerstoffindex und gegen T_{max} für Kohlen und begleitende Sedimente des Wieser und Wernersdorfer Flözes. Die Entwicklungspfade unterschiedlicher Kerogentypen (I – III) nach Espitalié et al. (1977) sind eingetragen.

Abb. 6

Crossplot des Schwefelgehaltes (wasserfrei) gegen das Kohlenstoffisotopenverhältnis der Kohlen aus Tombach und Wernersdorf verglichen mit Kohlen aus Fohnsdorf und Seegraben. Isotopenwerte aus BECHTEL et al. (2001). Anmerkung: Der Schwefelgehalt der hangendsten Probe des Tombacher Profils (1) ist vermutlich wegen beginnender Oxydation reduziert.



hier zum Teil auf mm-dünne Ton- und Feinsandbänder zurückzuführen. Auch die Hangendbank ist aschereich (Abb. 4).

Das Profil ist extrem schwefelreich (in der Liegendbank bis 19%). Generell nimmt der Schwefelgehalt gegen das Hangende ab. In Kohlen (Asche <50%) nimmt der Schwefelgehalt mit dem Aschegehalt zu, in kohligen Tonen und toniger Kohle (Asche >50%) nimmt der Schwefelgehalt mit dem Aschegehalt ab. Die Liegend- und Hangendsedimente sowie Zwischenmittel weisen sehr geringe Schwefelgehalte auf (Tab. 1).

Mikropetrographie und Faziesindikatoren: Die wichtigste Mazeralgruppe ist Vitrinit. Telovitrinit und Detrovitrinit sind in der Liegendbank etwa gleichverteilt. In der Mittel- und Hangendbank überwiegt Detrovitrinit. Das Vorkommen von Gelovitrinit ist gering und unregelmäßig. Inertinit tritt nur in Spuren als Degradofusinit auf. Sclerotien sind in einzelnen Proben häufig. Der Liptinitgehalt nimmt gegen das Hangende zu. Bestimmend sind Fluorinit, Resinit und Liptodetrinit. Im oberen Teil der Unterbank und im tieferen Teil der Mittelbank tritt vermehrt Cutinit auf. Der hangende organisch-reiche Ton weist mit 60% die höchsten Liptinitgehalte auf. Hier sind Alginat und Liptodetrinit die wichtigsten Liptinitmazeralen.

Der Grundwasserindex nimmt gegen das Hangende zu. Der Vegetationsindex ist generell niedrig (0,01-0,8), lediglich 2 Proben weisen höhere Werte auf. In der Mittelbank nimmt der Vegetationsindex gegen das Hangende kontinuierlich ab und spiegelt die Zunahme degradiert Pflanzenbestandteile wider (Abb. 4). Das gleiche dürfte für die Oberbank gelten. Allerdings stört hier der hohe Gehalt an (vermutlich detritärem) Telocollinit, der den Vegetationsindex erhöht, den vermuteten Trend.

Rock-Eval: Der Wasserstoffindex der Kohlen schwankt zwischen 80 und 195 mgHC/gTOC, jener der Zwischenmittel zwischen 50 und 305 mgHC/gTOC (Abb. 5). Eine gute Korrelation besteht mit dem Liptinitgehalt. Daher nimmt der Wasserstoffindex in der Oberbank gegen das alginatreiche

Hangende zu. T_{max} -Werte um 420 °C (Tab. 1) zeigen, dass Wieser und Wernersdorfer Flöz eine ähnliche Reife aufweisen.

Kohlenstoffisotopie: Das Wernersdorfer Flöz zeichnet sich durch schwere Kohlenstoffisotopen aus (Mittelwert: -26,15; Tab. 1, Abb. 6). Die Isotopenwerte der vier untersuchten Proben korrelieren positiv mit dem Telinitgehalt und dem Vegetationsindex und negativ mit dem Aschegehalt und dem Grundwasserindex.

6. Diskussion und Schlussfolgerungen

6.1 Ablagerungsbedingungen des Wieser Flözes

Das Wieser Flöz ist mit einer bauwürdigen Erstreckung von 25 km² eines der ausgedehntesten Flöze im alpinen Bereich. Dies und seine gleichmäßige Mächtigkeit (0,6-1,5 m) weisen auf tektonisch ruhige Bedingungen während der Ablagerung hin. Aschegehalte, die meist über 10% liegen, und hohe Schwefelgehalte belegen die Bildung in einem Niedermoor (DIESEL, 1992). In verschiedenen Bereichen wird das Flöz durch geringmächtige Lagen toniger Kohle gegliedert. Trotzdem schließt das Fehlen markanter Zwischenmittel großräumige Überflutungen aus. Die Vertaubung des Flözes gegen Nord(ost)en zeigt den allmählichen Übergang zu Bereichen größerer Wassertiefen. Die aschereiche „Verschieferungszone“ wird als häufig überflutete Bucht interpretiert. Die „Ostfeldvertaubung“ markiert ein altes, durch die Paläotopographie gesteuertes, nordgerichtetes Entwässerungssystem mit sehr geringer Wasserenergie (WINKLER, 1927). Intensiver Pflanzenwuchs verschmälerte während der Moorbildung sukzessive den Bereich der offenen Strömungsrinne.

Der hohe Anteil an degradierten Geweben (Detrovitrinit) und der daraus resultierende niedrige Vegetationsindex (Tab. 1; Abb. 7) zeigen, dass im östlichen Flözverbreitungs-

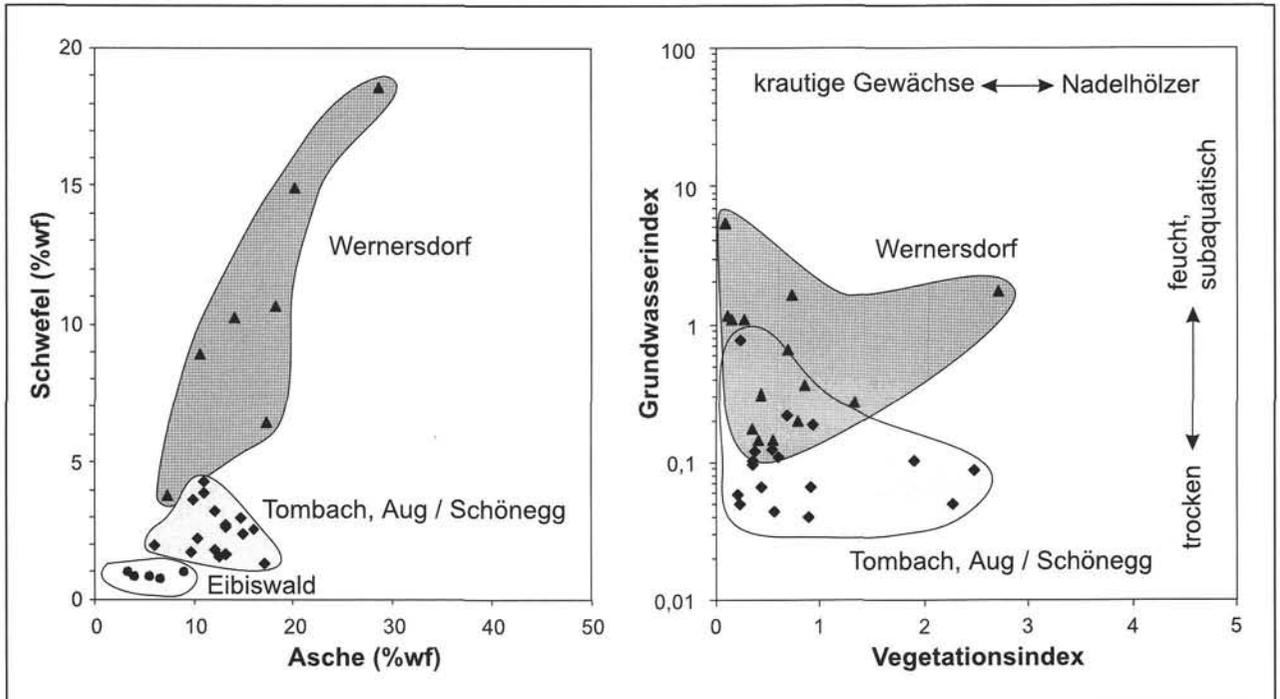


Abb. 7

Position der Flözprofile im Diagramm Schwefel gegen Asche und im Faziesdiagramm nach CALDER et al. 1991 (Grundwasser- gegen Vegetationsindex).

gebiet, die Flora von Pflanzen mit geringem Erhaltungspotential (krautige Pflanzen, Laubhölzer) dominiert war (CALDER et al., 1991; DIESEL, 1992). Nach ETTINGSHAUSEN (1890) zählen *Ceratophyllum* und *Myrica* zu den vorherrschenden Vertretern der Flora dieses Bereiches. Die Flora stammt aber aus den Hangendschichten und ist daher nur bedingt aussagekräftig hinsichtlich der kohlebildenden Vegetation. Früchte von *Myrica* (und *Umbelliferopsis*) wurden auch im liegenden Bereich des Profils Aug/Schönegg gefunden (MELLER, pers. Mitt.). Nach HIESSLEITNER (1926) tritt im Bereich Pöfling die Mattkohle (Durain) gegenüber der Glanzkohle (Vitrain) zurück. Dies deutet an, dass dort der Anteil an Nadelbäumen, insbesondere Koniferen, bedeutend größer war. Häufiges Auftreten von Rußkohle (Fusain) in diesem Bereich ist auf Waldbrände zurückzuführen.

Algen im tieferen Teil des Profils Aug/Schönegg und die reiche Fischfauna am Top der Kohle belegen, dass die Moorbildung im subaquatischen Milieu begann und durch Überflutung endete. Die Flözgeometrie (laterale Kontinuität, geringe Mächtigkeit) spricht für einen relativ langsamen Anstieg des (Grund)Wasserspiegels (vgl. BOHACS & SUTER, 1997).

Der Schwefelgehalt von Kohlen wird durch das Sulfatangebot im Moorwasser und durch die Aktivität schwefelreduzierender Bakterien gesteuert (CASAGRANDE, 1987). Ersteres ist im brackisch/marinen Milieu besonders hoch. Bakterien fühlen sich bei neutralen bis leicht basischen Verhältnissen, charakteristisch für brackisch/marin beeinflusste Moore, besonders wohl. Der Schwefelgehalt kann daher zur Unterscheidung brackisch/marin (viel Schwefel) – nicht marin (wenig Schwefel), sowie zur Abschätzung der pH-Bedingungen im Moor (neutral: viel Schwefel; sauer: wenig Schwefel) verwendet werden. Moore in Karbonatgebieten weisen häufig relativ hohe pH-Werte auf und besitzen

Schwefelgehalte, die jenen marin beeinflusster Kohlen ähnlich sind (PETRASCHECK, 1952; MARKIC & SACHSENHOFER, 1997).

Karbonate sind im Hinterland des Wieser Flözes selten. Die generell hohen Schwefelgehalte deuten daher auf eine zumindest kurzfristige brackisch/marine Beeinflussung des Wieser Flözes hin. Die eigentliche Küstenlinie muss dabei nicht notwendigerweise im Bereich des Moores gelegen haben. BOHACS & SUTER (1997) zeigen, dass im Fall eines Meeresspiegelanstiegs von nur 5 m der Einfluss von Grundwasser mit mariner Signatur 10er km landeinwärts reichen kann. Hohe Schwefelgehalte nahe der Basis beider untersuchter Profile resultieren aus einem Stau sulfatreicher Wässer an den Liegendschichten. Die Abnahme des Schwefels im oberen Teil des Profils Tombach ist vermutlich auf Verwitterungsprozesse zurückzuführen.

Im Hangenden des Profils Aug/Schönegg treten Fischreste der Familien *Percichthyidae* vel. *Moronidae* auf (GAUDANT, 2000). Diese Fischfamilien sind i. A. Meeresbewohner, wobei insbesondere *Percichthyidae* eine große Toleranz hinsichtlich brackischer Verhältnisse oder sogar Süßwasser besitzen. Aufgrund des Fehlens weiterer typischer mariner und/oder nicht-mariner Arten, nimmt auch GAUDANT (briefl. Mitt.) ein brackisches Ablagerungsmilieu an.

Bakterien verbrauchen beim Abbau organischer Substanz bevorzugt den isotopisch leichten Kohlenstoff (C^{12}). Die beobachtete relative Anreicherung des schweren Kohlenstoffisotops (C^{13}) wird daher als ein weiteres Indiz für geringe Azidität und verstärkte bakterielle Aktivität interpretiert. Abb. 6 verdeutlicht die positive Korrelation zwischen Schwefelgehalt und Kohlenstoffisotopie, die beide durch pH-Wert und Bakterientätigkeit gesteuert werden (BECHTEL et al., 2001), anhand von Daten des Wieser und Wernersdorfer Flözes und von Durchschnittswerten von anderen

mittelmiozänen Kohlen aus dem brackischen Fohnsdorfer und dem nicht-marinen Seegrabener Revier (siehe auch GRUBER & SACHSENHOFER, 2001).

Mitunter ist eine Unterscheidung mariner und nicht-mariner Feinklastika mit Hilfe des TOC/S Verhältnisses möglich (z. B. BERNER & RAISWELL, 1984). Die untersuchten Liegend- und Hangendschichten des Wieser Flöztes weisen sehr geringe Schwefelgehalte und daher relativ hohe TOC/S Verhältnisse auf. Weitere Untersuchungen sind nötig um zu bestimmen, ob diese tatsächlich nicht-marine Verhältnisse indizieren. Aufgrund der sedimentären Fazies und von (seltenen) Fossilien wird eine Überlagerung des Flöztes durch Sedimente küstennaher Ablagerungsräume vermutet. Die Rock-Eval Pyrolyse zeigt, dass diese in ihrem tieferen Anteil, zumindest lagenweise, potentielle Erdölmuttergesteine beinhalten.

Eine paläogeographische Karte für die Zeit der Bildung des Wieser Flöztes ist in Abb. 8 dargestellt. Hervorzuheben ist die Entwässerung des Wieser Moores nach Norden in einen marin/brackischen Bereich. Wegen des Fehlens mariner karpatischer Sedimente in der Florianer Bucht, ist dies ein deutlicher Hinweis auf ein badenisches Alter der Kohlebildung. Dieses wird durch die neuen Tuffdatierungen bestätigt.

6.2 Ablagerungsbedingungen des Wernersdorfer Flöztes

Eine Niedermoorfazies im brackischen Milieu wie für das Wieser Flöz ist auch für das Wernersdorfer Flöz anzunehmen. Allerdings sind die Zwischenmittel und der hohe Aschegehalt Zeugen häufiger Überflutungen. Ein größerer Prozentsatz an aquatischen Liptiniten und möglicherweise auch der außerordentlich hohe Schwefelgehalt als Folge der häufigeren Sulfatzufuhr belegen ebenfalls einen höheren Wasserspiegel. Das kommt auch im Vergleich der Faziesdiagramme der beiden Reviere zum Ausdruck (Abb. 7). Der höhere Wasserspiegel begünstigte wiederum die Lebensbedingungen für Bakterien, weshalb die Kohlenstoffisotope noch schwerer als im Wieser Revier sind (Abb. 6). Das Ertrinken des Moores ist durch den zum Hangenden steigenden Grundwasserindex und das Auftreten von Algen und Fischresten in der obersten Probe dokumentiert. Der erhöhte Wasserstoffindex korreliert mit dem hohen Liptinitgehalt.

6.3 Ablagerungsbedingungen des Eibiswalder Flöztes

Zur Zeit ist das Eibiswalder Flöz nicht zugänglich, so dass über dessen Bildungsbedingungen wenig ausgesagt werden kann. Fischechiefer und Mergel mit Muscheln im Hangenden des Flöztes (HIESSLEITNER, 1926) belegen ein Ertrinken des Moores. Die beobachteten Flözgeometrien (geringe laterale Kontinuität, z. T. beträchtliche Mächtigkeiten) sind charakteristisch für Bereiche mit rasch ansteigendem (Grund)Wasserspiegel (vgl. BOHACS & SUTER, 1997). Einige wenige Kohlenanalysen wurden von HIESSLEITNER (1926) und WEBER & WEISS (1983) veröffentlicht. Demnach ist das Eibiswalder Flöz arm an Asche und Schwefel (Tab. 1; Abb. 7). Insbesondere die geringen Schwefelgehalte lassen eine Süßwasserentwicklung vermuten, die mit einer nicht-marinen Fischfauna übereinstimmt (GAUDANT, 2000). Zahl-

reiche Tuffbänder im Hangenden der Kohle sind weitere Unterschiede zum Wieser Flöz. Das Wernersdorfer Flöz ist aufgrund der vermuteten brackisch-marinen Beeinflussung dem Wieser Flöz ähnlicher als dem Eibiswalder Flöz. Eine Flözgleichstellung ist jedoch nicht möglich. Jedenfalls sollten sowohl das Wieser als auch das Wernersdorfer Flöz abgelagert worden sein, als die Eibiswalder Bucht bereits randmarin beeinflusst war. Ein einziger Flözhorizont, der Wieser, Wernersdorfer und Eibiswalder Flöz umfasst, ist jedenfalls unwahrscheinlich, bzw. nur mit großen lateralen Änderungen der Moorfazies zu erklären.

6.4 Entwicklungsgeschichte der Eibiswalder Bucht

Die Sedimentation setzte in der südlichen Eibiswalder Bucht im Bereich eines Fächerdeltas ein (Ottangium/Karpatium?). Über diesem erfolgte im Unterbadanium die Ablagerung des Eibiswalder Flöztes, wobei die einzelnen Flözbecken (Eibiswald, Feisternitz, Vordersdorf; Abb. 8) nicht unbedingt exakt gleich alt sein müssen. Die (wenigen) Schwefeldaten der Kohlen und die Flözgeometrien sprechen für eine nicht-marine Kohlebildung in einem Gebiet mit rasch ansteigendem (Grund)Wasserspiegel. Später wurde das Eibiswalder Flöz von limnischen Sedimenten überlagert.

Das überlagernde Pitschgau Konglomerat repräsentiert Ablagerungen eines verzweigten Flusssystemes. In der Folge verlagerte sich der Schwerpunkt der Sedimentation in den Raum nördlich Wies. Die Schichten unterhalb des Wieser Flözhorizontes transgredieren mit deutlichem „Onlap“ von Norden nach Süden auf den Grundgebirgssporn von Wies. Der hohe Schwefelgehalt des „Liegendflöztes“ ist ein Hinweis auf erstmalige brackische Beeinflussung. Während einer Phase langsamen Anstiegs des Grundwasserspiegels konnte sich das Moor (Wieser Flöz) weit nach NNW verbauen. Die Entwässerung erfolgte dabei in nördliche Richtung (Abb. 8). Erhöhte Schwefelgehalte in der Kohle und die Fischfauna in ihrem Hangenden indizieren wiederum einen brackischen Einfluss. Die hohen Schwefelgehalte der Wernersdorfer Kohle zeigen, dass das brackisch/marin beeinflusste Gebiet zeitweise gegen Südwesten mindestens bis in diesen Bereich gereicht hat. Im Hangenden der Kohle folgen Sedimente einer Küstenebene. Aufgrund der neuen radiometrischen Alter ist die Bildung des Wieser Flöztes ins Mittelbadanium zu stellen.

Der konstante Abstand der Liegend- und Hangendflöztes vom Wieser Hauptflöz zeigt, dass die relativen vertikalen Bewegungen in einem großen Gebiet bemerkenswert gleichmäßig verliefen. Dies erklärt auch die große laterale Kontinuität des Wieser Flöztes, die für inneralpine Kohleflöztes des Ottangium (Köflach-Voitsberg) bis Karpatium/Unterbadanium (Norische Senke) untypisch ist (vgl. SACHSENHOFER, 2000). Mit dem mittelbadanischen Alter in Übereinstimmung steht auch, dass die Flözplatte, abgesehen von einer flachen Wellung, nur von ostgerichteten Abschiebungen betroffen wurde, die typisch für die mittel/spätmiozäne Extensionstektonik im Weststeirischen Beckens sind (vgl. HAAS et al., 1998).

Die Architektur der Schichten ist für eine sequenzstratigraphische Interpretation noch zu wenig bekannt. Trotzdem vermuten wir, auf BOHACS & SUTER (1997) aufbauend, dass das mächtige, aber kleinräumige Fohnsdorfer Flöz während einer transgressiven Phase (Eibiswalder Zyklus, sensu NE-

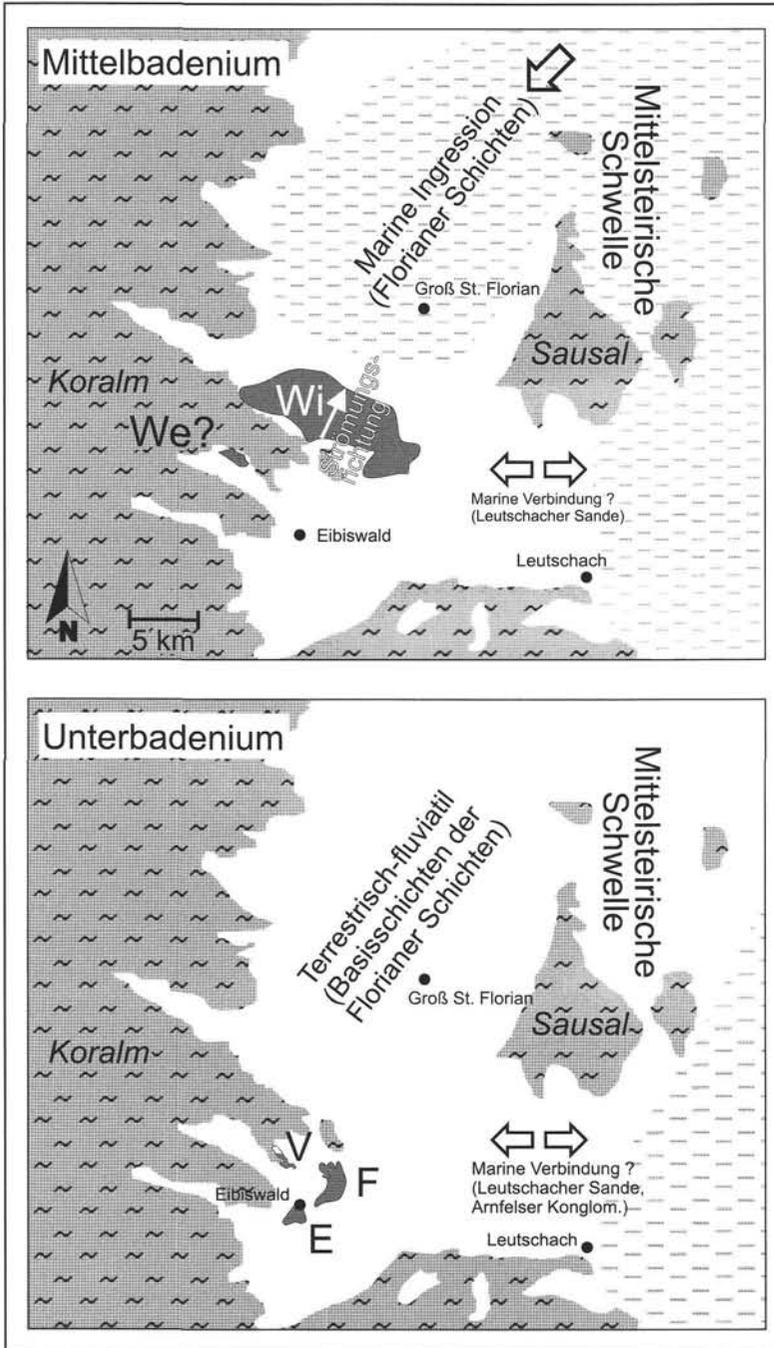


Abb. 8

Paläogeographische Karten des südwestlichen Steirischen Beckens zur Zeit der Bildung des Wieser und Eibiswalder Flözes. Wieser Flöz: Wi; Wernersdorfer Flöz: We; Eibiswalder Flöz: V (Vordersdorf), F (Feisternitz), E (Eibiswald).

BERT, 1983), das kontinuierliche Wieser Flöz während einer Zeit mit relativ tiefem Wasserspiegel (mittlerer bis später „Lowstand“ des Wieser Zyklus, sensu NEBERT, 1983) gebildet wurde. Die folgende Überflutung und die Ausbildung des lokalen, aber relativ mächtigen Hangendflözes NW Steyeregg, würde in diesem Modell der frühen transgressiven Phase des Wieser Zyklus entsprechen.

7. Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Nationalbank-Jubiläumsfondsprojektes 7368 durchgeführt. Herrn Betriebsdirektor DI C. LUKASCZYK danken wir für Hinweise im Gelände und interessante Diskussionen. Dr. A. BECHTEL stellte freundlicherweise die Isotopendaten zur Verfügung. Prof. F. NEUBAUER danken wir für die Datierung von Tuffproben. Herzlich danken wir auch Herrn Prof. J.

GAUDANT und Frau Dr. B. MELLER für die Übermittlung noch unveröffentlichter Daten zur Fauna und Flora. Bergbaukarten wurden von der GKB-Bergbau GmbH zur Verfügung gestellt. Schließlich bedanken wir uns für konstruktive Gutachten von Prof. V. HÖCK (Salzburg), Prof. R. LITKE (Aachen) und Dr. M. WAGREICH (Wien).

Literatur

- BECHTEL, A., GRUBER, W., SACHSENHOFER, R. F., GRATZER, R., PÜTTMANN, W., 2001: Organic geochemical and stable isotopic investigation of coals formed in low-lying and raised mires within the Eastern Alps (Austria). – *Organic Geochemistry*, **32**, 1289-1310.
- BERNER, R. A. & RAISWELL, R., 1984: Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: A new theory. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**, 855-862.

- BOHACS, K. & SUTER, J., 1997: Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: Fundamental controls and paralic examples. – AAPG Bull., **81**, 1612-1639.
- CALDER, J. H., GIBLING, M. R. & MUKHOPADHYAY, P. K., 1991: Peat formation in a Westfalian B Piedmont Setting, Cumberland Basin, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotropic and raised mires. – Bull. Soc. Geol. Fr., **162**, 238-298.
- CASAGRANDE, D. J., 1987: Sulphur in peat and coal. In: A. C. SCOTT (ed.): Coal and Coal-Bearing Strata: Recent Advances. Geol. Soc. Spec. Publ., **32**, 87-105.
- DIESSEL, C. F. K., 1992: Coal-bearing depositional systems. – 721 S., Berlin (Springer).
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1978: Prüfung fester Brennstoffe – Bestimmung des Aschegehaltes, DIN 51719.
- EBNER, F. & SACHSENHOFER, R. F., 1991: Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Tertiärbeckens. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum, **49**, 1-96.
- EBNER, F. & SACHSENHOFER, R. F., 1995: Paleogeography, subsidence and thermal history of the Neogene Styrian Basin (Pannonian basin system, Austria). – Tectonophysics, **242**, 133-150.
- ESPITALIÉ, J., LAPORTE, J. L., MADEC, M., MARQUIS, F., LEPLAT, P. M., PAULET, J. & BOUTEFUÉ, A., 1977: Méthode rapide de caractérisation des roches mères de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. – Rev. Inst. Fr. Pet., **32**, 23-43.
- ETTIGSHAUSEN, C. V., 1890: Die fossile Flora von Schoenegg bei Wies in Steiermark I. Theil. – Denkschr. kaiserl. Akad. Wiss., Mathem.-naturwiss. Kl., **57**, 61-112.
- FRIEBE, J. G., 1993: Sequence stratigraphy in a mixed carbonatic-siliciclastic depositional system (Middle Miocene; Styrian Basin, Austria). – Geol. Rundschau, **82**, 281-294.
- GAUDANT, J., 2000: Nouvelles recherches sur l'ichtyofaune lacustre du karpatien inférieur d'Eibiswald et observations sur quelques os isolés de poissons découverts aux environs de Wies (Styrie). – Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl. Abt. I., **207**, 15-43.
- GRUBER, W., SACHSENHOFER R. F., 2001: Coal deposition in the Noric Depression (Eastern Alps): raised and low-lying mires in Miocene pull-apart basins. – Int. J. Coal Geology, **48**, 89-114.
- HAAS, M., DAXNER-HÖCK, G., DECKER, K., KOLCON, I., KOVAR-EDER, J., MELLER, B. & SACHSENHOFER, R. F., 1998: Palaeoenvironmental studies in the Early Miocene lignite opencast mine Oberdorf, (N Voitsberg, Styria, Austria). – In: F. F. STEININGER (ed.): The Early Miocene Lignite Deposit of Oberdorf N Voitsberg (Styria, Austria), Jb. Geol. B.-A., **140**, 483-490.
- HIDEN, H. & STINGL K., 1998: Neue Ergebnisse zur Stratigraphie und Paläogeographie der „Eibiswalder Schichten“ (Miozän, Weststeirisches Becken, Österreich): Die Otolithenfauna der Tongrube Gasselsdorf. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **23**, 77-85.
- HISSLITNER, G., 1926: Das Wieser Revier. – Berg- u. Hüttenmänn. Jb., **74**, 65-81 und 83-103.
- KOLLMANN, K., 1965: Jungtertiär im Steirischen Becken. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **57**, 479-632.
- KOPETZKY, G., 1957: Das Miozän zwischen Kainach und Laßnitz in der Südweststeiermark. – Mitt. Mus. Bergb. Geol. Techn. Landesmus. Joanneum, **18**, 1-112.
- KRAINER, B., 1989: Bericht 1988 über geologische Aufnahmen im Miozän auf Blatt 207 Arnfels. – Jb. Geol. B.-A., **132**, 622-623.
- KRAINER, B., 1990: Bericht 1989 über geologische Aufnahmen auf Blatt 207 Arnfels. – Jb. Geol. B.-A., **133**, 504-505.
- MARKIC, M. & SACHSENHOFER, R. F., 1997: Petrographic composition and depositional environments of the Pliocene Velenje lignite seam (Slovenia). – Int. J. Coal Geology, **33**, 229-254.
- MOTTL, M., 1970: Die jungtertiären Säugetierfaunen der Steiermark, Südostösterreich. – Mitt. Mus. Bergb. Geol. Techn. Landesmus. Joanneum, **31**, 1-92.
- NEBERT, K., 1983: Zyklische Gliederung der Eibiswalder Schichten (Südweststeiermark). – Jb. Geol. B.-A., **126**, 259-285.
- NEBERT, K., 1989: Das Neogen zwischen Sulm und Laßnitz (Südweststeiermark). – Jb. Geol. B.-A., **132**, 727-743.
- PETERS, K. E., 1986: Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. – AAPG Bull., **70**, 318-329.
- PETRASCHECK, W., 1924: Kohlengeologie der österreichischen Teilstaaten. VII Die tertiären Senkungsbecken am Fuße der Alpen. – Berg- u. Hüttenmänn. Jb., **72**, 1-32.
- PETRASCHECK, W., 1952: Der Einfluß der Fazies der Flözablagerung auf die Eigenschaften der Kohle. – Z. dt. Geol. Ges., **104**, 1-9.
- RADIMSKY, V., 1875: Das Wieser Bergrevier. – Zs. Berg- u. Hüttenmänn. Ver. Kärnten, **7**, 2-8, 37-44, 75-83, 110-119, 142-150, 177-186, 224-233, 271-283.
- SACHSENHOFER, R. F., 2000: Geodynamic controls on deposition and maturation of coal in the Eastern Alps. – In: F. NEUBAUER & V. HÖCK (eds.): Aspects of Geology in Austria, Mitt. Österr. Geol. Ges., **92**, 185-194.
- SACHSENHOFER, R. F., 2001: Syn- and post-collisional heat flow in the Cenozoic Eastern Alps. – Int. J. Earth Sciences, **90**, 579-592.
- SACHSENHOFER, R. F., EBNER, F., HAAS, M., MALI, H., MELLER, B. & STINGL, K., 2000: Das kohleführende Neogen von Köflach-Voitsberg. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **44**, 215-240.
- SACHSENHOFER, R. F., SPERL, H. & WAGINI, A., 1996: Structure, development and hydrocarbon potential of the Styrian Basin (Pannonian Basin system, Austria). – In: WESSLEY, G. & LIEBL, W. (eds.): Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe, EAGE Spec. Publ., **5**, 393-414.
- STEININGER, F. F. (ed.), 1998: The Early Miocene Lignite deposit of Oberdorf N Voitsberg (Styria, Austria). – Jb. Geol. B.-A., **140**, 395-496.
- STINGL, K., 1994: Depositional environment and sedimentary facies of the basinal sediments in the Eibiswalder Bucht (Radl Formation and Lower Eibiswald Beds), Miocene Western Styrian Basin, Austria. – Geol. Rundsch., **83**, 811-821.
- STINGL, K., im Druck: The Lignite-bearing sediments of the Middle Miocene Köflach-Voitsberg Embayment (Styrian Basin, Austria). – Arch. Lagerst. forsch. Geol. Bundesanst.
- STUR, D., 1871: Geologie der Steiermark. – 645 S., Graz (Geognost.-montan. Ver. Stmk.).
- TAYLOR, G. H., TEICHMÜLLER, M., DAVIS, A., DIESSEL, C. F. K., LITTKÉ, R. & ROBERT, P., 1998: Organic Petrology. – 704 S., Berlin-Stuttgart (Borntraeger).
- WEBER, L. & WEISS, A., 1983: Bergbaugeschichte und Geologie der Österreichischen Braunkohlevorkommen. – Arch. Lagerst. forsch. Geol. Bundesanst., **4**, 15-36.
- WINKLER, A., 1924: Studienergebnisse im Tertiärgebiet von Südweststeiermark (vorläufige Mitteilung). – Verh. Geol. B.-A., **1924**, 93-101.
- WINKLER, A., 1927: Das südweststeirische Tertiärbecken im älteren Miozän. – Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., **101**, 89-130.
- WOLF, M., 1988: Torf und Kohle. In: H. FÜCHTBAUER (Hrsg.): Sedimente und Sedimentgesteine – Teil II. – 683-730, Stuttgart (Schweizerbart).

Manuskript eingegangen am: 19. 09. 2000 ●

Revidierte Version eingegangen am: 24. 02. 2003 ●

Manuskript akzeptiert am: 24. 03. 2003 ●